

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA1



Faculté de Technologie

Département de Génie Civil

Mémoire de Master

Option : Géotechnique

Thème

**Techniques de Réparation des Chaussées Souples et l'Évaluation de leur
Capacité Portante - Application pour cas d'Étude**

Étudier par :

BOULOUBIA Lyes

KESSI Roufida

Promoteur:

Dr M.ABDESSEMED

Année Universitaire : 2022/2023

ملخص

تقنيات الإصلاح والتعزيز للأرصفة المرنة تستهدف استعادة قدرة التحمل لهياكل الرصف وتحسين أدائها في الخدمة. يمكن تحقيق ذلك من خلال تصحيح التشوهات والتلف التي تواجهها الأرصفة المرنة. هناك عدة تقنيات يمكن استخدامها ومنها:

إضافة طبقات إضافية: يتم إضافة طبقات إضافية فوق الرصف الموجود لتعزيز قوتها ومقاومتها. يمكن استخدام مواد مثل قدرتها الأسفلت أو المواد المعدنية المركبة لتكوين الطبقات الإضافية. هذه الطبقات تساهم في زيادة سماكة الرصف وتعزيزه على تحمل الأحمال الثقيلة وتحسين أدائها في الظروف القاسية

استبدال الطبقات التالفة: في حالة وجود طبقات متضررة أو تالفة في الرصف المرن، يمكن استبدالها بطبقات جديدة ذات مقاومة عالية. يتم إزالة الطبقات التالفة بشكل كامل واستبدالها بطبقات جديدة تمتاز بالقوة والمتانة. هذا يعيد الرصف إلى حالته الأصلية ويعزز قدرته على تحمل الحمولة والظروف القاسية

ALIZE 1.5

هو برنامج يستخدم لتحليل وتصميم الهياكل الطرقية، ويمكن استخدامه في تقييم تأثير التصحيحات والتعزيزات على قدرة التحمل المتبقية للأرصفة المرنