

République Algérienne Démocratique Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Kasdi Merbah Ouargla
Faculté des Sciences appliquées
Département de génie civil et hydraulique



Mémoire
MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Travaux publics

Spécialité : Voies et Ouvrages D'art

Présenté par :

TALBI Mohamed Abdallah

GOUDJIL Ishak

Thème :

**Étude expérimentale sur le comportement d'un corps
de chaussée à base de sable rougeâtre**

Devant le jury :

Mr. ABIMOULOUD Youcef	UKM Ouargla	Président
Mr. AOUAM Abdou	UKM Ouargla	Examineur
Mr. ZENKHRI Abderrezak	UKM Ouargla	Encadreur

Année universitaire : 2019/2020

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier en premier lieu le bon Dieu le tout puissant et miséricordieux qui nous a donné la force, la volonté et le courage à mener à bonne fin ce travail.

Nous remercions nos très chers parents pour les efforts qu'ils nous ont offert tout au long de nos études.

Nous adressons nos plus vifs remerciements et notre profonde gratitude :

- ✚ Tout d'abord à notre encadreur Mr ZENKHRI Abderrezak pour ses conseils, sa grande contribution dans la réalisation de notre travail et surtout pour sa grande patience et gentillesse.
- ✚ On' a tant aussi à remercier très vivement Mr BOUCHERBA Mohammed ingénieur chargé d'étude de Laboratoire des Travaux Publics Sud Ghardaïa (LTPS), Mr AOUAM Abdou ingénieur de la SARL ASTEC, Mr BOUHADDAD Abdelhak chef d'unité d'entretien et d'intervention routière, enfin notre cher professeur Mr BENTATA Aissa pour leur dévouement, leurs conseils et leur soutien moral. Ils n'ont jamais ménagé aucun effort pour suivre cette étude de près durant tout au long de l'élaboration de ce modeste travail.

Nos vifs remerciements, vont aux membres de jury ; D'avoir accepté D'examiner, d'évaluer et d'enrichir ce travail.

Merci beaucoup à tous d'avoir contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicace :

 *Je dédie ce modeste travail :*

 *À mes très chers parents qui n'ont pas cessé de me soutenir et de me donner leur amour, leur soutien et leurs encouragements tout au long de ma formation,*

 *À Mon frère (Mohammed) et mes sœurs (Leila et Chaima) qui m'avez toujours soutenu et encouragé durant ces années d'étude,*

 *À tous les étudiants de ma promotion et mes amis surtout : Ishak et Haroune.*

 *Ainsi qu'à tous qui m'a aidé de près ou de loin.*

 *TALBI Mohammed Abdallah*

Dédicace :

 *Cette thèse représente l'aboutissement du soutien et des encouragements que mes parents m'ont prodigué tout au long de ma scolarité.*

 *Je dédie ce mémoire à :*

 *Mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,*

 *Mes frères (Ismail, Yaakoub) et ma sœur (Malak) pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,*

 *Mon oncle (Mustapha) pour son appui et son encouragement,*

 *Toute ma famille pour leurs soutiens tout au long de mon parcours universitaire,*

 *Mes collègues et mes amis surtout : Abdallah, Azhar, Idriss, Cherif et Mohamed.*

 *Ainsi qu'à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.*

 *Goudjil Ishak*

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau I.1 : Facteurs climatiques de la région d'Ouargla	07
Tableau I.2 : Dénominations adoptées en fonction de la grosseur des grains	09
Tableau I.3 : Classes de déflexion caractéristique pour les chaussées souples	11
Tableau I.4 : Valeur médiane minimale de rayon de courbure en mètres en fonction de l'épaisseur des matériaux bitumineux et de la classe de déflexion	12
Tableau I.5 : Résultats de mesures d'essai Proctor modifié du Tuf	15
Tableau I.6 : Résultats d'essai de compression simple pour les deux prélèvements	16
Tableau I.7 : Résultats d'essai de compression simple	16
Tableau I.8 : Résultats de l'analyse du sable rougeâtre par spectromètre RX	17

CHAPITRE II : DESCRIPTION DES ESSAIS

Tableau II.1 : Dimensions des bandes de chargement	35
----------------------------------------------------------	----

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Tableau III.1 : Dimensions des éprouvettes extraites	40
Tableau III.2 : Résultats d'essai	45
Tableau III.3 : Résumé des résultats d'essai	46
Tableau III.4 : Résumé des résultats d'essai	50
Tableau III.5 : Résultats d'essai au compactomètre de Clegg sur le Tuf (partie 01)	51
Tableau III.6 : Résultats d'essai au compactomètre de Clegg sur le sable rougeâtre (partie 01).	51
Tableau III.7 : Résultats d'essai au compactomètre de Clegg sur le Tuf (partie 02)	51
Tableau III.8 : Résultats d'essai au compactomètre de Clegg sur le sable rougeâtre (partie 02).	51
Tableau III.9 : Résumé des résultats d'essai	51
Tableau III.10 : Données d'essai	52
Tableau III.11 : Résultats de la corrélation de CIV au module d'élasticité (E) du sable rougeâtre dans la partie 01	52
Tableau III.12 : Résultats de la corrélation de CIV au module d'élasticité (E) du tuf dans la partie 01	53
Tableau III.13 : Résultats de la corrélation de CIV au module d'élasticité (E) du sable rougeâtre dans la partie 02	53

Tableau III.14 : Résultats de la corrélation de CIV au module déformation dynamique (E) du tuf dans la partie 02	53
Tableau III.15 : Résumé des résultats de la corrélation	54
Tableau III.16 : Résultats d'essai masse volumique apparente	54
Tableau III.17 : Résultats d'essai masse volumique réelle	55
Tableau III.18 : Compacité et le pourcentage des vides de l'enrobé à froid ouvert	55
Tableau III.19 : Résume des résultats	55
Tableau III.20 : Résultats d'essai Duriez	56
Tableau III.21 : Résultats d'essai de traction indirecte sur éprouvettes cylindriques - Module de rigidité	57
Tableau III.22 : Résultats de la déflexion et le rayon de courbure par le logiciel ALIZE – LCPC.....	59

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Figure I.1 : Carte bioclimatique de l'Algérie	05
Figure I.2 : Délimitation administrative de la wilaya d'Ouargla	05
Figure I.3 : Différents états de l'eau dans le sol	09
Figure I.4 : Courbe d'analyse granulométrique du sable rougeâtre	14
Figure I.5 : Courbe d'analyse granulométrique du Tuf	14
Figure I.6 : Courbes Proctor modifié pour les deux prélèvements du sable rougeâtre	15

CHAPITRE II : DESCRIPTION DES ESSAIS

Figure II.1 : Planche d'essai	19
Figure II.2 : Structure de chaussée (Tuf)	20
Figure II.3 : Structure de chaussée (Sable rougeâtre)	21
Figure II.4 : Exécution du carottage	22
Figure II.5 : Caractéristiques de la jauge	24
Figure II.6 : Menu de contrôle	24
Figure II.7 : Caractéristiques du mélange	25
Figure II.8 : Détermination de la densité de l'enrobé par le mode moyen	25
Figure II.9 : Résultat de calcul en mode moyen	26
Figure II.10 : Vues de détail du compactomètre de Clegg	26
Figure II.11 : Schéma de principe d'essai	28
Figure II.12 : Appareillage d'essai	28
Figure II.13 : Détermination de la compacité	32
Figure II.14 : Machine d'essai de compression	33
Figure II.15 : Forme de l'impulsion de chargement, indiquant le temps de montée et la valeur crête de charge	35
Figure II.16 : Réglages des captures de déformation	36
Figure II.17 : Châssis d'alignement LVDT	36
Figure II.18 : Dispositif de mesure de la déformation diamétrale horizontale	37
Figure II.19 : Exemple d'appareillage d'essai	37
Figure II.20 : Amplitude de déformation	38

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Figure III.1 : Dessin présent les différentes dimensions de l'éprouvette	40
Figure III.2 : Éprouvettes après carottage	41
Figure III.3 : Une Scie d'enrobé	41
Figure III.4 : Surfaçage de l'éprouvette	42
Figure III.5 : Epreuve avant surfaçage	42
Figure III.6 : Epreuve après le surfaçage	42
Figure III.7 : Découpage de la couche de surface	43
Figure III.8 : Planche d'essai après le découpage	43
Figure III.9 : Suppression des extrémités de la couche de surface	43
Figure III.10 : Coupe transversale	43
Figure III.11 : Représentation de la coupe transversale avec les épaisseurs réelles mesurés ...	44
Figure III.12 : Détail du mélange	44
Figure III.13 : Mode de mesure (Mode moyenne)	45
Figure III.14 : Représentation graphique des résultats de l'essai de densimètre électromagnétique d'enrobée modèle 380	45
Figure III.15 : Affichage du résultat final	46
Figure III.16: Représentation graphique des résultats de la compacité et la densité de la chaussée.....	46
Figure III.17 : Répartition de la planche d'essai en deux (02) parties	47
Figure III.18 : Représentation graphique des résultats de la teneur en eau du Tuf et du Sable rougeâtre dans la partie 01	48
Figure III.19 : Représentation graphique des résultats de la densité sèche et la densité humide du Tuf et du Sable rougeâtre dans la partie 01	48
Figure III.20 : Représentation graphique des résultats de la teneur en eau du Tuf et du Sable rougeâtre dans la partie 02	49
Figure III.21 : Représentation graphique des résultats de la densité sèche et la densité humide du Tuf et du Sable rougeâtre dans la partie 02	49
Figure III.22 : Epreuves après l'écrasement	56
Figure III.23 : Epreuves d'essai du module de rigidité	57

LISTE DES NOTATIONS

CIV : Clegg Impact Value.

C_D : Résistance à la compression moyenne du lot sec.

C_w : Résistance à la compression moyenne du lot humide.

e : Epaisseur équivalente.

F : Valeur crête de la charge verticale appliquée.

h : Epaisseur moyenne de l'éprouvette.

I_{CBR} : Indice CBR.

K : Facteur de surface de charge mesuré.

Log : Logarithme décimal.

LVDT : Transformateur différentiel variable linéaire.

m_h : Masse du matériau humide.

m₁ : Masse du pycnomètre avec son bouchon capillaire et son ressort.

m₂ : Masse du pycnomètre avec son bouchon capillaire, son ressort et la prise d'essai.

m₃ : Masse du pycnomètre avec son bouchon capillaire, son ressort, la prise d'essai et l'eau ou le solvant.

N : Nombre moyen des camions.

P : Charge par roue.

PL : Pourcentage moyen de poids lourds.

S_m : Module de rigidité mesuré.

S'_m : Module de rigidité corrigé.

TMJA_n : Trafic moyen journalier annuel.

τ : Taux d'accroissement annuel du trafic.

μ : Coefficient de Poisson.

V_p : Volume du pycnomètre lorsqu'il est rempli jusqu'à son repère de référence.

V_t : Volume totale.

V₀ : Volume initiale.

Y : Tassement.

z : Amplitude de la déformation horizontale obtenue pendant le cycle de chargement.

γ_a : Densité volumique sèche.

γ_h : Densité volumique humide.

ρ_h : Masse volumique du matériau humide.

ρ_d : Masse volumique du matériau sec.

ρ_w : Masse volumique de l'eau

ρ_{er} : Masse volumique réelle de l'enrobé.

ρ_{bsea} : Masse volumique apparente de l'éprouvette « paraffinée ».

ω : Teneur en eau.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	I
DEDICACES	II
LISTE DES TABLEAUX	IV
LISTE DES FIGURES	VI
LISTE DES NOTATIONS	VIII
INTRODUCTION GENERALE	01
CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	
I.1. Introduction	04
I.2. Présentation de la wilaya d’Ouargla	04
I.2.1. Zones arides	04
I.2.2. Situation géographique	05
I.2.3. Situation démographique	06
I.2.4. Relief	06
I.2.5. Climat	06
I.2.6. Température	07
I.2.7. Vent	07
I.2.8. Humidité de l’air	07
I.2.9. Précipitation	07
I.2.10. Géologie de la région	08
I.3. Sols	08
I.3.1. Définition des Sols	08
I.3.2. Éléments constitutifs d’un sol	08
I.3.3. Utilisation du sol	10
I.3.4 Définition de la chaussée	10
I.3.5 Différents types de chaussée	10
I.3.6. Indicateurs de référence	11
I.3.7. Sable rougeâtre	12
I.3.8. Tufs	12
I.3.9. Définition des tufs	12
I.3.10. Types des encroutements	13

I.4. Caractéristiques du sable rougeâtre et du Tuf	14
I.5. Conclusion	17

CHAPITRE II : DESCRIPTION DES ESSAIS

II.1. Introduction	19
II.2. Caractéristiques de la planche d'essai	19
II.2.1. Localisation géographique.....	19
II.2.2. Caractéristiques des matériaux utilisés	20
II.2.3. Données du trafic	20
II.2.4. Méthode de dimensionnement utilisé	20
II.2.5. Calculs de l'épaisseur	20
II.3. Essais in-situ	21
II.3.1. Prélèvements des échantillons par carottage (NF EN 12697 - 27)	21
II.3.1.1. Condition d'exécution	21
II.3.1.2. Condition d'observation des carottages	21
II.3.1.3. Appareillage	22
II.3.1.4. Mode opératoire	22
II.3.1.5. Déroulement de l'essai	23
II.3.2. Densimètre électromagnétique d'enrobée modèle 380 (ASTM D7113-05)	23
II.3.2.1. Définition	23
II.3.2.2. Principe de l'appareil	23
II.3.2.3. Mode opératoire	24
II.3.2.4. Détermination des résultats	26
II.3.3. Essai au compactomètre de Clegg (ASTM D 5874 – 02)	26
II.3.3.1. But de l'essai	26
II.3.3.2. Détermination des résultats	26
II.3.4. Détermination de la masse volumique d'un matériau en place : Méthode au densitomètre à membrane (NF P 94-061-2)	28
II.3.4.1. Domaine d'application	28
II.3.4.2. Principe d'essai	28
II.3.4.3. Expression des résultats	29
II.4. Essais au laboratoire	29
II.4.1. Masse volumique réelle de l'enrobé (NF EN 12697-5)	29
II.4.1.1. Mode opératoire	29

II.4.1.2. Détermination des résultats	30
II.4.2. Essai : Détermination de la masse volumique apparente (NF EN 12697-6)	31
II.4.2.1. Masse volumique apparente des éprouvettes paraffinées	31
II.4.2.2. Mode opératoire	31
II.4.2.3. Détermination des résultats	32
II.4.2.4. Compacité du mélange	32
II.4.3. Essai Duriez sur les mélanges hydrocarbonés (NF EN 12697 – 12)	33
II.4.3.1. Principe	33
II.4.3.2. Appareillage	33
II.4.3.3. Conservation des éprouvettes	34
II.4.3.3.1. Corps d'épreuve secs	34
II.4.3.3.2. Corps d'épreuve humides	34
II.4.3.4. Détermination des résultats	34
II.4.4. Essai de traction indirecte sur éprouvettes cylindriques - Module de rigidité - (EN 12697-26)	34
II.4.4.1. Principe	34
II.4.4.2. Système de chargement	35
II.4.4.3. Système de mesure de déformation	35
II.4.4.4. Détermination du module de rigidité	38
II.4.4.5. Module de rigidité de l'éprouvette	38
II.5. Conclusion	39

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III.1. Introduction	40
III.2. Essais in-situ	40
III.2.1. Prélèvement des échantillons par carottage (NF EN 12697 - 27)	40
III.2.1.1. Commentaires	41
III.2.2. Préparation des échantillons par surfaçage	41
III.2.3. Coupe transversale	42
III.2.3.1. Mode opératoire	42
III.2.3.2. Commentaires	44
III.2.4. Résultats de l'essai de densimètre électromagnétique d'enrobée modèle 380 (ASTM D7113-05)	44
III.2.4.1. Détail du mélange	44

III.2.4.2. Résultats d'essai	45
III.2.4.3. Commentaires	46
III.2.5. Résultats de la détermination de la masse volumique d'un matériau en place : Méthode au densitomètre à membrane (NF P 94-061-2)	47
III.2.5.1. Mode opératoire	47
III.2.5.2. Résultats d'essai	47
III.2.5.3. Commentaires	50
III.2.6. Résultats d'essai au compactomètre de Clegg (ASTM D 5874 – 02)	51
III.2.6.1. Résumé des résultats	51
III.2.6.2. Commentaires	52
III.2.6.3. Détermination du module d'élasticité.....	52
III.2.6.4. Résumé des résultats.....	53
III.2.6.5. Commentaires	54
III.3. Essais au Laboratoire	54
III.3.1. Résultats d'essai : Détermination de la masse volumique apparente (NF EN 12697-6).....	54
III.3.2. Résultats de la Masse volumique réelle des matériaux bitumineux (NF EN 12697-5).....	55
III.3.2.1. Compacité et pourcentage des vides de l'enrobé à froid ouvert	55
III.3.2.2. Commentaires	55
III.3.3. Résultats d'essai Duriez sur les mélanges hydrocarbonés (NF EN 12697 – 12)	56
III.3.3.1. Commentaires	57
III.3.4. Résultats d'essai de traction indirecte sur éprouvettes cylindriques - Module de rigidité - (EN 12697-26)	57
III.3.4.1. Commentaires	57
III.3.5. Détermination de la déflexion et le rayon de courbure	58
III.3.5.1 Principe du programme ALIZE	58
III.3.5.1. Commentaires	59
III.4. Conclusion	59
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS.....	61

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La route, mise en exploitation, subit de multitude de déformations et se comporte suivant l'aptitude de différentes couches en structure, à dissoudre ou non les sollicitations qui leur sont transmises.

Les dégradations des chaussées sont dues à l'action conjuguée du trafic de véhicules et du climat et se déclarent selon trois modes principaux d'altération : l'orniérage, la fatigue, la fissuration.

L'optimisation des structures de chaussée est obtenue à deux niveaux :

- Optimisation des qualités intrinsèques de chaque matériau vis-à-vis des critères d'orniérage, de fissuration, de résistance à la fatigue, mais aussi vis-à-vis de sa mise en œuvre.
- Optimisation de l'ensemble de la structure avec le dimensionnement des épaisseurs de couche en fonction des caractéristiques mécaniques des matériaux employés.

Les concepteurs ne cessent de simuler le comportement de la route (qui est très complexe) pour atteindre les modèles les plus proches de la réalité afin d'optimiser la durée de vie des ouvrages et offrir aux usagers de la route le confort et la sécurité souhaités.

La portance de la plateforme support d'une route dispose d'un rôle déterminant dans la conception de chaussée, par l'épaisseur et la qualité du matériau de la couche de forme. L'indice portant doit donc être évalué et apprécié avant et pendant la réalisation de l'ouvrage et ce compte tenu de la variabilité de l'état hydrique, des conditions thermiques du matériau et les caractéristiques géotechniques variables des tufs, renfermant un large éventail de matériaux subnormaux et identifiés selon les proportions de matières insolubles, de carbonates et gypses qui ont tendance à se dissoudre dans l'eau.

Avec l'influence du gradient thermique, la structure de la chaussée édifiée sur un sol déformable, ou sollicitée par la nappe superficielle ne résiste pas très longtemps sous les effets juxtaposés de trafic et dévoile sa fatigue par le phénomène de fissuration intense en couche de surface.

L'usage des matériaux subnormaux dans la réalisation des routes désertiques a bel et bien fait ses preuves durant les dix dernières décennies.

Une route désertique traverse des zones sahariennes très spacieuses où les matériaux nobles sont rares et les distances de transport comptaient plusieurs centaines de kilomètres amplifiant ainsi les coûts de réalisation. Ce qui a conduit aux concepteurs d'envisager la

stratégie de concevoir à la place d'une structure usuelle consistante, des chaussées souples flexibles constituées de matériaux subnormaux sous une couche de roulement fabriquée d'enrobé à froid ouvert. Ce type de structure a présenté une aptitude remarquable favorisée par la rareté pluviométrique et la faiblesse notable des trafics véhiculés. La durée de vie des routes désertiques dépassait alors les dix années et leurs dégradations étaient causées seulement au niveau des zones ensablées et les traversées d'oueds.

En zones urbaines, les routes à faibles trafics sont confrontées à la remontée de la nappe phréatique à travers des sols supports très perméables jusqu'aux couches de fondation et de base constituées essentiellement de matières solubles. Ce qui contribuait simultanément à la réduction de la portance de sol et à la détérioration du corps de chaussée sous les effets des eaux agressives d'infiltration à travers l'enrobé à froids ouvert.

La pérennité des voies était entravée et les motifs évoqués pour le recours aux routes désertiques (Tuf + Enrobé à Froid Ouvert) ne sont plus valables.

Dans ce contexte, notre mémoire présente une étude comparative effectuée sur une planche d'essais antérieure mise en observation à l'effet d'apprécier les deux structures selon qu'on substitue ou non le sable rougeâtre dénommé « Mezzouaghe » au tuf. Reconnu par son pouvoir de solidification en présence de l'eau. Ce matériau est évolutif et renferme une proportion de graves suffisantes pour constituer l'ossature des couches structurelles. Par contre les matériaux tufeux se désagrègent dans l'eau et disposent des caractéristiques géotechniques variables et temporaires.

Le comportement des deux structures est examiné à travers l'évaluation des paramètres de portance, de résistance et de compactage.... Etc. Les essais pratiqués sont focalisés sur la détermination des différents modules et les degrés de compactage des couches sont évalués selon différents appareils de mesures. La compacité de l'enrobé à froid ouvert est supputée par le densimètre électromagnétique model 380. La planche d'essais investiguée aurait d'être réellement soumise au trafic préconisé. Comme l'épaisseur de la couche de roulement doit être inférieure ou égale à 5cm. A défaut, le Kérosène mettra beaucoup de temps pour être évacué. Ce constituant du Cut-back aura tendance à détruire le bitume de base et la liaison granulats-bitume sera rompue, si ce n'est l'augmentation de pourcentage de vides de l'enrobé.

Comparaison faite, les différents indices d'appréciation attestent tous l'importance considérable que détient la conception d'une route imperméable si les caractéristiques géotechniques des matériaux composants le corps de chaussée sont médiocres.

La notion de module est introduite dans notre approche à plusieurs reprises, d'abord par l'utilisation de l'essai au compactomètre Clegg et ensuite par l'essai de traction indirecte sur

éprouvettes cylindriques. Ces données seront nécessaires pour supporter les déformations et contraintes aux interfaces des couches.

Afin de mener notre travail à terme, nous avons divisé notre mémoire en deux parties :

La première partie représente une synthèse bibliographique répartie en deux chapitres :

- **Le chapitre 01** : expose une présentation de la région d'Ouargla, des notions générales sur les sols et une synthèse bibliographique des études expérimentales antérieures sur le sable rougeâtre et le Tuf.
- **Le chapitre 02** : présente les caractéristiques de la planche d'essai réalisée ainsi que les essais in-situ et les essais élaborées au laboratoire selon les normes ASTM, AFNOR.

La deuxième partie de l'étude est expérimentale contient les résultats effectués en grande partie au Laboratoire des Travaux Publics du Sud (LTPS) de Ghardaïa et le laboratoire de l'université du KASDI MERBAH Ouargla. Elle englobe 01 seul chapitre :

- **Le chapitre 03** : est consacré à la présentation et l'interprétation des différentes mesures réalisées.

Notre travail est achevé par une conclusion générale, celle-ci rassemble les points importants issus de ce mémoire.

CHAPITRE I

SYNTHESE

BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Introduction

Le présent chapitre de ce mémoire expose la région d'Ouargla et ses conditions climatiques, des notions générales sur les sols et leurs utilisations dans le domaine génie civil. De plus, il comporte une synthèse bibliographique sur les études expérimentales antérieures sur le sable rougeâtre et le Tuf.

I.2. Présentation de la wilaya d'Ouargla

I.2.1. Zones arides

L'aridité est le manque d'eau permanent qui affecte une région. Elle ne dépend pas de la température : il existe alors des espaces arides et froids (aux pôles par exemple). De façon générale, les zones arides sont caractérisées par des précipitations rares et très irrégulières, il arrive souvent qu'il ne pleuve pas pendant des années. [1]

Selon **EMBERGER (1955)** et **LE HOUEROU (1975)**, la zone aride est subdivisée en trois domaines :

- ❖ Le domaine hyper aride dont la pluviométrie est inférieure à 100 mm ;
- ❖ Le domaine aride proprement dit dont la pluviométrie est comprise entre 100 et 300 - 400 mm ;
- ❖ Le domaine semi-aride dont la pluviométrie est comprise entre 300 - 400 mm et 600 mm.

Selon certains écologistes, le terme désert vrai devrait être réservé de façon exclusive aux zones à climat hyper aride [2]

L'Algérie est classée comme étant une zone semi-aride à aride du fait de l'importance de l'évapotranspiration par rapport aux précipitations. [2]

Selon **HALITIM (2011)**, la zone aride couvre près de 95 % du territoire national, dont 89,5 % est le domaine hyper aride (saharien). [2]

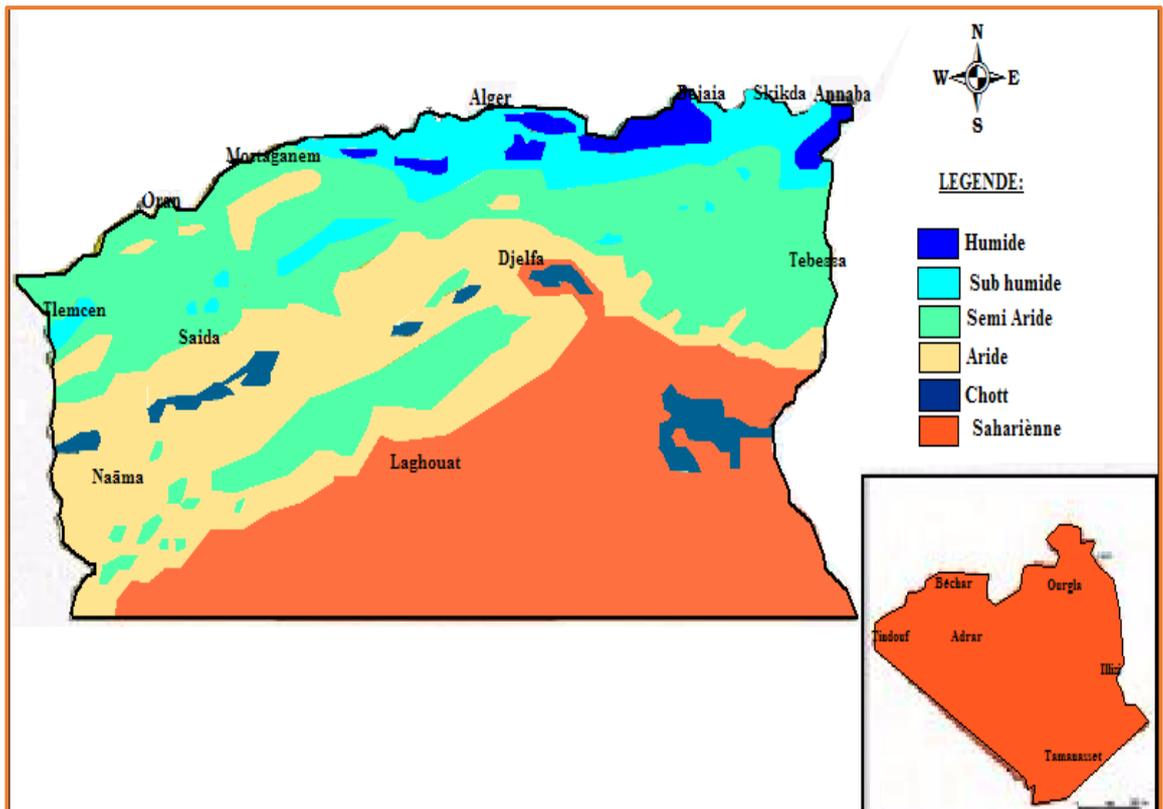


Figure I.1 : Carte bioclimatique de l'Algérie. [3]

I.2.2. Situation géographique

La Wilaya d'Ouargla est située au sud-est de l'Algérie couvrant une superficie de 163.233 km². Elle est limitée : [4]

- Au Nord, par les wilayas de Djelfa, Biskra et El Oued
- Au Sud, par Illizi et Tamanrasset
- A l'Est, par la Tunisie
- A l'Ouest, par Ghardaïa

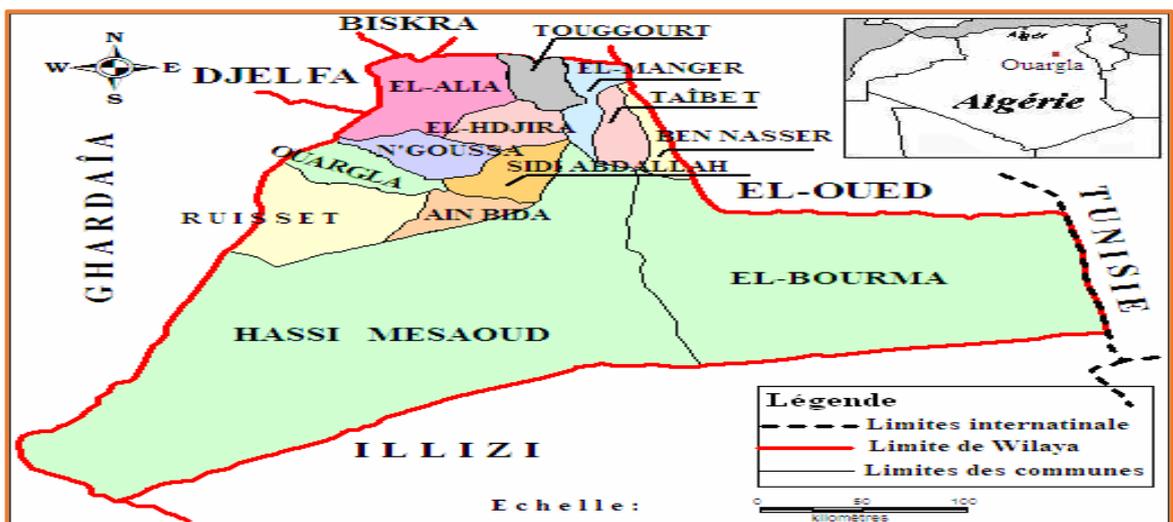


Figure I.2 : Délimitation administrative de la wilaya d'Ouargla. [5]

I.2.3. Situation démographique

La population totale de la wilaya est estimée à 663.718 habitants en 2016 avec une densité de 4,01 Hab/Km². [6]

I.2.4. Relief

Le relief de la wilaya est un sous ensemble de composants géographiques dont les principaux sont les suivantes :

- ✓ **Grand erg oriental** : véritable mer de sable ou les dunes pouvant atteindre une hauteur de 200m, il s'étend sur environ les 2/3 du territoire de la wilaya.
- ✓ **Hamada** : qui est un plateau caillouteux, elle est située en grande partie à l'Ouest de la Wilaya, et au sud.
- ✓ **Vallées** : sont représentées par la vallée fossile d'Oued Mya et vallée de l'Oued Righ, assez prospères.
- ✓ **Plaines** : assez réduites, se rencontrent à la limite occidentale de la Wilaya, ces plaines s'étendent du Nord au Sud.
- ✓ **Dépressions** : sont quant à elles peu nombreuses. Elles se trouvent essentiellement dans la région de l'Oued Righ. [3]



I.2.5. Climat

La wilaya d'Ouargla est caractérisée par un climat saharien, avec une pluviométrie très réduite, des températures élevées, une forte évaporation et par une faiblesse de la vie biologique de l'écosystème. Les températures moyennes mensuelles enregistrées au mois le plus chaud (juillet) sont de 48° C à Touggourt et de 50° C à Hassi Messaoud. Alors que celles du mois le plus froid (janvier) sont de 10,8°C à Touggourt et de 9,7°C à Ouargla. [4]

La wilaya d'Ouargla est caractérisée par un climat saharien avec une pluviométrie très réduite, des températures élevées et une forte évaporation. [7]

Le climat de la wilaya d'Ouargla est de type saharien et se caractérise par une forte aridité avec des températures élevées en périodes estivales, des précipitations très faibles. [8]

I.2.6. Température

La température moyenne mensuelle maximale enregistrée au mois le plus chaud (Juillet) est de 43,71 C°, alors que celle du mois le plus froid (Janvier) sont de 5,11 C° pour la région de Ouargla. [2]

I.2.7. Vent

Les vents dominants dans cette région soufflent dans les directions Nord Nord-Est et Sud Sud-Est, avec une vitesse pouvant atteindre et parfois dépasser 61 km/h. Le Sirocos (vent chaud et sec) peut être observé à toute époque de l'année. [7]

La région d'Ouargla est caractérisée par des vents fréquents. [9]

I.2.8. Humidité de l'air

L'humidité relative c'est le rapport de la tension de vapeur effective à la tension de vapeur saturante dans les mêmes conditions de température et de pression.

L'humidité relative enregistre des taux tournant de 37 % à 60 % alors que l'évaporation est très importante 2342 mm/an. [7]

I.2.9. Précipitation

Les résultats enregistrés durant l'année 2016 du cumul moyen annuel de la précipitation est très faible et ne dépasse pas 40 mm par an. [8]

Tableau I.1 : Facteurs climatiques de la région d'Ouargla. [7]

Mois	Température (C°)			Humidité (%)	Précipitations (mm)	Vent (km/h)
	min	max	moy			
Janvier	4	18	11	60	3.2	60
Février	5	20	13	50	0.4	60
Mars	9	25	17	47	1.7	66
Avril	14	30	22	46	1.9	75
Mai	18	34	26	42	1.4	74
Juin	22	38	30	38	0.4	62
Juillet	27	43	35	37	00	69
Août	26	42	34	41	0.2	59
Septembre	22	36	29	48	2.3	59
Octobre	16	31	23	52	3.8	52
Novembre	9	23	16	57	3	52
Décembre	4	17	10	60	3.2	50
Total/moyen	14	30	22	48	21.5	61

I.2.10. Géologie de la région

Le territoire d'Ouargla est situé dans l'immense bassin saharien, il est caractérisé par un remplissage sédimentaire plus ou moins circulaire ayant un diamètre de 6000 Km.

La wilaya d'Ouargla est située dans une région très accidenté à tectonique stable. On distingue trois régions, le plateau du M'Zab situe à l'ouest, les vallées de l'oued M'ya et l'oued Righ et le grand erg oriental. [1]

I.3. Sols

I.3.1. Définition des Sols

Le sol été défini comme un corps naturel comprenant des couches (horizons) qui sont composées de matériaux altérés minéraux, de matières organiques, d'air et d'eau. Le sol est le produit final de l'effet combiné du climat, de la topographie, des organismes (flore, faune et êtres humains) sur les matériaux de base (roches et minéraux d'origine). En conséquence, le sol se distingue de son matériau de base par sa texture, sa structure, sa consistance, sa couleur, et ses caractéristiques chimiques, biologiques et physiques. [10]

Le sol est un agrégat naturel de grains minéraux, séparables par une action mécanique légère. Le sol est le résultat d'une altération naturelle physique ou chimique des roches. [11]

I.3.2. Eléments constitutifs d'un sol

Un sol est constitué d'éléments solides qui forme le squelette du sol, d'eau pouvant circuler ou non entre les particules et de l'air (ou du gaz).

A. Éléments solides

Les grains solides proviennent de l'altération de la roche mère. Ces grains ont des dimensions supérieures à 2μ .

Les particules les plus fines ($d < 2\mu$) sont issues d'une désagrégation mécanique de la roche mère puis, après dissolution sous l'action de l'eau, sont le résultat d'une altération chimique.

Ces grains constituent l'élément fondamental de l'analyse des sols. Leur taille, leur forme, leur enchevêtrement sont capitales pour le comportement du sol, et ne dépendent pas des conditions extérieures.

Tableau I.2 : Dénominations adoptées en fonction de la grosseur des grains. [12]

Dimension	Catégorie de sol
$d < 2 \mu$	Argile
$2 \mu < d < 20 \mu$	Limon
$20 \mu < d < 0,2 \text{ mm}$	Sable fin
$0,2 \text{ mm} < d < 2 \text{ mm}$	Sable grossier
$2 \text{ mm} < d < 20 \text{ mm}$	Gravier
$20 \text{ mm} < d < 200 \text{ mm}$	Cailloux
$D > 200 \text{ mm}$	Blocs rocheux

B. Éléments liquides [13]

L'eau peut se trouver dans plusieurs états à l'intérieur d'un sol, On distingue :

- **Eau de constitution** : qui entre dans la composition chimique des minéraux dont les particules de sol sont formées ;
- **Eau liée ou absorbé** : à la surface des grains très fins, qui est orientée par les forces d'attraction moléculaire et les forces électrostatiques ; elle a une viscosité élevée et ne transmet pas les pressions ;
- **Eau capillaire** : qui, dans les sols non saturés, en présence d'air ou d'autres gaz, est retenue dans les canaux les plus fins du sol par les forces capillaires ;
- **Eau libre** : qui circule librement dans les pores du sol sous l'effet des forces de pesanteur.

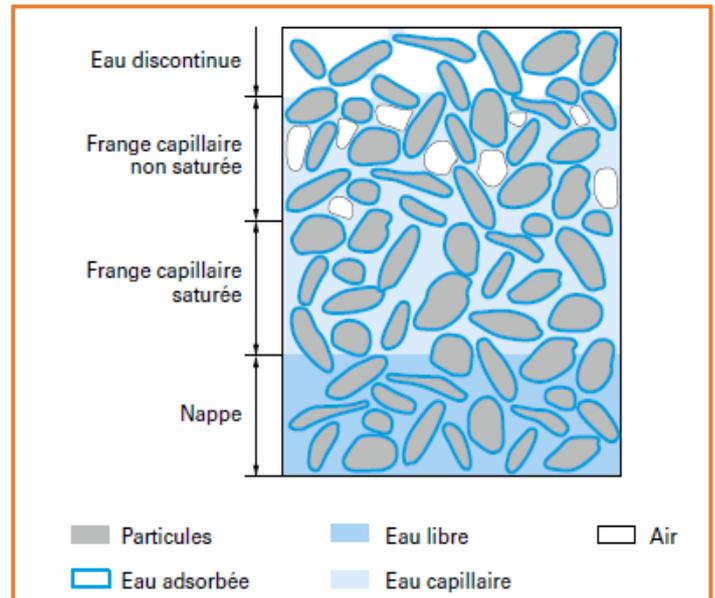


Figure I.3 : Différents états de l'eau dans le sol.

C. Éléments gazeuses

Lorsque le sol n'est pas saturé, la phase gazeuse est constituée par un mélange d'air, de vapeur d'eau et éventuellement de gaz provenant de la décomposition de matières organiques.

I.3.3. Utilisation du sol

Le sable joue un rôle essentiel dans tous les travaux de bâtiment et de génie civil en relation avec le sol ou les mettant en œuvre. Donc c'est un matériau de base utilisé en génie civil.

Les sols peuvent être :

- **Support des ouvrages** : les structures réalisées transmettent leurs charges aux fondations par l'intermédiaire de fondations superficielles ou profondes.
- **Supportés par des** : murs de soutènement, rideaux de palplanches...,
- **Constitué l'ouvrage lui-même** : remblais, digues, barrages...,
- **Matériau de construction** : exploité en carrières ou dragué en rivière, il entre dans la fabrication du béton comme granulats, est utilisé pour la fondation des chaussées, la réalisation de barrages, de digues, de remblais, etc....

On peut citer par exemple :

- Les fondations des bâtiments, des ouvrages d'art, des ensembles industriels...
- Les ouvrages des soutènements (murs, rideaux de palplanches...),
- Les tunnels et travaux souterrains dans les sols,
- Les barrages et digues en terre,
- La stabilité des pentes naturelle est des talus et les travaux de stabilisation,
- Les ouvrages portuaires et maritimes (fondations de quais, comportement des brise-lames),
- Les terrassements des routes, autoroutes, voies ferrées,
- L'amélioration et le renforcement des sols,
- La protection de l'environnement.

I.3.4 Définition de la chaussée [14]

- **Au sens géométrique** : la surface aménagée de la route sur laquelle circule les véhicules.
- **Au sens structurel** : l'ensemble des couches des matériaux superposés qui permettent la reprise des charges.

I.3.5 Différents types de chaussée

Du point de vue constructif les chaussées peuvent être groupées en trois grandes catégories :

- **Chaussée souple** : est constituée de deux éléments constructifs :
 - Les sols et matériaux pierreux granulométrie étalée ou serrée.

- Les liants hydrocarbonés qui donnent de la cohésion en établissant des liaisons souples entre les grains de matériaux pierreux.
- **Chaussée rigide** : se compose d'une dalle de ciment portland fléchissant élastiquement sous les charges, reposant sur un sol compacté ou sur une mince fondation de pierre ou de gravier concassé, ou sur une fondation stabilisée.
- **Chaussée semi-rigide** : C'est un cas intermédiaire entre les chaussées souples et les chaussées rigides.

I.3.6 Indicateurs de référence

Les indicateurs de référence constitueront les seuils admissibles d'appréciation du comportement structurel de la chaussée investiguée. Ceci est en relation avec les élongations relatives aux interfaces des couches de chaussée.

La valeur de la déflexion mesurée sur une chaussée souple dépend de l'épaisseur et de l'état résiduel des couches bitumineuses, de la rigidité des couches d'assises et de la qualité de la plateforme support. Par suite, sa valeur caractéristique constitue un indicateur du comportement mécanique de l'ensemble structure/support de chaussée.

Les déflexions caractéristiques sont réparties en classes et fournissent un qualificatif du comportement global de la chaussée en fonction de la classe de trafic.

Tableau I.3 : Classes de déflexion caractéristique pour les chaussées souples.

Classes	≤ D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
Seuils de déflexion caractéristique en 1/100^{ème} mm	de 0 à 44	de 45 à 74	de 75 à 99	de 100 à 149	de 150 à 199	de 200 à 299	≥ 300

Le rayon de courbure est pour de sa part plus sensible aux caractéristiques des couches de surface qu'à celles des couches profondes. Sur chaussée souple, cette mesure est particulièrement significative lorsque la déflexion est inférieure à 100/100 - ème mm ; sa valeur médiane permet alors une approche plus discriminante des désordres de la chaussée, intégrant d'emblée la déformabilité à laquelle seront soumis les rechargements futurs.

Le tableau I.4 fournit la valeur médiane minimale de rayon de courbure correspondant à une structure « saine ». Lorsque la valeur médiane du rayon de courbure est inférieure, elle traduit :

- ✓ Soit une insuffisance des caractéristiques des couches bitumineuses ;
- ✓ Soit un décollement d'interface en partie supérieure de la structure ;

- ✓ Soit une couche de base en grave non traitée de mauvaise qualité.

Tableau I.4 : Valeur médiane minimale de rayon de courbure en mètres en fonction de l'épaisseur de matériaux bitumineux et de la classe de déflexion.

Déflexion (1/100 mm)	Épaisseur de matériau bitumineux		
	≤ 0.05 m	> 0.05 m ≤ 0.10 m	> 0.10 m
≤ D3	125	160	210
D4	85	120	165
D5	65	100	145
D6	45	75	115
D7	35	60	100
D8	25	50	85

I.3.7. Sable rougeâtre

Les sols rougeâtres sont des sols fins caillouteux de couleur rouge. L'étude d'identification et de caractérisation des sables rougeâtres s'avère primordiale afin de bien comprendre et de mettre en évidence les caractéristiques mécaniques, physiques et chimiques. Les prélèvements du sable étudié (sable rouge « Mezzouaghe ») sont de la commune de Bamndil.

I.3.8. Tufs

Les tufs sont des roches non homogènes poreuses, friables, et légères souvent pulvérulentes soit d'origines calcaires, issus de sources ou rivières dites pétrifiantes ou la présence d'une riche végétation accélère le dépôt de calcaire, soit d'origine volcanique, agrégats qu'on trouve sous forme strate grossière, souvent sous une mince couche de terre.

Les tufs peuvent offrir des couleurs très variées selon les éléments qui les composent.

I.3.9. Définition des tufs

Selon le dictionnaire de l'académie française le mot tuf se définit comme : « Substance pierreuse, formée soit par des dépôts calcaires, soit par des cendres, des boues, des débris volcaniques ».

Dans le langage courant le terme « TUF » doit être considéré comme une désignation locale des encroûtements calcaires en Afrique du Nord.

Selon leurs compositions, les tufs se groupent en trois catégories : [15]

- Les tufs calcaires ;
- Les tufs gypseux ;
- Tufs mixtes.

I.3.10. Types des encroûtements

A. Encroûtements calcaires

Les tufs calcaires existent dans la plupart des pays du bassin méditerranéen et occupent les zones à climat sec. L'abondance de cette ressource naturelle, fait que leur utilisation comme matériau routier est devenue de plus en plus répandue.

Les tufs calcaires sont des roches sédimentaires calcaires continentales, de couleurs blanches quand elles sont pures, mais tirant vers le gris ou jaunâtre ou rougeâtre ou marron, selon les impuretés. Ils sont composés essentiellement mais pas exclusivement de carbonate de calcium ; existent l'état poudreux, nodulaire ou indurés et sont dus à une dissolution puis une précipitation du calcaire. [16]

B. Encroûtements gypseux

Les encroûtements gypseux sont des compositions semblables aux encroûtements calcaires. Ils sont très abondants dans les régions à climat arides où les précipitations sont insuffisantes pour lixivier-gypse (c'est faire passer lentement un liquide à travers une poudre pour en extraire les produits solubles), qui existe déjà dans les compositions géologiques anciennes. Ce minéral qui présente l'élément actif de la cimentation de ces formations, possède une dureté très faible : il peut être rayé à l'ongle ; cette particularité pourrait paraître suffisante pour interdire l'utilisation du gypse comme matériau de chaussée en zones climatiques subhumides et semi-arides.

C. Encroûtements mixtes

Les encroûtements mixtes sont des compositions de tufs calcaires gypseux à prédominance carbonatée ou de tufs gypseux calcifiés à prédominance sulfatée. Au-delà d'une certaine aridité, le développement des encroûtements calcaires est arrêté à la source, à cause de l'insuffisance des précipitations pour dissoudre et drainer le calcaire vers les nappes phréatiques ; et inversement, lorsqu'on passe du climat désertique au climat semi-aride, le gypse devient instable dans les sols à cause de sa solubilité notable, les encroûtements gypseux sont remplacés alors par les encroûtements calcaires.

Les tufs gypso-calcaires et calcaire-gypseux qui en résultent sont déconseillés en zones subhumides et semi-arides à cause de la solubilisation du gypse ; par contre ils sont utilisés dans les régions arides. [17]

I.4. Caractéristiques du sable rougeâtre et du Tuf

Afin d'identifier ce type de sable « Mezzouaghe », des études expérimentales à base des essais physiques, mécaniques et chimiques étaient effectués sur deux échantillons en provenance de la région d'Ouargla, Bamndil.

1. Les essais d'identifications physiques, (analyse granulométrique, équivalent de sable) montrent que le sable étudié est un sable très fin et propre. D'où il a un pourcentage de fines argileuses très faible, avec une granulométrie serrée et bien graduées.

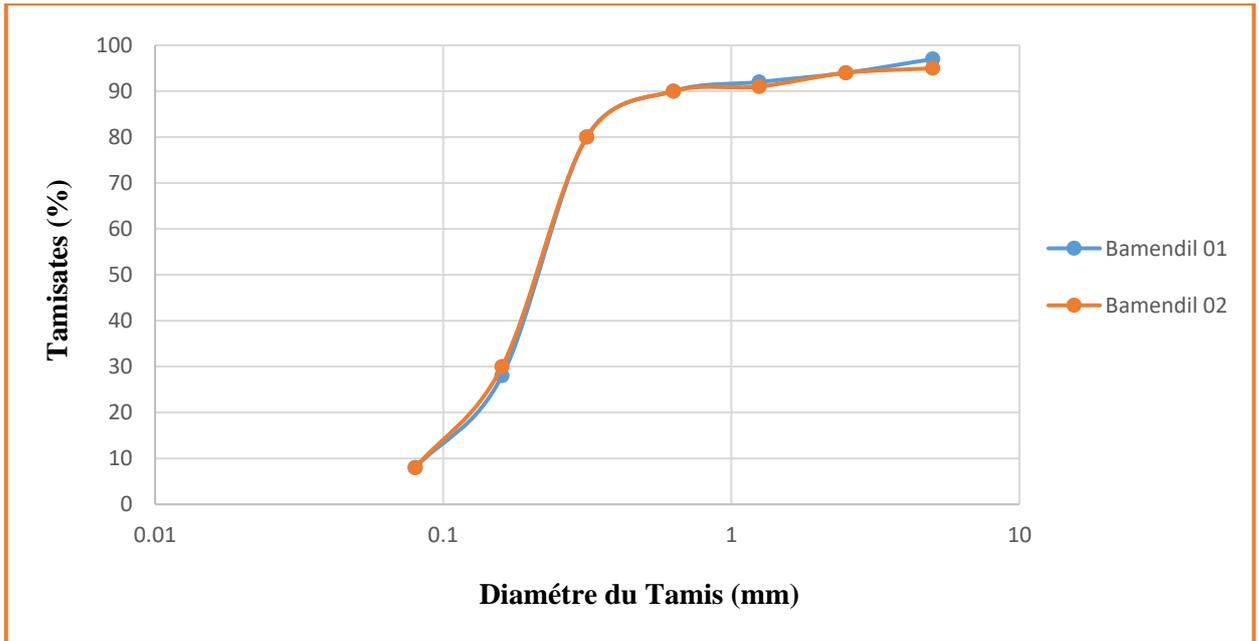


Figure I.4 : Courbe d'analyse granulométrique du sable rougeâtre. [18]

- **Tuf :**

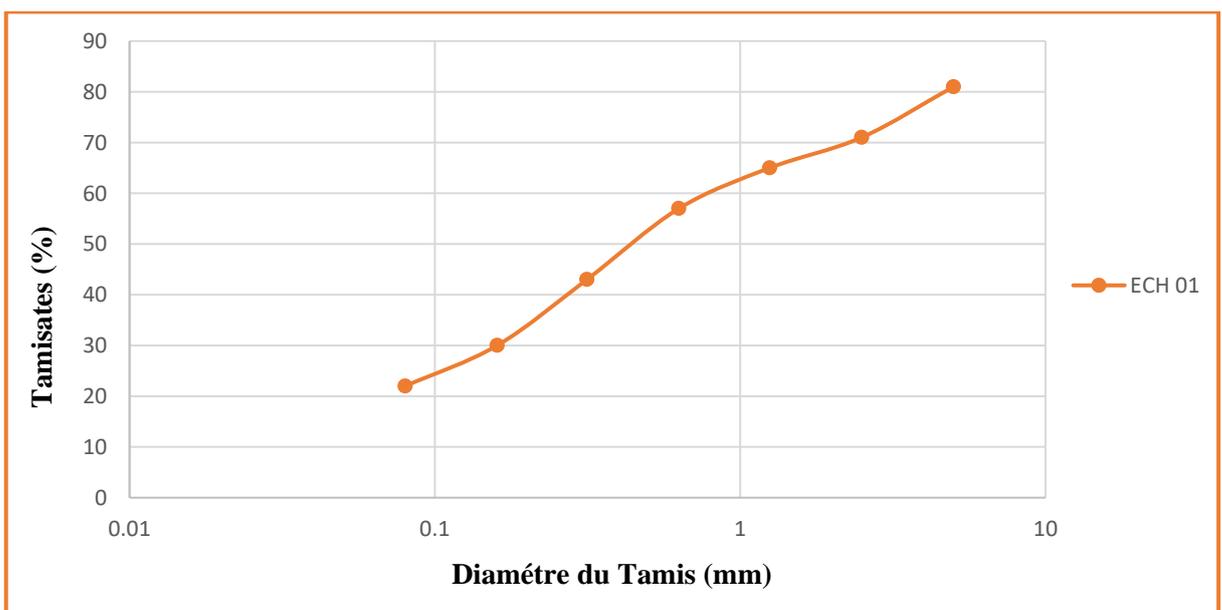


Figure I.5 : Courbe d'analyse granulométrique du Tuf. [18]

2. L'essai Proctor montre des valeurs de densité sèche maximale élevée (1,77 ; 1,76) pour les deux échantillons du sable rougeâtre. Ce qui caractérise une bonne compacité.

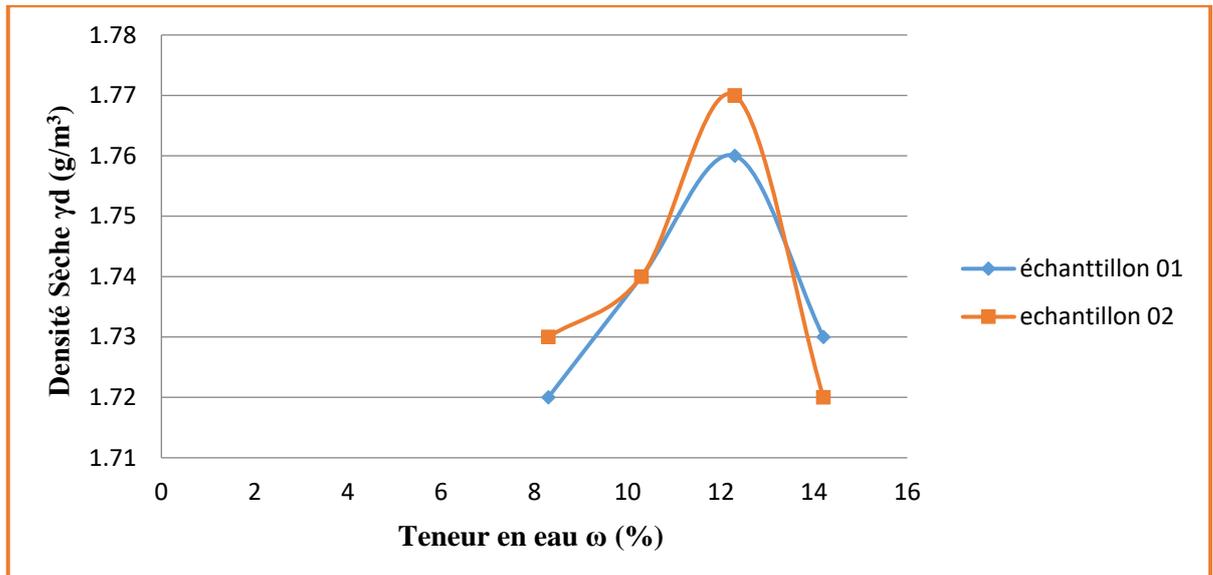


Figure I.6 : Courbes Proctor modifiées pour les deux prélèvements du sable rougeâtre [18]

- **Tuf :**

Tableau I.5 : Résultats de mesures d'essai Proctor modifié du Tuf. [18]

Teneur en Eau ω (%)	Densité Sèche γ d (g/cm ³)
13.50	1.81

3. Les résultats de l'essai CBR donnent des indices CBR immédiat élevés (48.11 ; 48.53). [18]

Dans le cas de sable rougeâtre l'indice CBR imbibé est égal à 42.93 > 20 avec une petite variation de teneur en eau après l'immersion (1.56% ; 2.72%) avec un taux de gonflement très faible pour les deux prélèvements. [18]

- **Tuf :**

- Indice portant = 55,74

4. Pour l'essai de compression simple, six éprouvettes sont préparées avec une teneur en eau de l'optimum Proctor ω_{opt} , chaque deux éprouvettes ayant un poids correspondant à la compacité (100 %, 98 %, 95 %) respectivement, et les résultats de chaque prélèvement sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau I.6 : Résultats d’essai de Compression simple pour les deux prélèvements.

	Bamandil 1		Bamandil 2	
Compacité théorique	Résistance (Kg/cm ²)	Résistance Moy (bars)	Résistance (Kg/cm ²)	Résistance Moy (bars)
100% ①	6,24	5,98	6,24	5,72
100% ②	5,72		5,20	
98% ①	5,1	4,85	4,59	4,59
98% ②	4,59		4,59	
95% ①	3,57	3,57	3,57	3,32
95% ②	3,57		3,06	

Les résultats obtenus sont relativement faibles que les sols utilisables dans les projets de route. Donc, on doit améliorer la résistance de compression du sable et rechercher des solutions. Soit par l’augmentation d’épaisseur de couche ou bien avec un traitement de sable ou ajout d’un sable grossier.

- **Tuf :**

Tableau I.7 : Résultats d’essai de Compression simple.

Rc en bars à 95 %	18.49
Rc en bars à 98 %	26.78
Rc en bars à 100 %	28.31

5. Les résultats des essais de Cisaillement rectiligne directe montre que la résistance au cisaillement de sable rougeâtre est ordinaire, avec des cohésions de (0.35 bars, 0.24 bars et 0.42 bars). [1]
6. L’analyse chimique du sable rougeâtre donne des résultats très significatifs, d’où on a un taux de pourcentage d’insolubles très élevé supérieur à 90 % et le taux des sulfates et les gypses est très faible et un taux de Carbonates (calcaire) ordinaire. Ceci est un avantage car le sol est insoluble et inerte à l’eau, ce qui augmente sa résistance vis-à-vis de la remontée des eaux.

Ainsi, l’analyse chimique quantitative révèle que :

- ❖ Les trois échantillons renferment des proportions de (94,48 % 90,86 % 94,94 %) respectivement de silice [SiO₂] largement supérieurs à 80 % qui est le seuil des sols gonflants et non gonflants. De ce fait, ont conclu que les sables rougeâtres sont des sols non gonflants.

- ❖ Le taux de carbonate de calcium [CaCO₃] est de (2,00 % ; 7,00 % ; 4,00 %) respectivement pour les trois échantillons, ce qui fait que le sable étudié à une fraction argileuse.
- ❖ Le taux de l'anhydride sulfurique [SO₃] est de 0,28 % ; 0,24 % ; 0,25 %, ce qui fait que le sable étudié n'est pas en réalité agressif. [1]

Une autre analyse chimique effectuée par le laboratoire A.S.T.E.C / Engineering sur le sable rougeâtre (dans l'objectif d'une étude géotechnique d'urbanisation POS KF Bamendil – Ouargla) donne la conclusion suivante : [19]

Les résultats des essais chimiques trouvés font apparaître des taux de sulfates compris entre 1.48 % et 1.95 %, pour tous les échantillons analysés.

Conformément à la norme P 18 – 011 du mois de juin 1992, le sol étudié s'insère dans la classe A3 de forte agressivité à l'égard des bétons.

L'analyse élémentaire par spectromètre de fluorescence des rayons X a mis en évidence la composition suivante :

Tableau I.8 : Résultats de l'analyse du sable rougeâtre par spectromètre RX. [19]

Teneur %									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂
89.67	1.61	0.55	3.84	0.18	0.04	0.61	0.04	0.01	0.15

En se référant au diagramme TAS (Total Alkali Silica), classification qui permet de définir la roche volcanique par sa composition chimique à partir du rapport entre le taux pondéral de (SiO₂ = 89.67 %) et le taux des minéraux alcalins (Na₂O + K₂O = 1.65 %), le sable analysé provient d'une roche magmatique volcanique allochtone sur saturée en silicium dénommée **Rhyolite**. Le dioxyde de silicium dissout dans l'eau ($8 \text{ SiO}_2 + 10 \text{ H}_2\text{O} = 2 \text{ Si}_4\text{H}_{10} + 13 \text{ O}_2$) intervient dans la cimentation des sédiments détritiques et grés en roches sédimentaires compactes par les processus de la diagenèse.

Le dioxyde de silicium est réactif et le produit Si₄H₁₀ est un composé liquide dénommé le Tétra silane. [19]

I.5. Conclusion

Le sable rougeâtre à un taux d'insolubles prédominant cela représente un avantage par rapport au tuf. Donc, ce sable rougeâtre est peu sensible à l'eau. Ce qui favorise son exploitation par rapport au tuf, et donne une meilleure résistance au phénomène de la remontée des eaux.

Le seul inconvénient de ce sable est la résistance à la compression qui implique de faire des recherches d'amélioration de cette caractéristique.

CHAPITRE II
DESCRIPTION DES
ESSAIS

II.1. Introduction

Dans le but de faire une comparaison du comportement des deux structures de chaussée, une planche d'essai réalisé au sien de l'université Kasdi Merbah Ouargla par des étudiants de Master promos 2017. Notant, la première est à base de sable rougeâtre, tandis que la second est à base de Tuf.

Il était nécessaire de faire une évaluation des deux structures avec un ensemble d'essais effectués sur terrain et au laboratoire. Celle-ci nous permettra d'avoir une idée sur les changements survenus depuis sa réalisation.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les caractéristiques de la planche d'essai réalisée et la description des essais in-situ et les essais élaborés au laboratoire (selon les normes ASTM, AFNOR).

II.2. Caractéristiques de la planche d'essai

II.2.1. Localisation géographique

La planche d'essai se trouve au sien de l'université de Kasdi Merbah Ouargla dont les coordonnées géographiques (Degrés, minutes décimales) sont les suivantes :

- ✓ Latitude : $31^{\circ} 56.314'N$;
- ✓ Longitude : $5^{\circ} 17.063'E$.



Figure II.1 : Planche d'essai.

II.2.2. Caractéristiques des matériaux utilisés

Les résultats des essais d'identification des matériaux utilisés qui définissent leurs caractéristiques (physiques, mécaniques et chimiques), sont mentionnés en détail dans le chapitre I (page 14).

II.2.3. Données du trafic

Les données du trafic utilisées prises comme base de référence pour le dimensionnement de la structure de chaussée sont les suivantes : [18]

- ❖ Le trafic à l'année 2011 : $TMJA_{2011} = 12000 \text{ V/J}$.
- ❖ Le taux d'accroissement annuel du trafic : $\tau = 4\%$.
- ❖ Le pourcentage moyen de poids lourds : $PL = 50\%$.
- ❖ L'année de mise en service sera **2018**.
- ❖ La durée de vie estimée est de **10 ans**.

II.2.4. Méthode de dimensionnement utilisé

La méthode utilisée pour le dimensionnement de la structure de chaussée est la méthode C.B.R (California – Bearing – Ratio). [18]

II.2.5. Calculs de l'épaisseur

Les calculs de dimensionnement du corps de chaussée par la méthode de C.B.R donnent les résultats suivants :

- ❖ **Structure à base du Tuf [18]**
 - $I_{CBR} = 38.5$
 - $TMJA = 4322836 \text{ t/an} > 100000 \text{ t/an}$
 - $N = 7895.59 \text{ c/j}$
 - Epaisseur équivalent total = 15.19 cm.

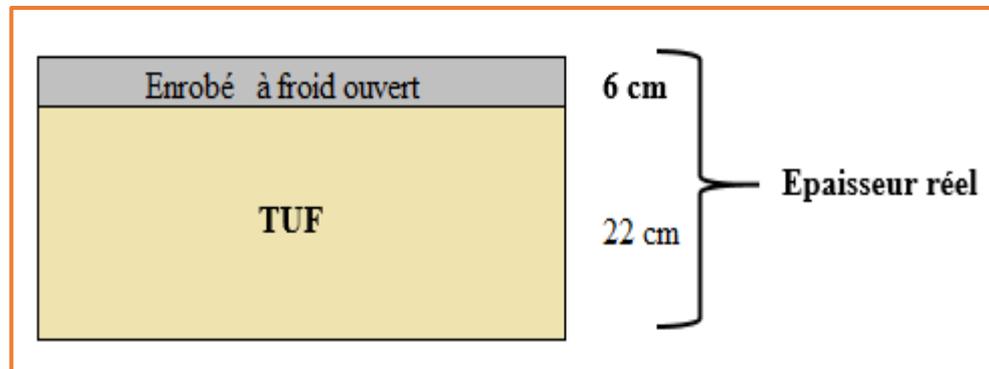


Figure II.2 : Structure de chaussée (Tuf).

❖ **Structure à base du sable rougeâtre [18]**

- $I_{CBR} = 38.5$
- $TMJA = 4322836 \text{ t/an} > 100000 \text{ t/an}$
- $N = 7895.59 \text{ camions}$
- Epaisseur équivalent total = 15.19 cm.

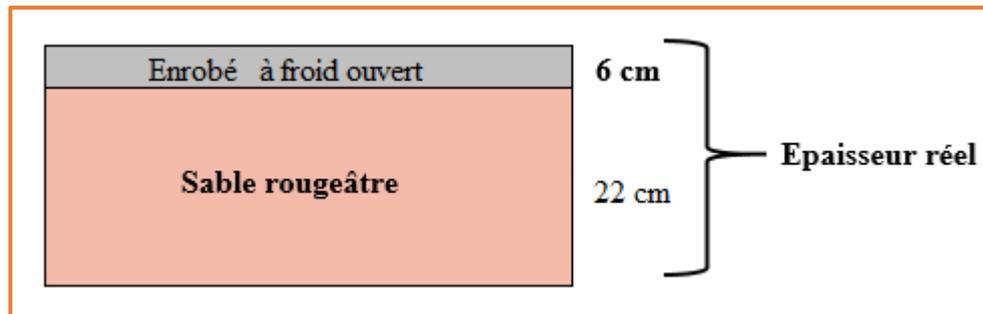


Figure II.3 : Structure de chaussée (Sable rougeâtre).

II.3. Essais in-situ

II.3.1. Prélèvements des échantillons par carottage (NF EN 12697 - 27)

Le carottage est un essai qui consiste à découper et à extraire d'une chaussée un échantillon cylindrique, appelé carotte. L'observation visuelle de la carotte, et de la paroi de la cavité ainsi pratiquée dans la chaussée, permet de connaître la nature et l'état des matériaux. On déduit notamment de cet essai les caractéristiques suivantes :

- ✓ Pour chaque couche de matériau, l'épaisseur, E_p , l'indice d'état du matériau, IEM, et si une fissure traverse la carotte, l'indice d'état de la fissure, IEF ;
- ✓ Pour chaque interface, l'indice IEI d'état de l'interface.

Les couches et interfaces sont numérotées en ordre croissant du haut vers le bas.

II.3.1.1. Condition d'exécution

Le carottage doit théoriquement être effectué perpendiculairement à la chaussée. En pratique, l'inclinaison par rapport à cette perpendiculaire doit être inférieure à 10° . Le matériel est mis en œuvre selon sa notice d'utilisation, avec un carottier adapté au matériau à carotter. La poussée verticale sur l'outil, la vitesse de rotation et le débit d'eau seront choisis en fonction de ce carottier, et de l'état de cohésion des couches à traverser.

II.3.1.2. Condition d'observation des carottages

Une fois le carottage achevé, la carotte extraite de la cavité et reconstituée dans son coffret, l'observation porte, selon des modes opératoires, sur les dimensions et l'état d'intégrité de la carotte, et sur l'apparence de la paroi de la cavité de carottage. En fonction de ces observations, on note chaque couche et chaque interface selon une codification.

II.3.1.3. Appareillage

Les carottages sont effectués avec une carotteuse type CECPA, ou équivalent. Sauf spécification contraire explicite, ils sont toujours réalisés à l'eau. La carotteuse doit détenir des caractéristiques constructives en mesure de percer la chaussée selon l'épaisseur sollicitée. Elle doit être stable pendant l'essai. Sa broche doit être équipée d'un dispositif de contrôle et d'affichage en continu de la vitesse de rotation et de la poussée permettant d'optimiser la coupe avec le carottier choisi. Cette broche, stable dans son porte-broche, doit aider au centrage du carottier de sorte qu'il ne vibre pas pendant l'essai. Il est recommandé de ne pas tolérer un excentrement supérieur à plus de 1 % du diamètre du carottier.

II.3.1.4. Mode opératoire

❖ **Paramètres relevés :** Le carottage apporte au moins quatre informations utiles pour chaque couche d'assise traitée :

- La nature du matériau constituant la couche,
- L'épaisseur de la couche,
- L'état de la couche traitée, elle-même,
- L'état de l'interface entre cette couche et la couche inférieure.

❖ **Implantation des essais**

L'implantation des carottages est en fonction du problème à traiter. Elle résulte donc d'une étude préliminaire, qui doit notamment prendre en compte les dégradations visibles à la surface de la chaussée et, s'ils sont disponibles, les paramètres de déformabilité de surface (déflexion, courbure).

Dans tous les cas, on fera au minimum quatre carottages par section d'essai, et au moins un carottage par 50 mètres. Ces carottages seront exécutés à plus de 75 centimètres de toute fissure transversale (et 35 cm de toute fissure longitudinale) visible à la surface de la chaussée. On recommande de réaliser les carottages pour partie dans les bandes de roulement et pour partie hors des bandes de roulement, dans la mesure du possible.



Figure II.4 : Exécution du carottage

II.3.1.5. Déroulement de l'essai

L'essai comprend quatre phases qui doivent être exécutées en respectant les conditions décrites dans les paragraphes « § II.3.1.1. » et « § II.3.1.2. » :

- La mise en place de la carotteuse,
- L'exécution du carottage proprement dit,
- L'extraction de la carotte,
- L'observation de la carotte et de la cavité de carottage.

II.3.2. Densimètre électromagnétique d'enrobée modèle 380 (ASTM D7113-05)

II.3.2.1. Définition

Le densimètre électromagnétique d'enrobée modèle 380 est un essai non destructif réaliser in-situ qui permet de déterminer la compacité et la densité de l'enrobée.

II.3.2.2. Principe de l'appareil

Le principe de fonctionnement de ces appareils consiste à utiliser des ondes électriques pour mesurer un constant diélectrique caractéristique du matériau qui est ausculté. Les mesures sont réalisées en faisant passer un champ électrique toroïdal à travers le matériau testé. Le champ magnétique est généré à partir d'une plaque placée sur l'enrobé à ausculter. Cette plaque contient à la fois un émetteur et un récepteur. La densité du matériau est déterminée à partir de la réponse du champ électrique aux changements de l'impédance électrique du matériau. Trois modes de lecture sont prédéfinis dans l'appareil pour réaliser les mesures : mode simple (une lecture de trois secondes), mode moyen (moyenne de cinq lectures de trois secondes) et mode continu (une lecture d'une seconde). On peut aussi introduire l'épaisseur de la couche à mesurer de 20 à 100 mm, et la granularité de l'enrobé : base (25-35 mm), intermédiaire (16-24 mm) et surface (9-15 mm).

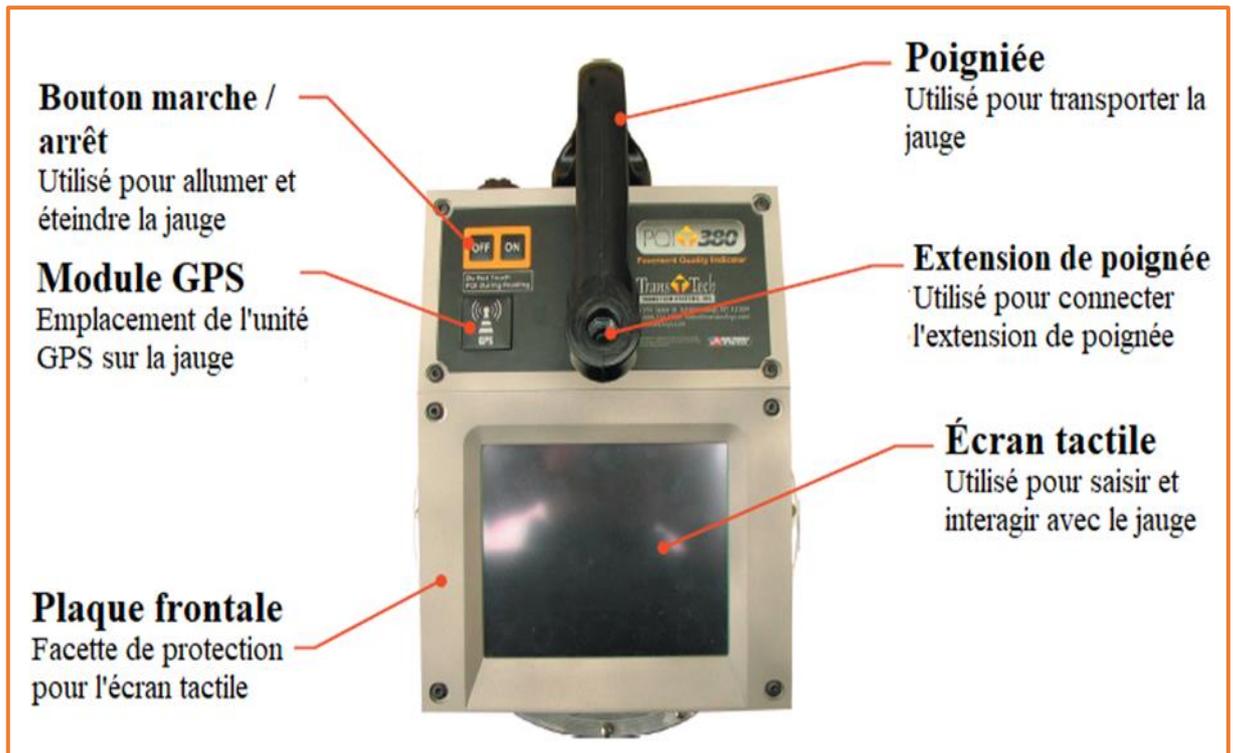


Figure II.5 : Caractéristiques de la jauge.

II.3.2.3. Mode opératoire

1. Configuration de l'appareil : Avant d'utiliser l'appareil pour la première fois, la jauge devra être configurée pour effectuer des mesures et enregistrer correctement les données.

- Installation et chargement des batteries.
- Démarrage du logiciel.
- Réglez l'heure locale et la date.
- Configurer le GPS.
- Sélectionnez les unités de mesure.
- Sélectionnez l'enregistrement des données



Figure II.6 : Menu de contrôle.

2. Définissez le matériau testé (Détails du mélange) : La densité déterminée par le densimètre électromagnétique d'enrobée dépend fortement du matériau, il est donc extrêmement important que les informations de mélange pour chaque projet soient entrées avec précision dans la jauge.

Détail du mélange

- Nom du mélange.
- Taille du granulat.
- Épaisseur de la couche d’enrobé.
- Densité théorique maximale.



Figure II.7 : Caractéristiques du mélange.

3. Détails du projet (pour la fonction d'enregistrement de données).
4. Sélectionnez le mode de mesure (trois modes de lecture sont prédéfinis dans l'appareil pour réaliser les mesures) :
 - **Mode simple (une lecture de trois secondes),**
 - **Mode moyen (moyenne de cinq lectures de trois secondes),**
 - **Mode continu (une lecture d'une seconde).**

Le mode de mesure sélectionné pour notre étude est le mode moyen qu'est facile au moment du travail et donne des résultats représentatifs.

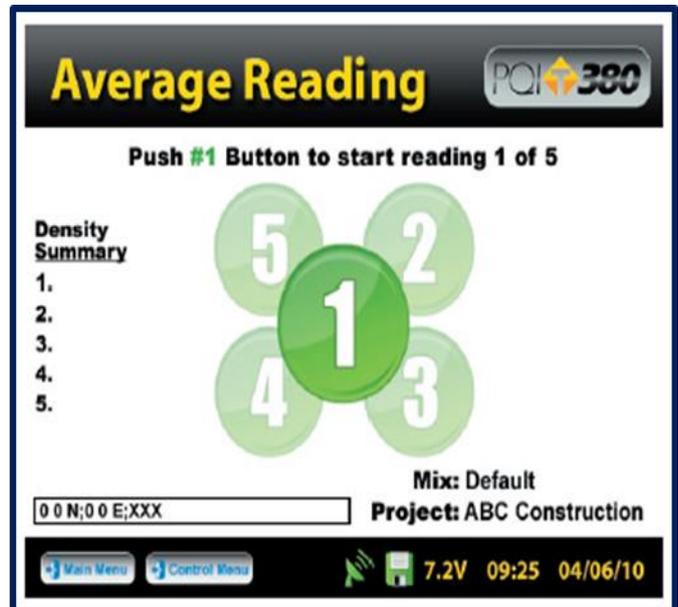


Figure II.8 : Détermination de la densité de l’enrobé par le mode moyen.

II.3.2.4. Détermination des résultats

Après la cinquième lecture, la jauge affichera les cinq lectures individuelles de la densité à gauche et la moyenne du compactage, de la densité et de la température pour les cinq lectures s'affichera au centre de l'écran.

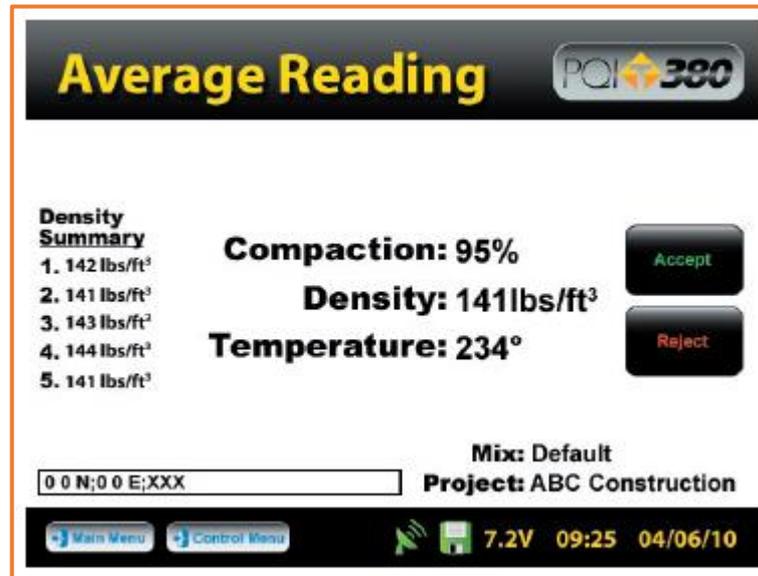


Figure II.9 : Résultat de calcul en mode moyen.

II.3.3. Essai au compactomètre de Clegg (ASTM D 5874 – 02)

Le compactomètre de Clegg permet d'exprimer la portance en subsurface des matériaux reconstitués tels que remblais, fonds de fouilles, plateformes compactées... utilisés dans le domaine routier. L'indice mesuré (Impact Value) peut être corrélé à l'indice C.B.R. (Californian Bearing Ratio) utilisé pour le dimensionnement des chaussées.

II.3.3.1. But de l'essai

A travers cet essai, on peut évaluer d'une façon indirecte l'indice C.B.R. (Californian Bearing Ratio) des matériaux reconstitués.

II.3.3.2. Détermination des résultats

Le compactomètre de Clegg est constitué d'une masse frappante de 4.5 kg que l'opérateur laisse tomber d'une hauteur définie 450 mm. Un accéléromètre localisé dans la poignée de manœuvre mesure la décélération de la masse lors de l'impact avec le sol. Un boîtier de mesure est relié à l'accéléromètre et permet de pratiquer un cycle normalisé de 5 impacts successifs au même point et d'en déterminer



Figure II.10 : Vues de détail du compactomètre de Clegg

une moyenne. L'unité de mesure est le CIV (Valeur d'Impact de Clegg), (1 CIV égal 10 g, g étant l'accélération de la pesanteur). Elle est habituellement enregistrée au quatrième coup du marteau.

La première corrélation a été présentée par Clegg lors de la troisième conférence géomécanique de l'ANZ, Wellington, New Zélande, 1980. Cette corrélation était basée sur des tests de laboratoire au Département de génie civil de l'Université de Australie occidentale. La relation a été exprimée par l'équation suivante :

$$CBR = 0.07 \times (CIV)^2$$

Selon Jack WRIGHTMAN, d'autres études ont conduit à :

$$CBR = 2.5 \times CIV - 25 \quad (\text{Pour } CBR < 30)$$

A partir de la formule de Boussinesq, l'équation du tassement s'écrit comme suit :

$$y = \frac{[0.5 \times \pi \times (1 - \mu^2) \times p \times r]}{E}$$

Où l'expression de la pression est :

$$p = \frac{10 \times m \times g \times CIV}{\pi \times r^2}$$

De ce qui précède, on conclut l'expression du module de déformation dynamique (E) :

$$E = \frac{[100m \times g \times CIV^2 \times (1 - \mu^2)]}{d \times h}$$

Où :

y : Tassement en [m]

μ : Coefficient de poisson du sol testé

r : rayon du marteau du Clegg [m]

d : Diamètre du marteau [m]

p : Pression appliquée au sol testé [Pa]

h : Hauteur de chute du marteau [m]

E : Module déformation dynamique [Pa]

g : 9.81 m/s²

II.3.4. Détermination de la masse volumique d'un matériau en place : Méthode au densitomètre à membrane (NF P 94-061-2)

II.3.4.1. Domaine d'application

Cette norme a pour objet de définir une méthode d'essai pour la détermination ponctuelle de la masse volumique d'un matériau en place.

Cet essai ne s'applique pas lorsque le volume de la cavité de mesure peut varier durant l'essai (sable lâche, argile très humide,).

Cet essai est plus particulièrement destiné aux matériaux dont D_{max} est inférieur à 50 mm

II.3.4.2. Principe d'essai

L'essai consiste à creuser une cavité, à recueillir et peser la totalité du matériau extrait, puis à mesurer le volume de la cavité à l'aide d'un densitomètre à membrane. L'appareil est doté d'un piston qui, sous l'action de l'opérateur, refoule un volume d'eau dans une membrane souple étanche qui épouse la forme de la cavité. Une tige graduée permet de lire directement le volume.

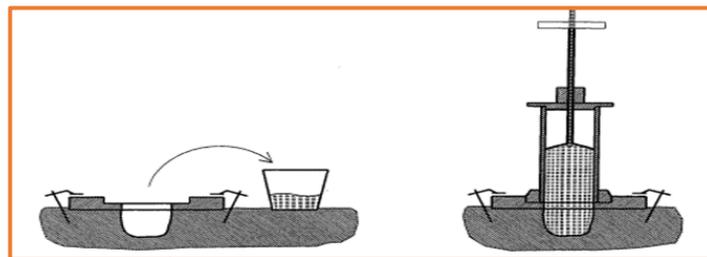


Figure II.11 : Schéma de principe d'essai.

Le corps de l'appareil est composé :

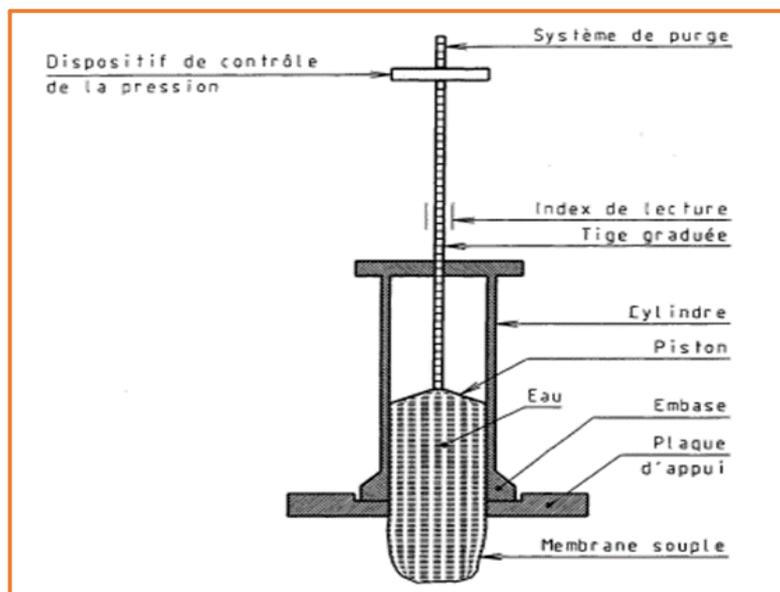


Figure II.12 : Appareillage d'essai.

II.3.4.3. Expression des résultats

La masse volumique du matériau humide est déterminée par la formule suivante :

$$\rho_h = \frac{m_h}{V_t - V_0}$$

La masse volumique du matériau sec s'obtient par la formule suivante :

$$\rho_d = \frac{m_h}{1 + \omega}$$

ρ_h : La masse volumique du matériau humide g/cm^3

m_h : La masse du matériau humide g

V_t : Volume totale cm^3

ρ_d : La masse volumique du matériau sec g/cm^3

V_0 : Volume initiale cm^3

ω : Teneur en eau %

II.4. Essais au laboratoire

II.4.1. Masse volumique réelle de l'enrobé : (NF EN 12697-5)

Cette Norme européenne spécifie des méthodes d'essai permettant de déterminer la masse volumique maximale (masse volumique réelle) des matériaux bitumineux. Elle spécifie une méthode volumétrique, une méthode hydrostatique et une méthode par calcul.

Dans les méthodes volumétriques et hydrostatiques, la masse volumique réelle des mélanges bitumineux est déterminée par la masse sèche de l'échantillon rapporté à son volume sans vide.

Dans la méthode volumétrique, le volume de l'échantillon est mesuré par le déplacement d'eau ou de solvant dû à l'échantillon dans un pycnomètre.

Dans la méthode hydrostatique, le volume de l'échantillon est calculé à partir de la masse sans immersion et de la masse immergée de l'échantillon.

Dans la méthode par calcul, la masse volumique réelle d'un mélange bitumineux est obtenue à partir de sa composition (teneur en liant et teneur en granulats) et des masses volumiques de ses composants.

La masse volumique réelle dans ce travail est déterminé par la méthode volumétrique.

II.4.1.1. Mode opératoire

- Peser (m_1) un pycnomètre vide, de volume connu (V_p), bouchon capillaire compris.
- Placer la prise d'essai sèche dans le pycnomètre et l'amener température ambiante, puis le peser à nouveau (m_2), bouchon capillaire compris.

- Remplir le pycnomètre d'eau dégazée ou de solvant jusqu'à environ 30 mm au-dessous du repère du bouchon.
- Évacuer l'air emprisonné en appliquant un vide partiel (entraînant une pression résiduelle de 4 kPa ou moins et ce, pendant (15 ± 1) min.
- Placer le bouchon capillaire après avoir soigneusement rempli le pycnomètre d'eau dégazée ou de solvant (en s'assurant qu'il n'y aucune entrée d'air) presque jusqu'au repère du col ou du bouchon capillaire.
- Lorsqu'il est fait usage d'eau, placer le pycnomètre dans un bain à une température uniforme connue ($\pm 1,0$ C) pendant au moins 30 min, mais pas plus de 180 min, afin d'amener la température de l'échantillon et celle de l'eau dans le pycnomètre au même niveau que celle de l'eau du bain.

Lorsqu'il est fait usage de solvant, placer le pycnomètre dans un bain à une température uniforme connue ($\pm 0,2$ C) pendant au moins 60 min, mais pas plus de 180 min, afin d'amener la température de l'échantillon et celle du solvant dans le pycnomètre au même niveau que celle de l'eau du bain.

L'eau du bain doit monter jusqu'à environ 20 mm du bord du pycnomètre.

- Remplir le pycnomètre jusqu'au repère avec l'eau ou le solvant. Les récipients contenant l'eau ou le solvant doivent être portés la température de l'essai au moyen d'un bain.
- Sortir le pycnomètre du bain, essuyer l'extérieur pour le sécher et le peser immédiatement (m_3).

II.4.1.2. Détermination des résultats

La masse volumique réelle ρ_{er} de l'enrobé déterminée par la méthode volumétrique doit être calculée au 1 kg/m^3 le plus proche, de la façon suivante :

$$\rho_{er} = \frac{m_2 - m_1}{1000 \times \left(V_p - \frac{m_3 - m_2}{\rho_w} \right)}$$

Où :

ρ_{er} est la masse volumique réelle de l'enrobé déterminée par la méthode volumétrique, en kilogrammes par mètre cube (kg/m^3), au $0,1 \text{ kg/m}^3$ le plus proche ;

m_1 est la masse du pycnomètre avec son bouchon capillaire et son ressort, en grammes (g)

;

m_2 est la masse du pycnomètre avec son bouchon capillaire, son ressort et la prise d'essai, en grammes (g) ;

m_3 est la masse du pycnomètre avec son bouchon capillaire, son ressort, la prise d'essai et l'eau ou le solvant, en grammes (g) ;

V_p est le volume du pycnomètre lorsqu'il est rempli jusqu'à son repère de référence, en mètres cubes (m^3) ;

ρ_w est la masse volumique de l'eau ou du solvant à la température d'essai, en kilogrammes par mètre cube (kg/m^3), au $0,1 kg/m^3$ le plus proche.

II.4.2. Essai : Détermination de la masse volumique apparente (NF EN 12697-6)

II.4.2.1. Masse volumique apparente sur des éprouvettes paraffinés

La masse volumique apparente d'un corps d'épreuve bitumineux compacté, est déterminée à partir de la masse de l'éprouvette et de son volume incluant les vides d'air. La masse du corps d'épreuve est obtenue en le pesant sec dans l'air. Le volume du corps d'épreuve s'obtient à partir de sa masse dans l'air et de sa masse dans l'eau. L'éprouvette est étanchée avant d'être immergée pour que l'eau ne pénètre pas dans les vides de l'éprouvette.

II.4.2.2. Mode opératoire

Appliquer le mode opératoire suivant :

- a) Déterminer la masse de l'éprouvette sèche (m_1) ;
- b) Réaliser l'étanchéité de l'éprouvette, l'eau ne doit pas pouvoir l'atteindre lors de l'immersion.

Si de la paraffine est utilisée, l'étanchéité est réalisée avec le mode opératoire suivant :

- Porter la paraffine à sa température de fusion + 10 °C et la maintenir à cette température ± 5 °C ;
 - Plonger partiellement l'éprouvette dans la paraffine pendant moins de 5 s, en agitant l'éprouvette pour libérer les bulles d'air. Après refroidissement et solidification de la paraffine sur cette partie de l'éprouvette, répéter le même mode opératoire sur l'autre partie. Répéter ces opérations jusqu'à obtenir un film continu de paraffine recouvrant la totalité de l'éprouvette.
- c) Déterminer la masse de l'éprouvette « paraffinée » sèche (m_2) ;
 - d) Plonger l'éprouvette dans un bain d'eau maintenu à une température d'essai connue ;
 - e) Déterminer la masse de l'éprouvette « paraffinée » dans l'eau (m_3) en prenant soin de veiller à ce qu'aucune bulle d'air n'adhère au dispositif d'étanchéité durant la pesée.

II.4.2.3. Détermination des résultats

Calculer la masse volumique apparente sèche de l'éprouvette paraffinée (ρ_{bsea}) au 1 kg/m³ le plus proche comme suit :

$$\rho_{bsea} = \frac{m_1}{(m_2 - m_3/\rho_w) - (m_2 - m_1/\rho_{sm})}$$

Où :

ρ_{bsea} est la masse volumique apparente de l'éprouvette « paraffinée », en kilogrammes par mètre cube (kg/m³) ;

m_1 est la masse de l'éprouvette sèche, en grammes (g) ;

m_2 est la masse de l'éprouvette « paraffinée » sèche, en grammes (g) ;

m_3 est la masse de l'éprouvette « paraffinée » dans l'eau, en grammes (g) ;

ρ_w est la masse volumique de l'eau à la température d'essai, à 0,1 kilogramme par mètre cube près ;

ρ_{sm} est la masse volumique du produit d'étanchéité à la température d'essai, en kilogrammes par mètre cube (kg/m³).

La masse volumique réelle ainsi que la masse volumique apparente sont utilisées pour calculer le pourcentage de vides d'un corps d'épreuve compacté, sa compacité et d'autres propriétés en rapport avec le concept volumétrique des mélanges bitumineux compactés.

II.4.2.4. Compacité du mélange

La compacité est un terme qui décrit le taux d'intensité obtenu d'un mélange hydrocarboné après le compactage.

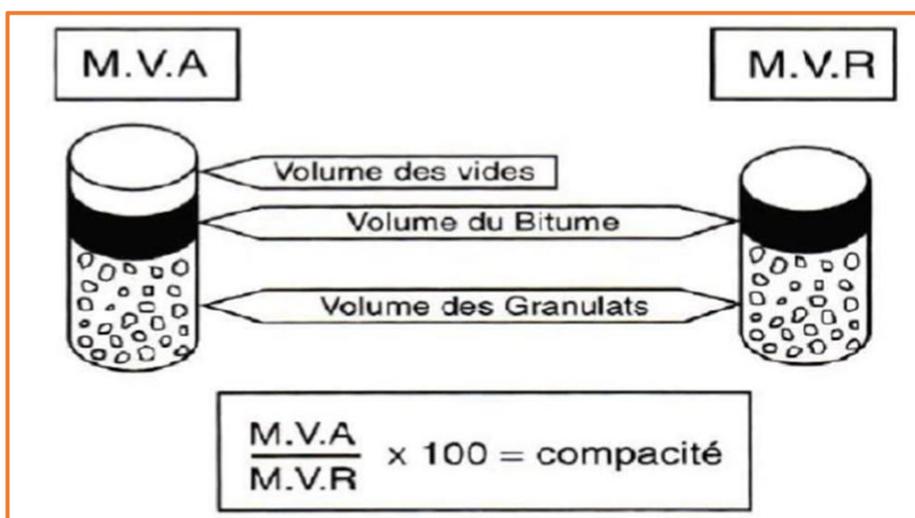


Figure II.13 : Détermination de la compacité.

II.4.3. Essai Duriez sur les mélanges hydrocarbonés (NF EN 12697 – 12)

II.4.3.1. Principe

Un ensemble de corps d'épreuve cylindrique est divisé en deux lots équivalents et mis en conservation. Un lot est conservé sec à 18°C et 50 % d'humidité, tandis que l'autre est saturé d'eau et conservé dans un bain à 18°C. Après conservation, la résistance à la compression de chacun des deux lots est déterminée à 18°C.

Le rapport entre la résistance à la compression du lot conservé dans l'eau et celle du lot sec est déterminé et exprimé en pourcentage.

II.4.3.2. Appareillage

1. Machine d'essai de compression, capable d'appliquer la charge requise avec une vitesse comprise entre 45 mm/min et 65 mm/min. La vitesse doit être constante pour le lot sec et le lot humide à ± 2 mm/min près.
2. Système de mise sous vide, capable d'atteindre une pression résiduelle dans le dessiccateur de (47 ± 3) kPa et de maintenir cette pression pendant (120 ± 10) min. Il doit être possible d'injecter de l'eau dans le dessiccateur tout en maintenant le vide.
3. Dessiccateur avec une plaque perforée placée au-dessus du fond.
4. Bain d'eau, capable de maintenir une température de conservation de (18 ± 1) °C proximité des corps d'épreuve. Le bain doit être équipé d'une plaque perforée placée sur des entretoises au-dessus du fond du bain. La capacité du bain doit être suffisante pour permettre que les corps d'épreuve soient conservés avec leur face supérieure à 20 mm au moins au-dessous de la surface de l'eau.
5. Enceinte, capable de maintenir une température d'essai de (18 ± 1) C et une humidité de (50 ± 10) % proximité des corps d'épreuve.



Figure II.14 : Machine d'essai de compression.

II.4.3.3. Conservation des éprouvettes

II.4.3.3.1. Corps d'épreuve secs

- Laisser le lot de corps d'épreuve secs debout sur une surface plane à une température comprise dans la plage de (18 ± 1) °C et une humidité comprise dans la plage de (50 ± 10) % proximité des corps d'épreuve.

II.4.3.3.2. Corps d'épreuve humides

- Placer le lot de corps d'épreuve humides sur la plaque perforée contenue dans le dessiccateur. Mettre sous vide pour atteindre une pression (résiduelle) absolue de (47 ± 3) kPa.
- Maintenir le vide pendant (60 ± 5) min et laisser entrer l'eau dans le récipient, pression maintenue, jusqu' ce que la face supérieure des corps d'épreuve se trouve au moins 20 mm au-dessous de la surface de l'eau.
- Laisser les corps d'épreuve submergés dans l'eau, la pression tant maintenue (47 ± 3) kPa, pendant (120 ± 10) min supplémentaires.
- Mesurer les dimensions des corps d'épreuve conformément EN 12697-29. Calculer le volume des éprouvettes. Noter dans le rapport d'essai tout corps d'épreuve dont le volume s'est accru de plus de ± 2 %.
- Placer le lot de corps d'épreuve humides dans un bain d'eau (18 ± 1) °C pendant une période de 7 jours ± 2 h.
- La différence de température mesurée proximité des corps d'épreuve entre le lot sec et le lot humide pendant les deux dernières heures ne doit pas être supérieure à 1 °C.

NOTE : Afin de satisfaire cette exigence, il convient de stocker le lot sec de corps d'épreuve dans un sacanche l'eau placé dans le bain.

II.4.3.4. Détermination des résultats

Calculer le rapport immersion-compression, i/C , selon la formule suivante :

$$i/C = 100 \times \frac{C_w}{C_D}$$

Où :

C_w : est la résistance à la compression moyenne en kilopascals (kPa) du lot humide ;

C_D : est la résistance à la compression moyenne en kilopascals (kPa) du lot sec.

II.4.4. Essai de traction indirecte sur éprouvettes cylindriques - Module de rigidité - (EN 12697-26)

II.4.4.1. Principe

Ce rapport décrit une méthode de mesure du module de rigidité des mélanges hydrocarbonés utilisant un essai de traction indirecte. La méthode est applicable aux éprouvettes cylindriques fabriquées en laboratoire ou prélevées dans une couche de chaussée de divers diamètres et épaisseurs.

Tableau II.1 : Dimensions des bandes de chargement.

Diamètre d'éprouvette nominal (mm ± 0.05)	Largeur de bande chargement (mm)	Profondeur nominale de la concavité (mm)
80	10 ± 1	0.3 ± 0.05
100	12 ± 1	0.4 ± 0.05
120	15 ± 1	0.5 ± 0.05
150	19 ± 1	0.6 ± 0.05
200	25 ± 1	0.8 ± 0.05

II.4.4.2. Système de chargement

Il doit comporter un vérin de chargement adapté, à l'aide duquel une charge peut être appliquée le long du diamètre vertical de l'éprouvette, via les platines de chargement. Le vérin de chargement doit être capable d'appliquer des impulsions de chargement répétées alternant avec des périodes de repos. La charge doit avoir la forme d'une onde de choc ou à peu près. Le temps de charge doit être contrôlé pendant l'essai.

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

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

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

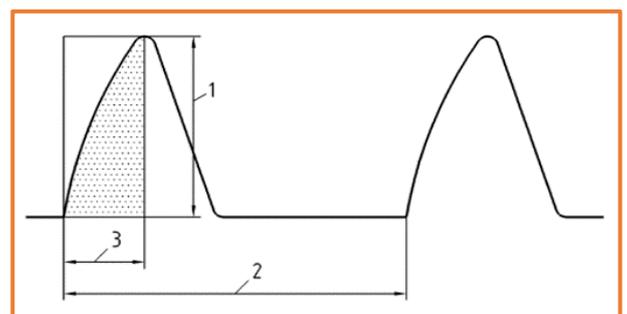


Figure II.15 : Forme de l'impulsion de chargement, indiquant le temps de montée et la valeur crête de charge.

II.4.4.3. Système de mesure de déformation

Capable de mesurer la déformation diamétrale horizontale transitoire de l'éprouvette pendant l'application d'une impulsion de charge. L'exactitude de la mesure doit être supérieure à 1 µm sur une étendue de 50 µm. La déformation horizontale de crête enregistrée doit être l'amplitude de la variation du diamètre horizontal de l'éprouvette.

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

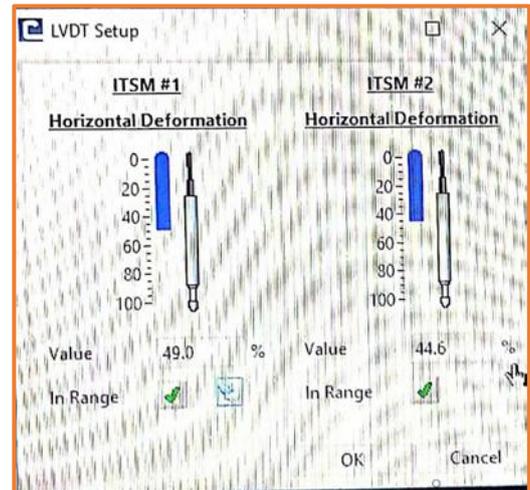
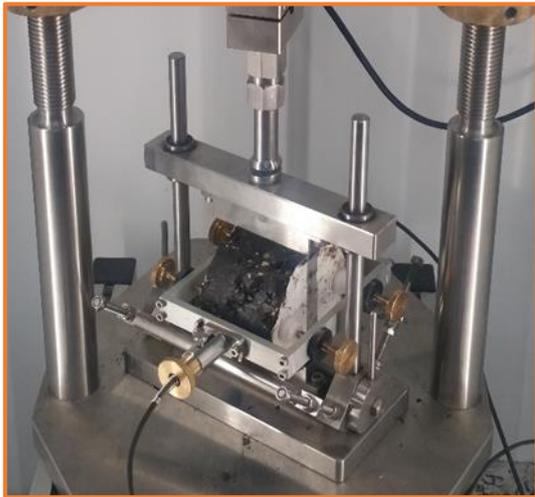


Figure II.16 : Réglages des captures de déformation.

a. **Une chaîne d'enregistrement** : Comprenant une unité à interface numérique connectée à un microordinateur, qui doit surveiller et enregistrer les signaux électriques des capteurs de charge et de déformation. La fréquence d'acquisition de données doit être telle que, pendant l'application d'une impulsion de charge, le signal de chaque capteur doit être lu à une fréquence d'au moins 500 Hz.

b. **Enceinte à température constante**, constituée d'une armoire ou d'une pièce adaptée avec circulation d'air forcée, dans laquelle l'éprouvette peut être conditionnée et dans laquelle l'essai peut être effectué.

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

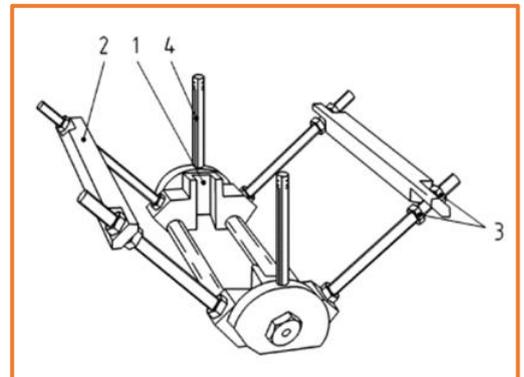
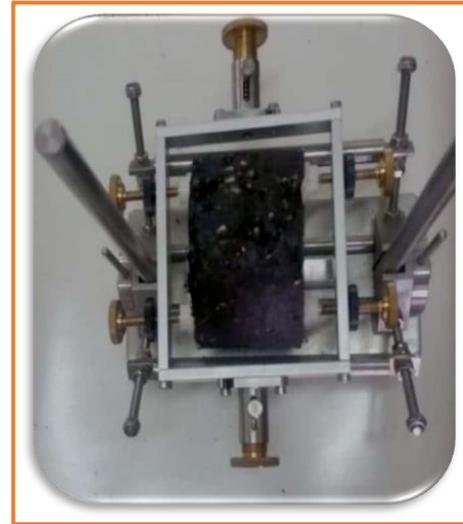
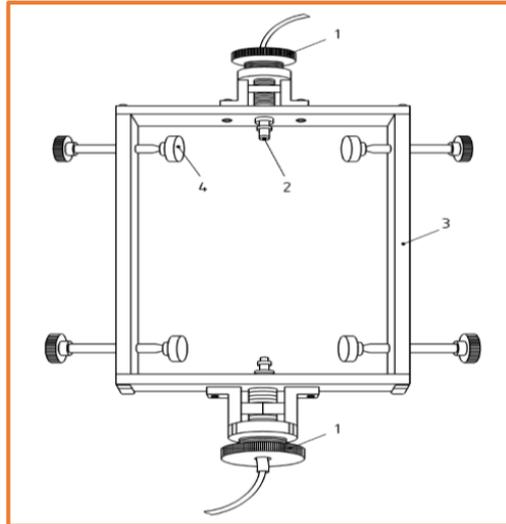
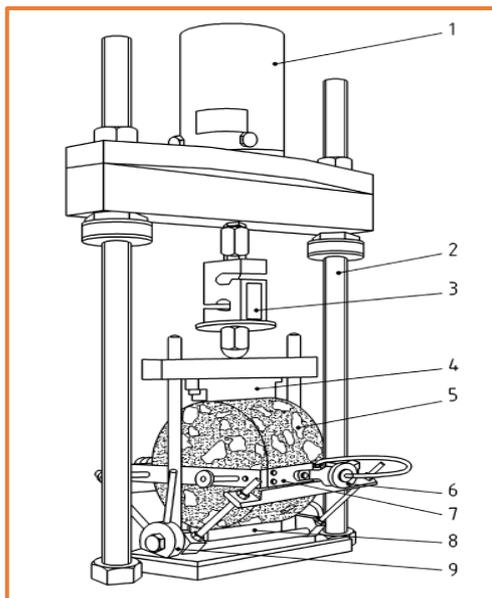


Figure II.17 : Châssis d'alignement LVDT.



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

Figure II.18 : Dispositif de mesure de la déformation diamétrale horizontale.



- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Vérin de chargement pneumatique | 6. Réglage LVDT |
| 2. Cadre de chargement en acier | 7. Châssis de montage LVDT |
| 3. Peson | 8. Platine de chargement inférieure |
| 4. Platine de chargement supérieure | 9. Châssis d'alignement LVDT |
| 5. Éprouvette soumise à essai | |

Figure II.19 : Exemple d'appareillage d'essai.

II.4.4.4. Détermination du module de rigidité

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

$$S_m = \frac{F x (m + 0.27)}{(z x h)}$$

S_m : est le module de rigidité mesuré, exprimé en mégapascals (MPa) ;

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

z : est l'amplitude de la déformation horizontale (voir Figure 17) obtenue pendant le cycle de chargement, exprimée en millimètres (mm) ;

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

m : est le coefficient de Poisson.

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

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

$$S'_m = S_m x [1 - 0.322 x (\log(S_m) - 1.82) x (0.60 - K)]$$

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

K : est le facteur de surface de charge mesuré ;

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

1. Temps
2. Déformation
3. Amplitude de déformation

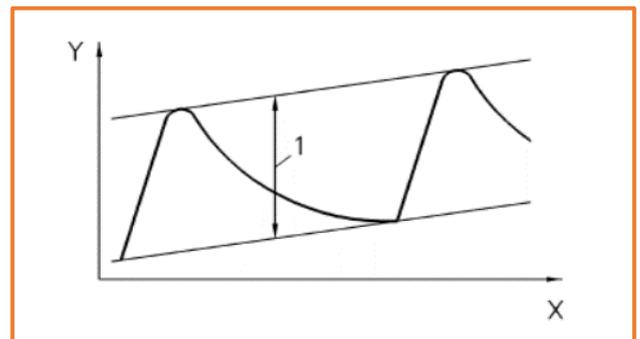


Figure II.20 : Amplitude de déformation.

II.4.4.5. Module de rigidité de l'éprouvette

- ❖ L'éprouvette se fait en deux axes perpendiculaires. L'essai et le calcul sont répétés.
- ❖ La valeur moyenne du module de rigidité de cet essai est entre + 10 % et - 20 % de la valeur moyenne enregistrée pour le premier essai, la moyenne pour les deux essais doit être calculée et notée en tant que module de rigidité de l'éprouvette.

- ❖ Si la différence entre les deux valeurs est supérieure à celle spécifiée ci-dessus, les résultats doivent être rejetés.
- ❖ À la fin de l'essai, aucun essai supplémentaire sur l'éprouvette de cette norme ne doit être effectué pendant 24 h.

II.5. Conclusion

Les essais mentionnés dans ce chapitre vont donner une idée globale sur l'état de la planche d'essai et sur le changement qui s'est produit (depuis 3 ans de sa réalisation). Ce qui nous permettra de faire une comparaison critique entre les deux structures de chaussée.

CHAPITRE III

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III.1. Introduction

La géotechnique routière est définie comme étant une science qui étudie d’une part, les sols sur lesquels reposent les chaussées et d’autre part, les matériaux qui constituent les différentes couches de ces derniers, sans autant oublier la fiabilité des ouvrages construits.

Le but de ce chapitre est d’effectuer une étude comparative entre les caractéristiques mécaniques obtenues par les essais in-situ et au laboratoire sur les structures de chaussée.

III.2. Essais in-situ

III.2.1. Prélèvement des échantillons par carottage (NF EN 12697 - 27)

On a sélectionné 18 éprouvettes extraites de la couche de la surface (Enrobé à froid ouvert) dont 12 de ces éprouvettes ont un diamètre de 100 mm. Tandis que, les six autres ont un diamètre de 75 mm.

Le tableau suivant résume les dimensions de ces dernières :

Tableau III.1 : Dimensions des éprouvettes extraites.

	D₁ (mm)	D₂ (mm)	D_{Moy} (mm)	E₁ (mm)	E₂ (mm)	E_{Moy} (mm)
Ep 01	100,50	100,30	100	60,03	63,48	62
Ep 02	101,86	100,53	101	60,89	61,63	61
Ep 03	101,52	100,67	101	64,41	57,34	61
Ep 04	100,07	100,37	100	62,87	63,73	63
Ep 05	100,05	100,39	100	67,70	66,82	67
Ep 06	100,80	100,40	101	66,78	67,65	67
Ep 07	101,26	101,70	101	71,84	70,32	71
Ep 08	101,72	100,59	101	74,08	74,21	74
Ep 09	100,03	100,43	100	64,41	64,89	65
Ep 10	101,01	101,08	101	62,87	63,73	63
Ep 11	101,30	100,79	101	72,75	73,82	73
Ep 12	101,24	101,05	101	76,30	75,45	76
Ep 13	73,59	73,72	74	71,71	70,72	71
Ep 14	74,41	73,74	74	74,12	75,55	75
Ep 15	74,30	74,79	75	71,75	73,82	73
Ep 16	73,22	74,22	74	78,28	75,72	77
Ep 17	73,77	75,26	75	76,08	75,50	76
Ep 18	74,30	73,38	74	73,43	75,45	74

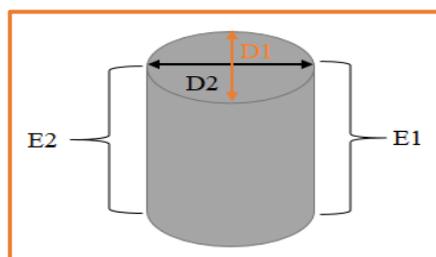


Figure III.1 : Dessin représente les différentes dimensions de l’éprouvette.

III.2.1.1. Commentaires : Les éprouvettes obtenues ont donné les informations suivantes :

- L'épaisseur moyenne de la couche de surface est égale à 69 mm. Cependant, l'épaisseur théorique calculée est égale à 60 mm. Alors, on peut dire que la valeur calculée n'a pas été respectée lors de la réalisation de cette couche.
- Selon ces carottes on constate que le matériau utilisé comme une couche de surface est un enrobé à froid ouvert.
- L'interface entre ces carottes est un peu rigoureuse ce qui nécessite le surfaçage de celle-ci.



Figure III.2 : Éprouvettes après carottage.

III.2.2. Préparation des échantillons par surfaçage

Le surfaçage a pour objectif d'aplanir les surfaces de l'éprouvette auxquelles sera appliquée la charge de compression de manière uniformément réparties. De ce fait, on a utilisé les fixations CRT-SAW-UHD200 et CJ2PT.

Cooper Technologie a développé cette machine, dont est facile à utiliser pour une découpe rapide et précise d'échantillons trapézoïdaux.



Figure III.3 : Une Scie d'enrobé.

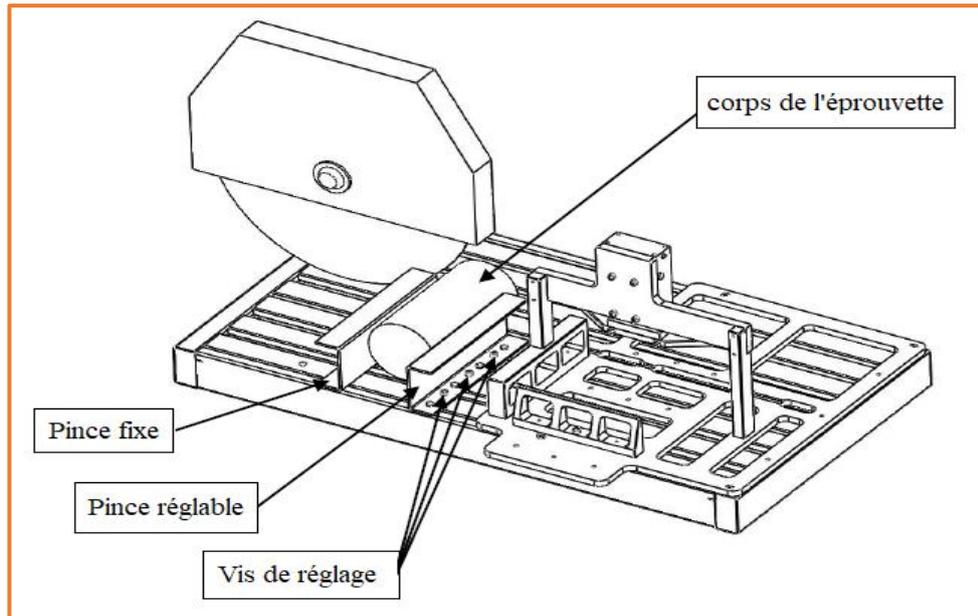


Figure III.4 : Surfaçage de l'éprouvette.



Figure III.5 : Eprouvette avant le surfacage.



Figure III.6 : Eprouvette après le surfacage.

III.2.3. Coupe transversale

Pour prendre les mesures réelles de différentes couches de la structure des chaussées une coupe transversale était effectuée.

III.2.3.1. Mode opératoire

- Découpage de la couche de surface :

Utiliser une machine **découpeuse thermique** : c'est une machine équipée d'un moteur thermique très puissant et dotée en avant d'un disque diamant pour la découpe des matériaux durs tels que : le béton, l'asphalte, la pierre...etc



Figure III.7 : Découpage de la couche de surface.



Figure III.8 : Planche d'essai après le découpage.

- Suppression des extrémités de la planche d'essai :

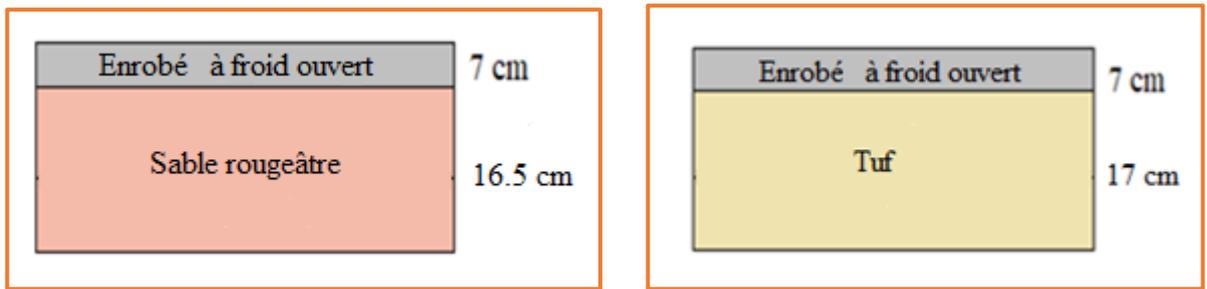


Figure III.9 : Suppression des extrémités de la couche de surface.

- La coupe transversale :



Figure III.10 : Coupe transversale.



**Figure III.11 : Représentation de la coupe transversale
avec les épaisseurs réelles mesurées.**

III.2.3.2. Commentaires : La coupe transversale nous a permis d'obtenir les informations suivantes :

- Les épaisseurs des différentes couches des deux structures de chaussée sont presque les mêmes (± 1 cm).
- L'épaisseur de la couche de tuf et celle du sable rougeâtre ne sont pas conformes à la valeur calculée ($e = 22$ cm).

III.2.4. Résultats de l'essai de densimètre électromagnétique d'enrobé modèle 380 (ASTM D7113-05)

III.2.4.1. Détail du mélange

- Nom de Mélange : Enrobé à froid ouvert.
- La taille du granulat : 0/20
- L'épaisseur de la couche d'enrobé : 6 cm.
- La densité théorique maximale : 2.2 g/cm^3 .



Figure III.12 : Détail du mélange.

Le mode de mesure utilisé est le **mode moyen** (moyenne de cinq lectures de trois secondes).



Figure III.13 : Mode de mesure (Mode moyenne).

III.2.4.2. Résultats d’essai

Les résultats de l’essai de densimètre électromagnétique d’enrobé modèle 380 sont organisés dans le tableau III.2 et représentés graphiquement dans la figure III.15 suivants :

Tableau III.2 : Résultats d’essai.

N° du Point	Tuf		Sable rougeâtre	
	PT N° 01	PT N° 02	PT N° 01	PT N° 02
Compacité %	69.3	66.9	66.3	66.7
Densité g/cm ³	1.524	1.472	1.460	1.468
Température C°	23.0	24.4	25.0	24.8

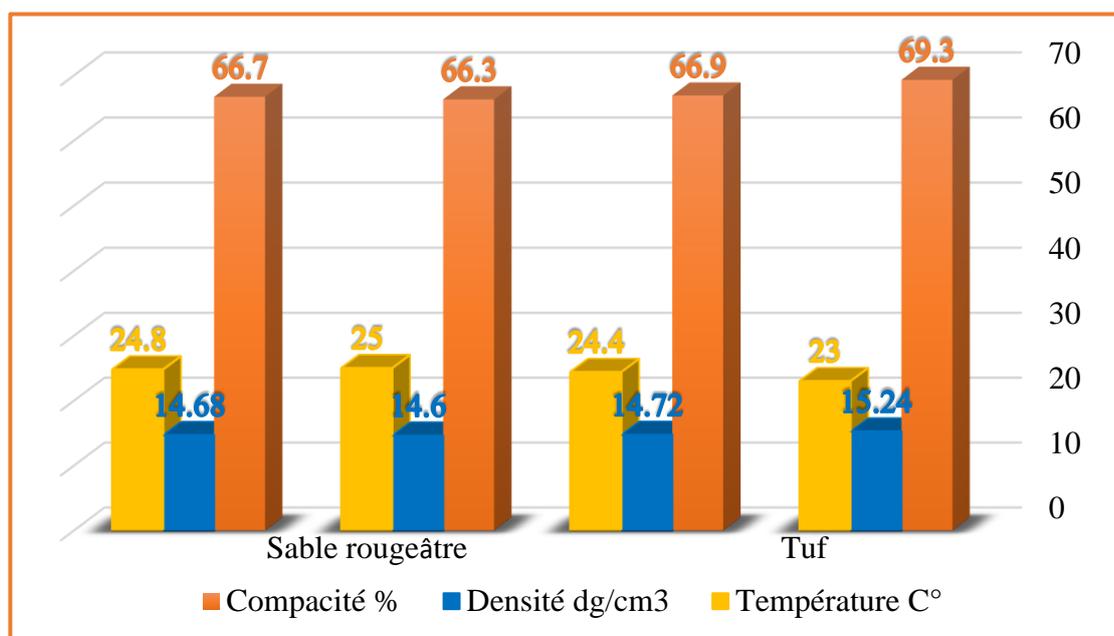


Figure III.14 : Représentation graphique des résultats de l’essai de densimètre électromagnétique d’enrobé modèle 380.



Figure III.15 : Affichage du résultat final.

Les résultats de l’essai de densimètre électromagnétique d’enrobé modèle 380 sont résumés dans le tableau III.3 et représentés graphiquement dans la figure III.17 suivants :

Tableau III.3 : Résumé des résultats d’essai.

	Compacité %	La densité g/cm ³
Chaussée à base du Tuf	68.1	1.50
Chaussée à base du Sable rougeâtre	66.5	1.46

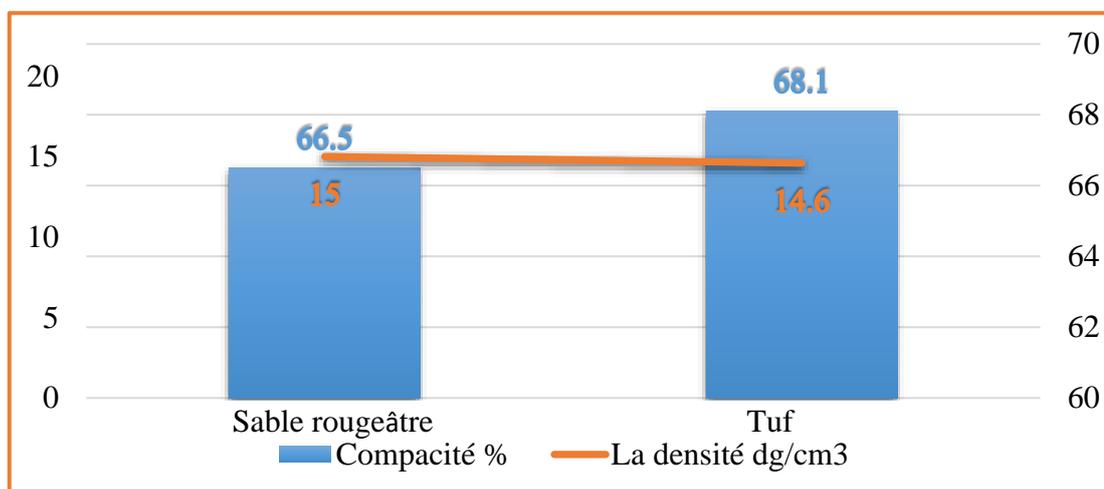


Figure III.16: Représentation graphique des résultats de la compacité et la densité de la chaussée.

III.2.4.3. Commentaires

- Les valeurs de la compacité de l’enrobé de deux chaussées sont proches et très faibles.
- Les valeurs de la densité de l’enrobé de deux chaussées sont aussi proches mais, ils sont faibles par rapport à la densité maximum théorique (2.2 g/cm³).

- Les valeurs obtenues indiquent que, la couche de la surface était mal compactée.

III.2.5. Résultats de la détermination de la masse volumique d'un matériau en place : Méthode au densitomètre à membrane (NF P 94-061-2)

III.2.5.1. Mode opératoire

On a divisé les deux structures de chaussée en deux parties (illustrés par la photo suivante) afin de mesurer et contrôler l'homogénéité des matériaux dans toute la section de la planche d'essai.

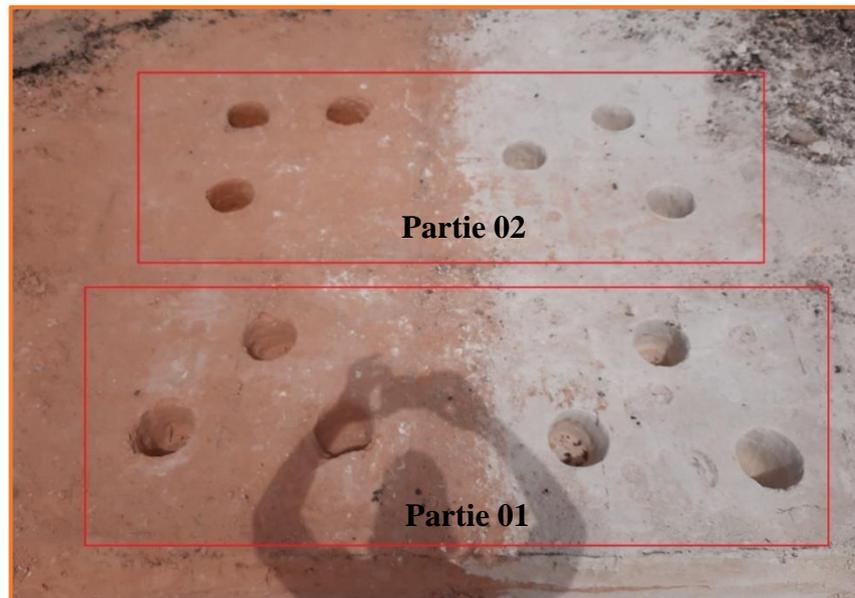


Figure III.17 : Répartition de la planche d'essai en deux (02) parties.

III.2.5.2. Résultats d'essai

Les résultats de la masse volumique d'un matériau en place par la méthode au densitomètre à membrane (dans la partie 01 et la partie 02) sont représentés dans les figures III.19, III.20, III.21 et III.22 suivantes :

A. Teneur en eau de la partie 01

Les résultats de la teneur en eau du tuf et du sable rougeâtre dans la partie 01 sont représentés graphiquement dans la figure suivante :

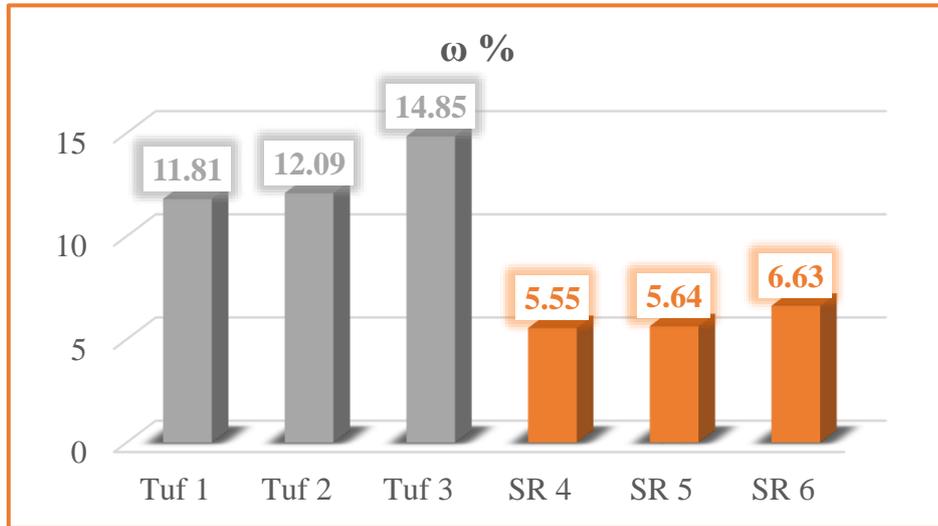


Figure III.18 : Représentation graphique des résultats de la teneur en eau du Tuf et du Sable rougeâtre dans la partie 01.

B. Densité dans la partie 01

Les résultats de la densité humide et la densité sèche du tuf et du sable rougeâtre dans la partie 01 sont représentés graphiquement dans la figure suivante :

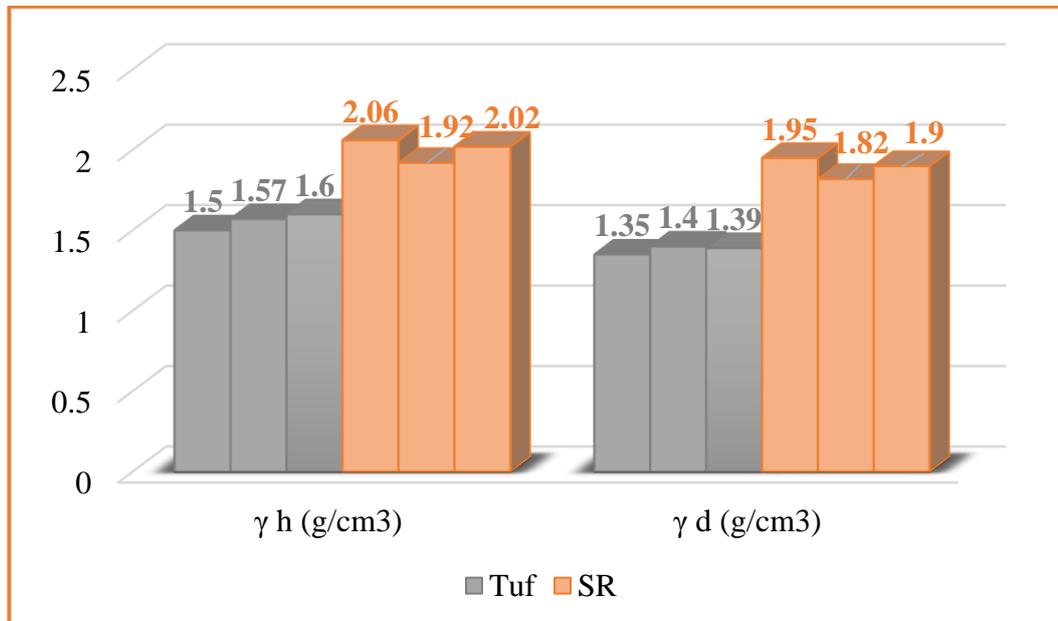


Figure III.19 : Représentation graphique des résultats de la densité sèche et la densité humide du Tuf et du Sable rougeâtre dans la partie 01.

C. Teneur en eau de la partie 02

Les résultats de la teneur en eau du tuf et du sable rougeâtre dans la partie 02 sont représentés graphiquement dans la figure suivante :

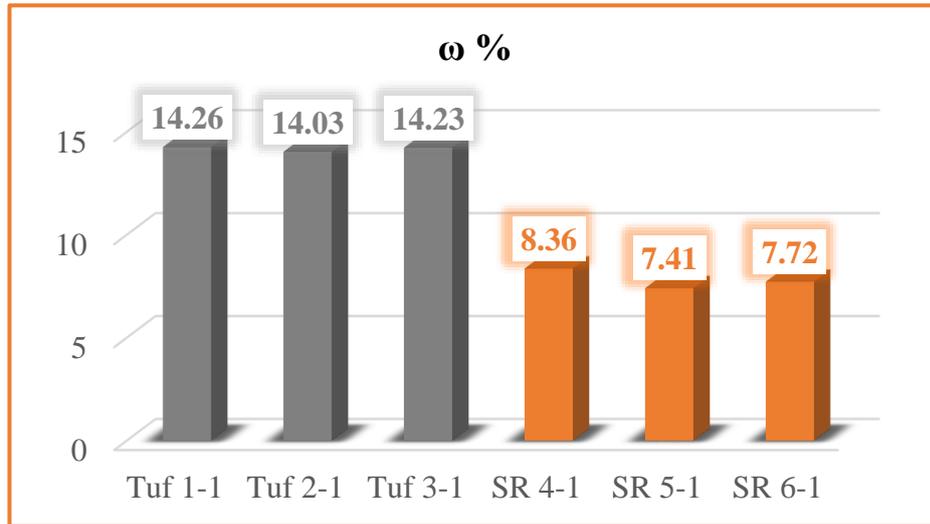


Figure III.20 : Représentation graphique des résultats de la teneur en eau du Tuf et du Sable rougeâtre dans la partie 02.

D. Densité dans la partie 02

Les résultats de la densité humide et la densité sèche du tuf et du sable rougeâtre dans la partie 02 sont représentés graphiquement dans la figure suivante :

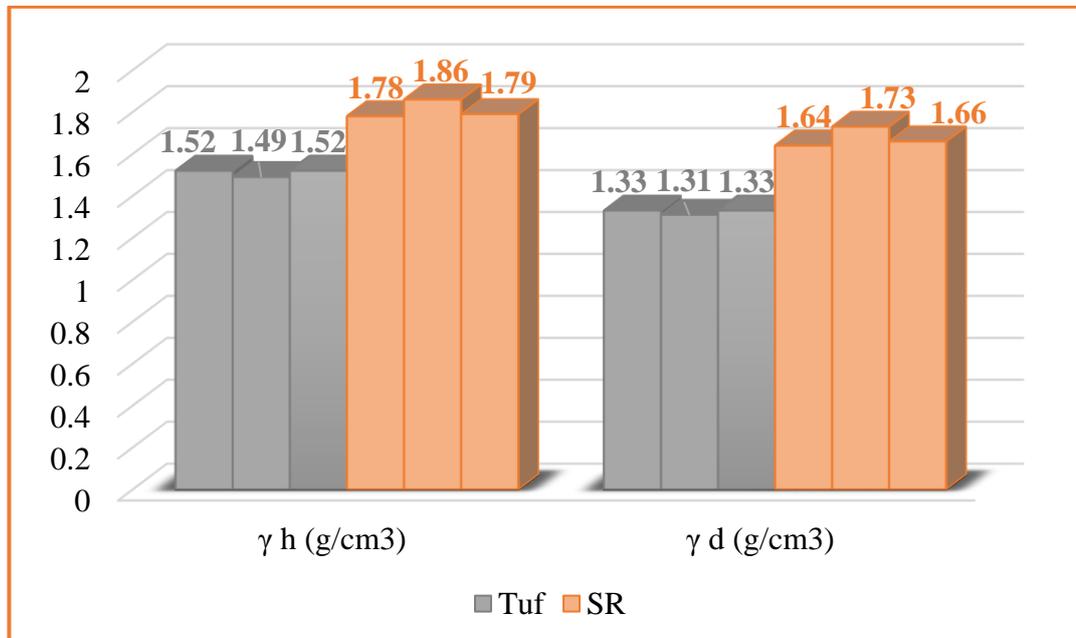


Figure III.21 : Représentation graphique des résultats de la densité sèche et la densité humide du Tuf et du Sable rougeâtre dans la partie 02.

Les résultats de la teneur en eau, la densité humide et la densité sèche du tuf et du sable rougeâtre (dans la partie 01 et la partie 02) sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III.4 : Résumé des résultats d'essai.

	ω %	γ_h (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	
Tuf	13.77	1.54	1.35	
Sable rougeâtre	6.89	1.91	Partie 01	Partie 02
			1.89	1.68

III.2.5.3. Commentaires

- La teneur en eau du tuf est presque le double de celle du sable rougeâtre.
- La densité sèche du Tuf est de 78.48 % de la densité sèche de ce tuf (déterminée avant la réalisation de la planche d'essai).
- La densité sèche du sable rougeâtre dans la partie 01 est 105.59 % de la densité sèche de ce sable (déterminée avant la réalisation de la planche d'essai).
- La densité sèche du sable rougeâtre dans la partie 02 est 93.85 % de la densité sèche de ce sable (déterminée avant la réalisation de la planche d'essai).

On conclut : Selon les caractéristiques chimiques du sable rougeâtre, la partie 01 est devenue plus rigide depuis 3 ans de sa réalisation. La partie 02 a gardé une densité sèche très bonne depuis sa réalisation. Cela est dû à l'exposition potentielle à l'eau de la partie 01 est plus que la partie 02.

- Dans les deux parties, les valeurs de la densité humide et de la densité sèche du sable rougeâtre sont supérieures que celui du Tuf.

III.2.6. Résultats d’essai au compactomètre de Clegg (ASTM D 5874 – 02)

Les résultats de l’essai au compactomètre de Clegg sous les couches du tuf et du sable rougeâtre et leurs corrélations à l’indice CBR sont représentés dans les tableaux III.5, III.6, III.7 et III.8 suivants :

Tableau III.5 : Résultats d’essai au compactomètre de Clegg sur le Tuf (partie 01).

	Essai N° 01	Essai N° 02	Essai N° 03	Essai N° 04	Essai N° 05
CIV	11	13	11	12	12
CBR	8.47	11.83	8.47	10.08	10.08

Tableau III.6 : Résultats d’essai au compactomètre de Clegg sur le sable rougeâtre (partie 01).

	Essai N° 01	Essai N° 02	Essai N° 03	Essai N° 04	Essai N° 05
CIV	16	16	15	14	15
CBR	17.92	17.92	15.75	13.72	15.75

Tableau III.7 : Résultats d’essai au compactomètre de Clegg sur le Tuf (partie 02).

	Essai N° 01	Essai N° 02	Essai N° 03	Essai N° 04	Essai N° 05
CIV	12	13	12	13	11
CBR	10.08	11.83	10.08	11.83	8.47

Tableau III.8 : Résultats d’essai au compactomètre de Clegg sur le sable rougeâtre (partie 02).

	Essai N° 01	Essai N° 02	Essai N° 03	Essai N° 04	Essai N° 05
CIV	14	13	12	14	12
CBR	13.72	11.83	10.08	13.72	10.08

III.2.6.1. Résumé des résultats

Les résultats de corrélations des valeurs de CIV à l’indice CBR sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III.9 : Résumé des résultats de l’essai.

	Tuf	Sable rougeâtre
La valeur moyenne de CBR	10.112	14.049

III.2.6.2. Commentaires

- Les valeurs CBR présentée dans les tableaux précédents du sable rougeâtre sont supérieures ou égales à celle du Tuf.
- Selon le tableau de classification des sols, suivant la valeur du CBR de Léautaud (1984), le tuf et le sable rougeâtre appartiennent à la classe portante S₃ suite à ses valeurs du CBR qui se situe entre 10 et 15. [20]
- La classe portante du Tuf est évolutive (diminuer dans le temps) contrairement à celle du sable rougeâtre qu'est fixe, car le tuf est un matériau soluble. Mais, le sable rougeâtre devient rigide lorsqu'il contacte l'eau. Cela est considéré comme un avantage d'utiliser le sable rougeâtre à la place du Tuf.

III.2.6.3. Détermination du module de déformation dynamique et le tassement

Les données utilisées pour la détermination de module de déformation dynamique et le tassement sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III.10 : les données d'essai.

Rayon du marteau r (m)	Diamètre du marteau d (m)	La hauteur de chute de marteau h (m)	La masse du marteau m (kg)	Coefficient de poisson du sol testé μ
0.025	0.05	0.45	4.5	0.25

Les résultats de la corrélation de CIV au module de déformation dynamique (E), et celles du tassement de la surface du tuf et du sable rougeâtre (dans la partie 01 et la partie 02) sont représentés dans les tableaux III.11, III.12, III.13 et III.14 suivants :

Tableau III.11 : Résultats de la corrélation de CIV au module de déformation dynamique (E) du sable rougeâtre dans la partie 01.

Essai N°	CIV	Tassement Y (m)	E (MPa)
01	16	0,003	47,088
02	16	0,003	47,088
03	15	0,003	41,386
04	14	0,003	36,052
05	15	0,003	41,386

Tableau III.12 : Résultats de la corrélation de CIV avec le module de déformation dynamique (E) du tuf dans la partie 01.

Essai N°	CIV	Tassement Y (m)	E (MPa)
01	11	0,004	22,256
02	13	0,003	31,085
03	11	0,004	22,256
04	12	0,004	26,487
05	12	0,004	26,487

Tableau III.13 : Résultats de la corrélation de CIV avec le module de déformation dynamique (E) du sable rougeâtre dans la partie 02.

Essai N°	CIV	Y (m)	E (MPa)
01	14	0,003	36,052
02	13	0,003	31,085
03	12	0,004	26,487
04	14	0,003	36,052
05	12	0,004	26,487

Tableau III.14 : Résultats de la corrélation de CIV avec le module de déformation dynamique (E) du tuf dans la partie 02.

Essai N°	CIV	Tassement Y (m)	E (MPa)
01	11	0,004	26,487
02	13	0,003	31,085
03	11	0,004	26,487
04	12	0,003	31,085
05	12	0,004	22,256

III.2.6.4. Résumé des résultats

Les résultats de corrélation de CIV au module de déformation dynamique (E) et celles du tassement de la surface du tuf et du sable rougeâtre (dans la partie 01 et la partie 02) sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III.15 : Résumé des résultats de la corrélation.

Type du matériau	Tassement Y (mm)	E (MPa)	
Tuf	4	26,597	
Sable rougeâtre	3	Partie 01	Partie 02
		42.600	31.233

III.2.6.5. Commentaires

- Le tassement du tuf est supérieur à celui du sable rougeâtre.
- Le module de déformation dynamique du sable rougeâtre dans la partie 01 est supérieur que celui de la partie 02.
- Le module de déformation dynamique du sable rougeâtre est supérieur que celui du tuf.

III.3. Essais au Laboratoire

III.3.1. Résultats de l’essai : Détermination de la masse volumique apparente (NF EN 12697-6)

Les résultats de l’essai de la masse volumique apparente sur les éprouvettes carottées de la couche de la surface sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.16: Résultats de l’essai masse volumique apparente.

Eprouvettes N°	05	02
Poids sec (g)	636.81	687.60
Poids sec + Paraffine (g)	675.91	718.84
Poids du paraffine (g)	39.10	31.24
Poids dans l’eau (g)	249.94	259.29
Densité du paraffine (g/cm ³)	0.90	0.90
Volume brut (cm ³)	425.97	459.60
Volume du paraffine (cm ³)	43.40	34.70
Volume nette (cm ³)	382.50	424.80
MVA (g/cm ³)	1.66	1.62

III.3.2. Résultats de la masse volumique réelle (NF EN 12697-5)

Les résultats de l’essai de la masse volumique réelle sur les éprouvettes carottées de la couche de la surface sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.17 : Résultats de l’essai de la masse volumique réelle.

Masse de matériau sec (g)	309.1
Masse de pycnomètre plein d’eau (g)	2178.2
Masse de matériau sec + Masse de pycnomètre plein d’eau (g)	2487.3
Masse de pycnomètre + matériaux+ eau (g)	2362.2
Volume de matériaux (cm³)	125.1
MVR (g/cm³)	2.47

III.3.2.1. Compacité et pourcentage des vides de l’enrobé à froid ouvert

Les résultats de la compacité et le pourcentage des vides de l’enrobé à froid ouvert utilisé dans la couche de la surface sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.18 : Compacité et pourcentage des vides de l’enrobé à froid ouvert.

MVR (g/cm³)	MVA (g/cm³)	Compacité (%)	Pourcentage des vides (%)
2.47	1.66	67.21	32.79
2.47	1.62	65.59	34.41

Les résultats moyens de la compacité et le pourcentage des vides de l’enrobé à froid ouvert utilisé dans la couche de la surface sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III.19 : Résumé des résultats.

MVR (g/cm³)	MVA (g/cm³)	Compacité (%)	Pourcentage des vides (%)
2.47	1.64	66.40	33.60

III.3.2.2. Commentaires

- La masse volumique apparente obtenue est faible.
- La compacité est très faible à cause de la mauvaise mise en œuvre et le choix du type de compacteur utilisé (au lieu utiliser un compacteur pneumatique, un compacteur cylindrique est utilisé).
- Le pourcentage des vides moyen de l’enrobé étudié est supérieur à 20 %, c’est à dire que l’enrobé à froid est classé comme ouvert.

III.3.3. Résultats de l'essai Duriez sur les mélanges hydrocarbonés (NF EN 12697 – 12)

Les résultats de l'essai Duriez sur les éprouvettes carottées de la couche de la surface sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.20 : Résultats de l'essai Duriez.

	Lot Humide			Lot Sec	
Éprouvette N°	01	02	03	05	06
Masse (g)	844.4	740.6	665.4	710.2	823.5
Diamètre moyen (mm)	100.31	100.05	100.28	100.10	100.03
Hauteur moyenne (mm)	66.22	56.65	53.85	55.79	63.59
MVA (g/cm ³)	1.61	1.66	1.57	1.62	499.5
Résistance à la compression (kPa)	1956.6	2180.26	2109.69	3605.63	2370.62
Résistance à la compression moyenne (kPa)	Lot Humide (C _w)=2080.18			Lot Sec (C _D)=2988.12	
Rapport d'immersion	$i/c = 100 \times \frac{C_w}{C_D} = 69.6 \%$			U=±%	



Figure III.22 : Eprouvettes après l'écrasement.

III.3.3.1. Commentaires

- Trois éprouvettes ne donnent aucun résultat au moment d'écrasement (résistance très faible).
- La présence des vides dans les éprouvettes a réduit l'adhésion entre les grains, ce qui lui a perdu sa résistance.
- La résistance à la compression moyenne du lot sec est supérieure à 10 Bar ($C_D = 29.88$ Bar) qu'est la valeur minimale à obtenir pour un enrobé à froid ouvert.

III.3.4. Résultats de l'essai de traction indirecte sur éprouvettes cylindriques - Module de rigidité - (EN 12697-26)

Les résultats de l'essai de traction indirecte sur des éprouvettes cylindriques carottées de la couche de la surface - Module de rigidité - sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.21 : Résultats de l'essai de traction indirecte - Module de rigidité -.

Eprouvette N°	01	02	03	04
	Moyenne A et B	Moyenne A et B	Moyenne A et B	Moyenne A et B
Charge vertical (KN)	0.522	0.937	0.754	0.794
Contrainte horizontale (KPa)	61.4	107.8	97.4	93.4
Facteur de la surface de charge	0.80	0.72	0.73	0.73
Déformation horizontale (µm)	3.57	4.96	5.53	5.56
Rigidité mesurée (MPa)	1884	2264	1856	1768
Module de rigidité ajusté (MPa)	2056	2395	1982	1876

Le module de rigidité ajusté moyen est égal à 2077.25 MPa.



Figure III.23 : Les éprouvettes de l'essai du module de rigidité.

III.3.4.1. Commentaires

- Le pourcentage des vides des éprouvettes varie de 32 à 37 % qui sont faibles, et dépasse la limite inférieure à 20 % pour les enrobés à froid ouvert.

- La présence des vides a réduit la résistance des éprouvettes, ce qui a rendu le module de rigidité faible.
- Lors du chargement des éprouvettes pendant **0.124 s**, on n'a trouvé aucune résistance considérée. De plus, la déformation est rapide, qui dépasse **5 μm** dans quelques éprouvettes.
- Il n'y a aucune spécification des valeurs de module de rigidité des enrobés à froid à base de cut-back, les valeurs de module peuvent noter comme faibles, comparativement au des études préalables (J. Valentin) sur des enrobés à froid, dans ces études les valeurs de module varient de 3500 à 4500 MPa, dans des autres on trouve des valeurs plus de 4500 MPa, selon le projet norme NF EN 13108 – 31, le module classé comme $S_{min2000}$ une faible classe d'enrobé à froid. [22]

III.3.5. Détermination de la déflexion et le rayon de courbure

Pour déterminer la déflexion et le rayon de courbure à travers le module de déformation dynamique calculé auparavant, on a utilisé le logiciel ALIZE – LCPC, pour simuler le comportement de notre deux structures (Avec l'aide du Mr. AOUAM Abdou ingénieur de la SARL ASTEC).

III.3.5.1. Principe du programme ALIZE

Le logiciel ALIZE - LCPC met en œuvre la méthode rationnelle de dimensionnement mécanique des structures de chaussée, développée par le LCPC et le SETRA.

La vocation première de la méthode rationnelle est dans le cadre des opérations de dimensionnement des chaussées neuves routières pour toutes les classes de trafic (des chaussées à faible trafic aux chaussées à fort trafic). Il permet de déterminer à partir d'un modèle multicouche, élastique et linéaire fondé sur l'hypothèse de BURIMESTER, les contraintes et les déformations aux différentes interfaces de la structure ayant jusqu'à six couches supposées infinies en plan. [23]

Les données à rentrer dans le model pour les différentes simulations :

- ❖ L'épaisseur de chaque couche.
- ❖ Le module déformation dynamique (E) et le coefficient de poisson (μ) de chaque couche y compris le sol support.
- ❖ Le type d'interface entre les couches.

Les résultats de la simulation sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.22 : Résultats de la déflexion et le rayon de courbure par le logiciel ALIZE – LCPC.

	La déflexion D (mm)	Le rayon de courbure R (m)
Structure à base du Tuf	1426.70 / 100	10.70
Structure à base du Sable rougeâtre	1373.55 / 100	11.50

III.3.5.1. Commentaires

- Les deux structures se sont avérées très précaires et appartiennent à la classe des déflexions $D_9 > 300$, qui est supérieure de 14 fois, la déflexion admise (100/100 mm).
- Quant aux rayons de courbures, il en résulte des valeurs (10.70 – 11.50) m, en dessous de la valeur médiane correspondante de (38.5 – à 39.3) m.

III.4. Conclusion

L'étude expérimentale du comportement mécanique de l'enrobé in-situ et au laboratoire montre que, le pourcentage des vides est très élevé (**33.60%**), ce qu'a influencé sur les performances de l'enrobé à froid ouvert :

- a) Epaisseur non respecté à cause du mauvais compactage (**66.40%**).
- b) Une moyenne résistance et module de rigidité très faible (**2077.25 MPa**).

L'étude des couches d'assise exprime :

- a) La densité humide et la densité sèche du sable rougeâtre ($\gamma_h = 1.91 \text{ g/cm}^3$, $\gamma_d = 1.89 \text{ g/cm}^3$ et $\gamma_d = 1.68 \text{ g/cm}^3$) sont supérieures que celles du Tuf ($\gamma_h = 1.54 \text{ g/cm}^3$, $\gamma_d = 1.35 \text{ g/cm}^3$). Malgré que, la teneur en eau de ce dernier ($\omega_{\text{Tuf}} = 13.77\%$) est deux fois plus que le premier ($\omega_{\text{SR}} = 6.89\%$).
- b) Une partie de la chaussée à base de sable rougeâtre est devenue plus rigide (interaction chimique avec la présence d'eau) depuis 3 ans de sa réalisation. La deuxième partie a gardé une densité sèche très bonne depuis sa réalisation ; Cela est dû à l'exposition potentielle à l'eau de la partie 01 est plus que la partie 02. Ce qui prouve l'efficacité de ce sable contre la remontée des eaux.
- c) Le CBR du sable rougeâtre (**CBR=14.049**) est meilleure de celui du Tuf (**CBR=10.112**) bien qu'elles soient de la même classe portante (**S₃**) qui est permanente au sable rougeâtre, en revanche, elle est temporelle au Tuf.

- d) Le module déformation dynamique du sable rougeâtre (**entre 39 MPa**) est supérieur que celui du tuf (**26 MPa**).

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

En dépit, des résultats exposés, il est démontré que le dimensionnement d'une route, ne peut être seulement basé sur les formules empiriques intégrant l'indice CBR et le taux de trafic. Le choix judicieux des épaisseurs et la qualité des matériaux des couches de chaussées demeurent certes les points sensibles dans la réussite d'une route, mais le comportement structurel doit être considéré pour dénoncer la prise en compte démesurée des différents facteurs de conception, ce à l'effet d'assurer la durabilité des chaussées.

Dans ce contexte, notre rapport de fin d'étude a souligné le vif du sujet qui porte sur le comportement structurel de la chaussée, en travers la mise en examen de deux planches d'essai réalisées en enrobé à froid ouvert, sur un tuf ou un sable rougeâtre en corps de chaussée. L'analyse comparative de leurs caractéristiques géotechniques de résistance, de portance et de compactage, a illustré que celles-ci sont très proches. Mais la dissemblance est déclarée par les spécifiés physico-chimiques de chaque matériau suivant sa capacité de préserver ou non ses performances de qualité initiale.

Les tufs composés en partie de matières solubles dans l'eau ont tendance à perdre leurs cohésions malgré leurs aptitudes éphémères au compactage.

Le sable rougeâtre analysé issu d'une roche évolutive à base de dioxyde de silicium, a une tendance à se solidifier dans l'eau et consolider le corps de chaussée.

Hormis, le dimensionnement empirique usuel qui se limite à la simple détermination des épaisseurs des couches, le trafic de référence ne peut être considéré qu'un paramètre arbitraire, vu que les planches étudiées ne sont pas soumises réellement à cette charge. Ceci nous est contraint d'introduire l'essai par impact dynamique au compactomètre Clegg, et ce pour évaluer le comportement réel du matériau inséré en couche de base à travers son module de déformation dynamique. Le module du sable rougeâtre dit Mezzouaghe dépasse celui du tuf utilisé de 104 unités. Les deux structures se sont avérées très précaires et appartiennent à la classe des déflexions $D9 > 300$, qui est supérieure de 14 fois, la déflexion admise (100/100 mm).

Quant aux rayons de courbures, il en résulte des valeurs (10.70 – 11.50) m, en dessous de la valeur médiane correspondante de (38.5 – à 39.3) m.

Les désordres des deux structures sont attendus et le décollement des couches de surface est inévitable.

D'autre part, l'optimisation des performances des enrobés doit passer par la considération des contraintes influant sur les caractéristiques des granulats et bitumes pour élaborer les

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATION

formules les plus appropriées par les tests de matériels évolués intégrant les charges cycliques du trafic ainsi que les paramètres significatifs relatifs au comportement viscoélastique des enrobés. La couche de roulement expérimentée est conçue avec un enrobé à froid ouvert très médiocre ou on a décelé un écart notable en volume des vides évalué à 13%, par rapport au seuil maximal normatif (20%). Ce qui a traduit un module de rigidité surprenant et très faible de 21000 bars.

La règle de la régression des modules de rigidité est respectée, mais les écarts supputés entre le module de l'enrobé à froid ouvert et ceux des matériaux subnormaux sont considérables (20033 - 20507 bars).

De telles structures conçues en matériaux subnormaux (Tufs, Mezzouaghe, sable gypseux...), sous un enrobé à froid ouvert très perméable, ne peuvent résister aux sollicitations extérieures de trafic lourd, intempéries et remontées des eaux. Les structures seront prématurément déstabilisées du fait, de leurs flexibilités accrues, et des caractères évolutifs non maîtrisés des matériaux admis en couche de fondation ou couche de base. Ces derniers doivent être traités de manière à optimiser leurs caractéristiques inhérentes à la granularité, à la cohésion (c), au frottement(φ) et au module de rigidité, de telles sortes à garantir la pérennité des ouvrages, qui demeure subordonner à leurs durées optimales persistantes.

L'usage du sable rougeâtre à ossature, est tout indiqué en couche de forme au contact de la nappe phréatique. Cette propriété de caractère hydrophile de consolidation, mérite une attention très particulière. L'évolution des caractéristiques géotechniques de ce matériau dans le temps, en fonction de son état hydrique ainsi que leurs impacts sur le comportement structurel de la chaussée, doivent faire l'objet d'une étude approfondie visant à le prévoir ou non en couches d'assise.

L'alternative de recycler par concassage, le matériau dit Mezzouaghe, à l'effet de corriger sa granulométrie et insérer sa courbe dans le fuseau de référence de la grave grenue, serait tout à fait convenable, vu que sa réactivité dans l'eau est très lente et que le squelette granulaire imposé, amortira les déformations internes qui seront produites.

Recommandations :

Il est recommandé de :

- ✓ Faire des études sur le sable rougeâtre en utilisant un grave concassé (3/8 ou 8/15) comme ajout pour différents pourcentages, afin d'améliorer la résistance de compression de ce sable et de l'utiliser dans la structure de chaussée.
- ✓ Faire des études économiques pour l'évaluation de l'opportunité économique de ce sable dans les projets de route.
- ✓ Faire des études approfondies sur le comportement de ce sable vis-à-vis du phénomène de la remontée des eaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] A. SELFAOUI et S. HACINI, « Valorisation de Sable Rougeâtre de la Région d'Ouargla dans les Corps de la Chaussée », Mémoire de Master Académique en Génie Civil, Université Kasdi Merbah, OUARGLA, 2011.
- [2] A. KABOUL, « Etude des croûtes biologiques sols des zones arides (cas de la région d'Ouargla et la région El Oued) », Mémoire de Master Académique en Biologie, Université Kasdi Merbah – Ouargla, 2016.
- [3] M. C. KADDOUR, « Contribution à l'étude de la phytomasse aérienne des formations à Alfa et à Armoise cas de la commune de Maâmora (Saida) », Mémoire de Master en Ecologie et Environnement, Université Dr. Tahar MOULAY – Saïda, 2014.
- [4] « Wilaya d'Ouargla ». ANDI, 2013, [En ligne]. Disponible sur : <http://www.andi.dz/PDF/monographies/Ouargla.pdf>. (Consulté le février 27, 2020).
- [5] « JOURNAL ALGERIEN DES REGIONS ARIDES (JARA) », CRSTRA, vol. 14, p. 144, 2017.
- [6] « Annuaire Statistique de Santé 2016 », 2016. Disponible sur : http://www.dsp-ouargla.dz/images/PDF/Annuaire1_2016.pdf (consulté le février 27, 2020).
- [7] H. MAHMA et F. BERGHOUTI, « La filière avicole (poulet de chair) dans la wilaya de Ouargla : autopsie de dysfonctionnement Cas de la région de Ouargla », Mémoire de Master Académique en Agronomie, Université Kasdi Merbah – Ouargla, 2016.
- [8] Y. BENAÏSSA, « ETUDE DE LA FIABILITÉ DES SYSTÈMES D'ÉPURATION DES EAUX USÉES EN ZONES ARIDES CAS DE LA RÉGION DE OUARGLA », Mémoire de Master Sciences et Génie de l'Environnement, Université Kasdi Merbah – Ouargla, 2019.
- [9] R. ABIKEUR et W. BESSACI, « Comparaison des taux d'infestation des ravageurs entre un ancien système phoenicicole et un nouveau périmètre en mise en valeur dans la région de Ouargla. », Mémoire de Licence en Agronomie, Université Kasdi Merbah – Ouargla, 2017.
- [10] « Définitions | Portail d'information sur les sols | Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture », févr. 28, 2020. Disponible sur : <http://www.fao.org/soils-portal/about/definitions/fr/> (consulté le févr. 28, 2020).
- [11] G. DEGOUTTE et P. ROYET, « Aide-mémoire de mécanique des sols », *ENGREF*, vol. Réédition, p. 98, 2009.
- [12] G. Philipponnat et B. Hubert, *Fondations et ouvrages en terre*. Paris : Eyrolles, 2007.
- [13] J.-P. MAGNAN, *Mécanique des sols et géotechnique*, 4e édition. Techniques de l'Ingénieur.
- [14] « CHAPITRE VIII DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE », p. 15. Disponible sur : <https://www.scribd.com/document/430829616/Chapitre-8-Dimensionnement-Du-Cc-r-Eddine-1> (consulté le février. 28, 2020).

- [15] Y. ABBA, « Valorisation Des Sables Rougeâtre Dans Les Corps De Chaussés », Mémoire de Master en Génie Civil, Université Kasdi Merbah – Ouargla, 2017.
- [16] E. G. DAHEUR, « Contribution à l'étude de traitement des tufs d'encroustement dans la construction routière. », Mémoire Master en Génie Civil, Université Amar Telidji – Laghouat, 2011.
- [17] I. GOUAL, « Comportement mécanique et hydrique d'un mélange de tuf et de sable calcaire de la région de Laghouat : Application en construction routière », Thèse de doctorat en Génie Civil, Université ABOUBAKR Belkaid – TLEMEN, 2012.
- [18] I. BOUROUISSE et H. BEDDIAF, « Dimensionnement des corps des chaussées à base de sable rougeâtre », Mémoire de Master en Génie Civil, Université Kasdi Merbah – Ouargla, 2017.
- [19] D.U.C OUARGLA, « ETUDE GEOTECHNIQUE D'URBANISATION POS KF BAMENDIL - OUARGLA », LABORATOIRE : A.S.T.E.C/Engineering, RAPPORT FINAL.
- [20] « Classification de sols suivant la valeur du CBR selon Léautaud (1984) ». Disponible sur : <https://www.africmemoire.com/part.6-chapitre-iv-interpretation-des-resultats-des-essais-752.html> (consulté le février 29, 2020).
- [21] M. ROBERT et J. F. LAFON, « ROUTES Matériaux, Durabilité des chaussées MASTER 2 GENIE-CIVIL ». Université Paul Sabatier Toulouse III, 2012 – 2011.
- [22] J. Valentin, Z. Čížková, J. Suda, F. Batista, K. Mollenhauer, et D. Simnofske, « Stiffness Characterization of Cold Recycled Mixtures », Transp. Res. Procedia, vol. 14, p. 758-767, 2016.
- [23] A. AZZOU et K. HAMEL, « EVITEMENT DE LA VILLE DE MAKOUDA PAR AIT FARES SUR UN LINIAIRE DE PK00 A PK03. », Mémoire de Master en Génie Civil, Université MOULOUD MAMMERI de Tizi-Ouzou, 2016.
-

LISTES DES NORMES

NF EN 12697 - 27 (Avril 2002) : « Essai de carottage ».

ASTM D7113-05 : « Densimètre électromagnétique d'enrobée modèle 380 ».

ASTM D 5874 – 02 (Mai 2007) : Méthode d'essai standard pour la détermination de la valeur d'impact (IV) d'un sol « Essai au compactomètre Clegg ».

NF P 94-061-2 (Avril 1996) : « Détermination de la masse volumique d'un matériau en place : Méthode au densitomètre à membrane ».

NF EN 12697-5 (septembre 2007) : « Masse volumique réelle des matériaux bitumineux ».

NF EN 12697-6 (Août 2003) : « Détermination de la masse volumique apparente ».

NF EN 12697 – 12 (Septembre 2008) : « Essai Duriez sur les mélanges hydrocarbonés ».

EN 12697-26 (Juillet 2004) : « Essai de traction indirecte sur éprouvettes cylindriques - Module de rigidité ».

ANNEXES



مخبر الأشغال العمومية في جنوب البلاد

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

SPA AU CAPITALE DE :303.000.000 DA



Zone d'activité -Bouhraoua -Ghardaïa



+213 (0) 770 27 37 32 / +213 (0) 29 25 27 38 / +213 (0) 29 25 27 36



+213 (0) 29 25 27 44



BP 332 - 47000 Ghardaïa



Contact@ltps.dz



www.ltps.dz

RAPPORT D'ESSAI

Détermination de Masse volumique réelle (MVR) des matériaux bitumineux

☞ Méthode A : Volumétrie ☜

NF EN 12697-5:2018

Structure	Direction technique	Balance N°	
Dossier N°	ABD/2020/MAS	Étuve N°	
Lieu de travail	PBS	Pompe à vide N°	
Échantillon	BBSG	Température d'essai	25°C

1	Masse de matériau sec (g)	309.1
2	Masse de pycnomètre plein d'eau (g)	2178.2
3	1+2 (g)	2487.3
4	Masse de pycnomètre + matériaux+ eau (g)	2362.2
5	Volume de matériaux (cm ³)	125.1
6	MVR (g/cm ³)	2.47

Observation :

(*) : En cas de changement de la version de rapport, les informations modifiées doivent être identifiées en « gras », les explications de ces modifications doivent être mentionnées dans la rubrique « observation » du rapport.(**) : Si l'échantillon présente un écart par rapport aux exigences spécifiées et que le client demande de réaliser l'essai malgré que cet écart peut affecter les résultats, ce dernier doit être mentionné dans la rubrique « observation ».

Les résultats de ce rapport ne se rapportent qu'aux objets soumis à l'essai.

- Les échantillons ont été fournis par le client, les résultats de ce rapport s'appliquent aux échantillons tels qu'ils ont été reçus. (Article 7.8.2.2 de ISO 17025)
- Le laboratoire n'est pas responsable sur les informations fournis par le client.
- L'estimation de l'incertitude de mesure sur le résultat peut être communiquée à la demande de client.
- Le présent rapport ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du LTPS (note).

Nom et Prénom du Contrôleur :

BOUCHERBA.M

Visa :



مخبر الأشغال العمومية في جنوب البلاد

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD
SPA AU CAPITALE DE :303.000.000 DA

Zone d'activité -Bouhraoua -Ghardaïa ☎ +213 (0) 770 27 37 32 / +213 (0) 29 25 27 38 / +213 (0) 29 25 27 36
+213 (0) 29 25 27 44 ✉ BP 332 - 47000 Ghardaïa 📧 Contact@ltps.dz 🌐 www.ltps.dz

RAPPORT D'ESSAI
Détermination de la sensibilité à l'eau des éprouvettes bitumineuse
☞ **Méthode B : Compression** ☜
NF EN 12697-12:2018

Structure	Direction technique	Balance N°	
Dossier N°	ABD/2020/MAS	Étuve N°	
Lieu de travail	PBS	Presse N°	
Échantillon	BBSG	Enceinte N°	
Description et état de l'échantillon (**):	Carotte	Bain d'eau N°	
Date de confection de mélange	/	Méthode de confection des éprouvettes	Carottage
Date de confection des éprouvettes	/	Énergie de compactage	/
Date d'Écrasement	05/08/2020	Température d'essai	18°C

Éprouvette N°	Lot Humide				Lot Sec			
	01	02	03	04	05	06	07	08
Masse (g)	844.4	740.6	665.4		710.2	823.5		
Moy. Diamètre (mm)	100.31	100.05	100.28		100.10	100.03		
Moy. Hauteur (mm)	66.22	56.65	53.85		55.79	63.59		
MVA (g/cm³)	1.61	1.66	1.57		1.62	499.5		
Taux d'augmentation de volume (%)	N.M	N.M	N.M					
Résistance à la compression (kPa)	1956.6	2180.26	2109.69		3605.63	2370.62		
Résistance à la compression moyenne	Lot Humide (C _w) = 2080.18 kPa				Lot Sec (C _v) = 2988.12 kPa			
Rapport d'immersion	$i/C = 100 \times C_w/C_D = 69.6 \%$				$U = \pm \frac{\quad}{\quad} \%$			

Observation :

- 3 éprouvettes ne donne aucune résultats au moment d'écrasement (résistance très faible)
- N.M : Non mesurable.

(*) : En cas de changement de la version de rapport, les informations modifiées doivent être identifiées en « gras », les explications de ces modifications doivent être mentionnées dans la rubrique « observation » du rapport. (**): Si l'échantillon présente un écart par rapport aux exigences spécifiées et que le client demande de réaliser l'essai malgré que cet écart peut affecter les résultats, ce dernier doit être mentionné dans la rubrique « observation ».

Les résultats de ce rapport ne se rapportent qu'aux objets soumis à l'essai.

- Les échantillons ont été fournis par le client, les résultats de ce rapport s'appliquent aux échantillons tels qu'ils ont été reçus. (Article 7.8.2.2 de ISO 17025)
- Le laboratoire n'est pas responsable sur les informations fournis par le client.
- L'estimation de l'incertitude de mesure sur le résultat peut être communiquée à la demande de client.
- Le présent rapport ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du LTPS (note).

Nom et Prénom du Contrôleur :

BOUCHERBA.M

Visa :

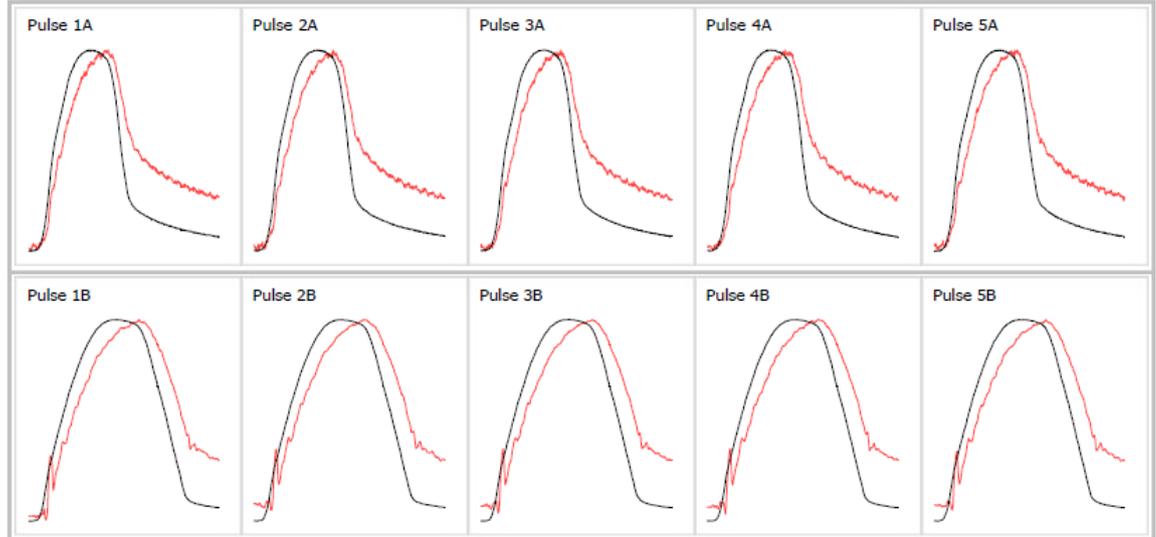
Stiffness Modulus: EN 12697-26: Annex C. April 2005

Date of Test	29 Jul 2020 @ 08:29
Report Number	Abd-2020-MAS
Operator	NADIR BAKLI
Specimen ID	Abd-2020-MAS-EP01
Client Name	MAS

Lab Address	LTP Sud
-------------	---------

Test Temperature (°)	20
Bulk Density (kg/m ³)	1630
Diameter (mm)	100
Thickness (mm)	54

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	124
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	0.248	0.249	0.249	0.249	0.250	0.249	0.795	0.796	0.795	0.796	0.795	0.795	0.522
Horizontal Stress (kPa)	29.2	29.2	29.3	29.3	29.3	29.3	93.4	93.5	93.4	93.5	93.4	93.5	61.4
Load-Area Factor	0.89	0.86	0.90	0.87	0.87	0.88	0.73	0.74	0.73	0.72	0.72	0.73	0.80
Horizontal Deformation (um)	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	5.30	5.30	5.30	5.30	5.30	5.30	3.57
Load Rise Time (ms)	145	152	145	149	150	148	129	127	128	130	130	128	138
Measured Stiffness (MPa)	1921	1916	1924	1926	1929	1923	1845	1841	1850	1855	1837	1846	1884
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	2183	2152	2192	2171	2173	2174	1954	1959	1963	1959	1941	1955	2065

Data File: Abd-2020-MAS-EP01_1.tdms

Notes: Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:
 How the specimen was stored:

Signed: _____

Date: _____



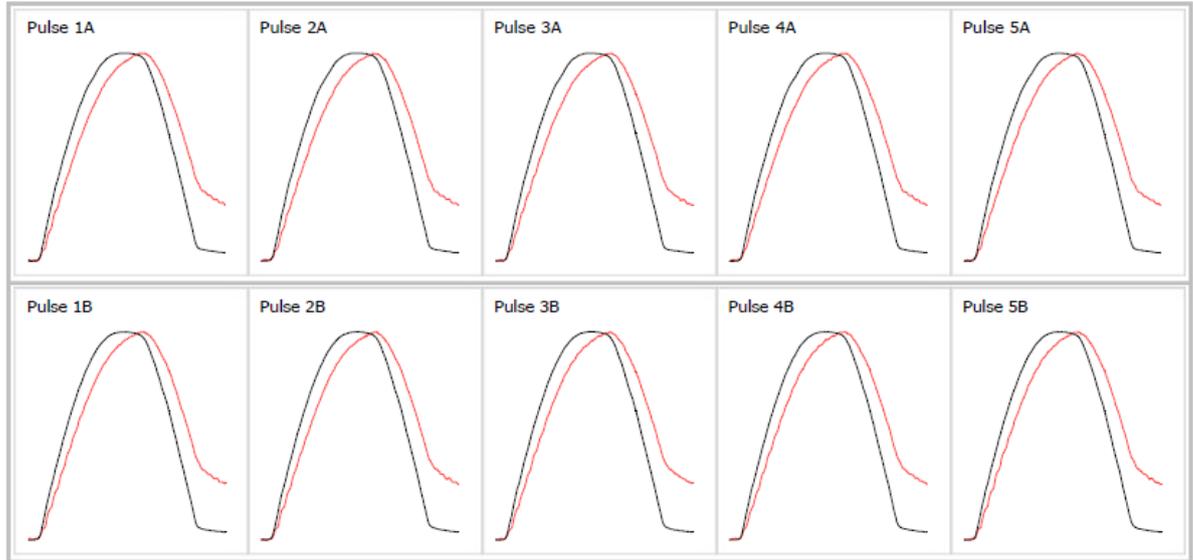
Stiffness Modulus: EN 12697-26: Annex C. April 2005

Date of Test	29 Jul 2020 @ 08:48
Report Number	Abd-2020-MAS
Operator	NADIR BAKLI
Specimen ID	Abd-2020-MAS-EP02
Client Name	MAS

Lab Address	LTP Sud
-------------	---------

Test Temperature (°)	15
Bulk Density (kg/m ³)	1640
Diameter (mm)	101
Thickness (mm)	55

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	124
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	0.946	0.947	0.946	0.948	0.948	0.947	0.926	0.926	0.926	0.926	0.926	0.926	0.937
Horizontal Stress (kPa)	108.9	109.0	108.9	109.1	109.1	109.0	106.6	106.6	106.6	106.6	106.6	106.6	107.8
Load-Area Factor	0.72	0.72	0.71	0.72	0.71	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
Horizontal Deformation (um)	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.94	4.94	4.94	4.94	4.94	4.94	4.96
Load Rise Time (ms)	124	124	125	124	125	124	124	124	123	124	124	124	124
Measured Stiffness (MPa)	2284	2272	2275	2276	2270	2276	2257	2252	2243	2254	2255	2252	2264
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	2420	2407	2403	2409	2397	2407	2387	2381	2378	2383	2383	2383	2395

Data File Abd-2020-MAS-EP02_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:
 How the specimen was stored:

Signed

Date

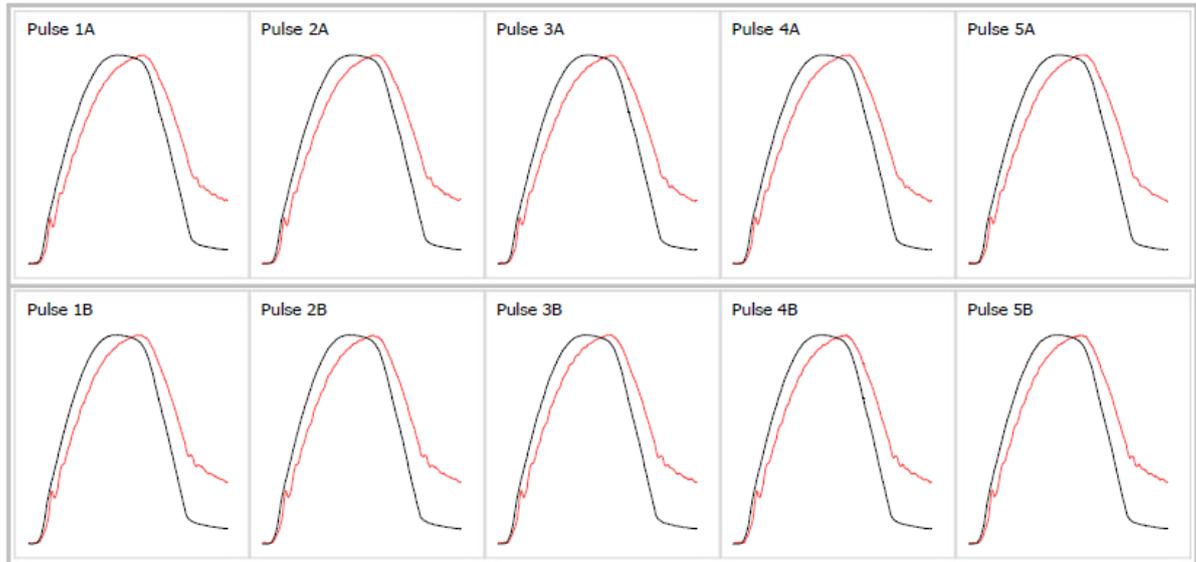
Stiffness Modulus: EN 12697-26: Annex C. April 2005

Date of Test	29 Jul 2020 @ 08:57
Report Number	Abd-2020-MAS
Operator	NADIR BAKLI
Specimen ID	Abd-2020-MAS-EP03
Client Name	MAS

Lab Address	LTP Sud
-------------	---------

Test Temperature (°)	15
Bulk Density (kg/m ³)	1670
Diameter (mm)	100
Thickness (mm)	49

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	124
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	0.807	0.806	0.806	0.806	0.807	0.806	0.700	0.700	0.701	0.702	0.701	0.701	0.754
Horizontal Stress (kPa)	104.2	104.1	104.1	104.2	104.3	104.2	90.4	90.5	90.6	90.7	90.6	90.6	97.4
Load-Area Factor	0.72	0.73	0.73	0.74	0.73	0.73	0.74	0.74	0.74	0.73	0.75	0.74	0.73
Horizontal Deformation (um)	5.87	5.87	5.87	5.87	5.87	5.87	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19	5.53
Load Rise Time (ms)	131	130	130	129	130	130	130	130	130	129	128	129	130
Measured Stiffness (MPa)	1868	1872	1871	1874	1876	1872	1857	1852	1861	1856	1860	1857	1865
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	1977	1986	1986	1994	1990	1986	1976	1971	1980	1972	1988	1977	1982

Data File Abd-2020-MAS-EP03_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:
 How the specimen was stored:

Signed _____

Date _____

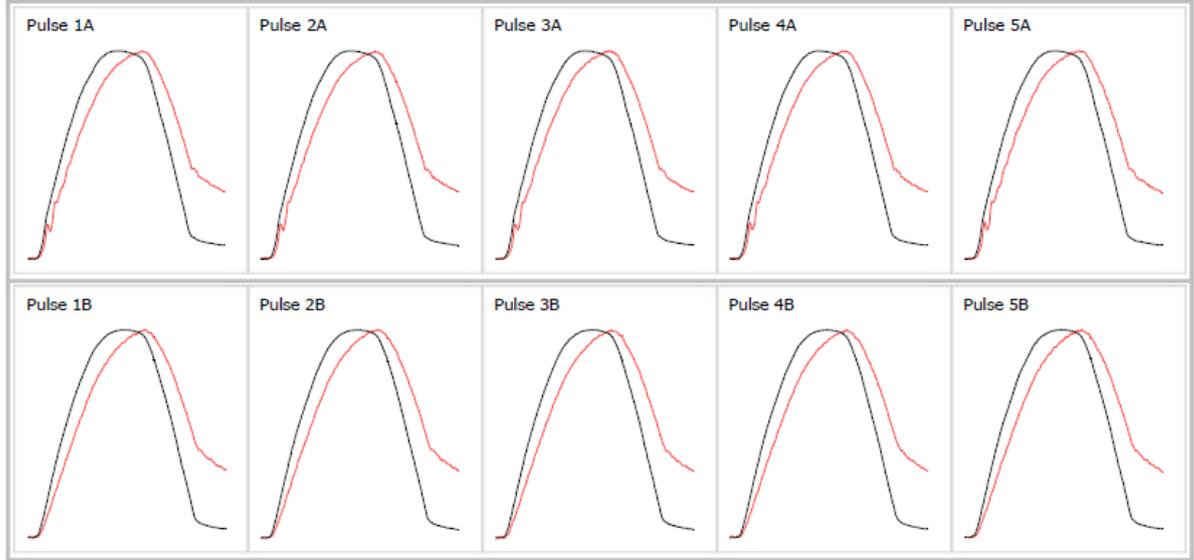
Stiffness Modulus: EN 12697-26: Annex C. April 2005

Date of Test	29 Jul 2020 @ 09:11
Report Number	Abd-2020-MAS
Operator	NADIR BAKLI
Specimen ID	Abd-2020-MAS-EP04
Client Name	MAS

Lab Address	LTP Sud
-------------	---------

Test Temperature (°)	15
Bulk Density (kg/m ³)	1620
Diameter (mm)	100
Thickness (mm)	54

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	124
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	0.825	0.825	0.827	0.826	0.826	0.826	0.762	0.762	0.763	0.763	0.763	0.763	0.794
Horizontal Stress (kPa)	97.0	97.0	97.2	97.1	97.1	97.1	89.6	89.6	89.7	89.7	89.7	89.7	93.4
Load-Area Factor	0.73	0.73	0.73	0.74	0.73	0.73	0.73	0.73	0.74	0.74	0.73	0.73	0.73
Horizontal Deformation (um)	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.65	5.65	5.65	5.65	5.65	5.65	5.56
Load Rise Time (ms)	125	125	126	126	125	126	139	140	139	139	138	139	132
Measured Stiffness (MPa)	1852	1851	1861	1860	1861	1857	1673	1682	1678	1676	1682	1678	1768
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	1967	1966	1971	1978	1975	1971	1775	1781	1781	1779	1784	1780	1876

Data File Abd-2020-MAS-EP04_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:
 How the specimen was stored:

Signed _____

Date _____

**VERIFICATION DE LA STRUCTURE DE CHAUSSEE PAR
LE LOGICIEL ALIZE III**

PLANCHE ESSAIS TUF

POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE

A SOUS UNE ROUE SIMPLE

B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE

C AU CENTRE DU JUMELAGE

A = 12.500 D = 37.500 Q = 6.620

NOMBRE DE COUCHES 3

```

*****
**
*   Z   *           *   EPSILON T *   SIGMAT   *   EPSILON Z *   SIGMA Z
**
*****
**
*   .00*           *   .267E-02B*   .824E+02B*   -.221E-02B*
*           *           *   .662E+01A*
*   * E= 21000.   *           *           *           *
*   * NU= .35     *           *           *           *
*   * H1= 6.00    *           *           *           *
*   6.00*           *   -.277E-02B*   -.812E+02B*   .255E-02B*
*           *           *   .166E+01B*
*-----*---DECOLLE---*-----*-----*-----*-----*
*           *           *           *           *
*   6.00*           *   .602E-02C*   .246E+01B*   .201E-02B*
*           *           *   .166E+01B*
*   * E= 270.     *           *           *           *
*   * NU= .25     *           *           *           *
*   * H2= 22.00   *           *           *           *
*   28.00*           *   -.694E-02C*   -.205E+01C*   .622E-02C*
*           *           *   .797E+00C*
*-----*---DECOLLE---*-----*-----*-----*
*           *           *           *           *
*   28.00*           *   .567E-02C*   .625E+00C*   .997E-02C*
*           *           *   .797E+00C*
*   * E= 50.      *           *           *           *
*   * NU= .25     *           *           *           *
*   * H3=INFINI   *           *           *           *
*****
**
*   D   *           *   1426.70MM/100           *           *           *           *
*           *           *           *           *           *
*   R   *           *   10.70M           *           *           *           *
*           *           *           *           *           *
*****
**
MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

```

VERIFICATION DE LA STRUCTURE DE CHAUSSEE PAR LE LOGICIEL ALIZE III

PLANCHE ESSAIS SABLE ROUGEATRE

POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE

A SOUS UNE ROUE SIMPLE

B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE

C AU CENTRE DU JUMELAGE

A = 12.500 D = 37.500 Q = 6.620

NOMBRE DE COUCHES 3

```

*****
*   Z   *           * EPSILON T *   SIGMAT *   EPSILON Z *   SIGMA Z
*****
*   .00*           * .249E-02B* .774E+02B* -.206E-02B*
*                   * .662E+01A*
*   * E= 21000.   *           *           *           *
*   * NU= .35     *           *           *           *
*   * H1= 6.00    *           *           *           *
*                   *
*   6.00*           * -.260E-02B* -.761E+02B* .241E-02B*
*                   * .192E+01B*
*-----*---DECOLLE---*-----*-----*-----*-----*
*   6.00*           * .575E-02C* .315E+01B* .149E-02A*
*                   * .192E+01B*
*   * E= 370.     *           *           *           *
*                   *
*   * NU= .25     *           *           *           *
*                   *
*   * H2= 22.00   *           *           *           *
*                   *
*   28.00*          * -.642E-02C* -.267E+01C* .519E-02C*
*                   * .764E+00C*
*-----*---DECOLLE---*-----*-----*-----*-----*
*   28.00*          * .543E-02C* .599E+00C* .955E-02C*
*                   * .764E+00C*
*   * E= 50.      *           *           *           *
*                   *
*   * NU= .25     *           *           *           *
*                   *
*   * H3=INFINI   *           *           *           *
*                   *
*****
*   D   *           *           *           *           *
*   R   *           *           *           *           *
*                   *           *           *           *
*                   *           *           *           *
*****
          1373.55MM/100
          11.50M
          R*D
          15791.20M*MM/100
          *****
          MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
    
```

Résumé

La route, mise en exploitation, subit de multitude de déformations et se comporte suivant l'aptitude de différentes couches en structure, à dissoudre ou non les sollicitations qui leur sont transmises.

Dans ce contexte, notre mémoire présente une étude comparative effectuée sur une planche d'essais antérieure mise en observation à l'effet d'apprécier deux structures (Tuf plus Enrobé à froid ouvert ou Sable rougeâtre plus Enrobé à froid ouvert) selon qu'on substitue ou non le sable rougeâtre dénommé « Mezzouaghe » au tuf.

L'usage du sable rougeâtre à ossature, est tout indiqué en couche de forme au contact de la nappe phréatique. Cette propriété de caractère hydrophile de consolidation, mérite une attention très particulière.

L'alternative de recycler par concassage, le matériau dit Mezzouaghe, à l'effet de corriger sa granulométrie et insérer sa courbe dans le fuseau de référence de la grave grenue, serait tout à fait convenable.

Mots clés : Sable rougeâtre, Tuf, Structure de chaussée, route, la nappe phréatique, Comportement des chaussées.

ملخص

يخضع الطريق، عند استغلاله، لعدد كبير من التشوهات ويتصرف وفقاً لقدرة الطبقات الهيكلية المختلفة على امتصاص الاجتهادات التي تنتقل إليها أو عدم قدرتها على ذلك.

في هذا السياق، تقدم أطروحتنا دراسة مقارنة أجريت على لوحة اختبار سابقة وضعت تحت الملاحظة من أجل تقييم هيكلين (الرمال الجبسي + طبقة اسفلتية باردة مفتوحة أو التربة الحمراء + طبقة اسفلتية باردة مفتوحة) اعتماداً على ما إذا كان بالإمكان استبدال الرمل الجبسي بالتربة المحمر المسماة "مزوغ" أم لا.

كنتيجة، يوصى باستخدام التربة الحمراء كطبقة سفلية تلامس منسوب المياه الجوفية. تستحق هذه الخاصية ذات الطبيعة المحبة للماء اهتماماً خاصاً للغاية. وينصح كذلك إعادة تدوير التربة الحمراء عن طريق التكسير، لتصحيح حجم حبيباتها، وإدخال منحناها في المغزل المرجعي للحصى، والذي سيكون مناسباً تماماً، نظراً لأن تفاعله في الماء بطيء جداً وأن الهيكل الحبيبي المفروض سيخفف التشوهات الداخلية التي سيتم إنتاجها.

الكلمات المفتاحية: التربة الحمراء، الرمل الجبسي، الطرقات، هيكل الطريق، منسوب الطبقة المائية، سلوك الطرقات.

Abstract

The road, put into operation undergoes a multitude of deformations and behaves according to the ability of different structural layers to dissolve or not the stresses transmitted to them.

In this context, our thesis presents the comparative study carried out on a previous test board placed under observation in order to assess two structures (Tuff plus cold asphalt mixture or reddish sand plus cold asphalt mixture) depending on whether the reddish sand called "Mezzouaghe" is substituted or not for tuff.

The use of reddish sand with a framework is recommended as a subgrade in contact with the water layer. This property of a hydrophilic nature of consolidation deserves very particular attention.

The alternative of recycling the reddish sand by crushing, in order to correct its grain size and insert its curve into the reference spindle of the gravel, would be quite suitable.

Keywords: Reddish sand, Tuff, Pavement structure, road, Pavement behavior.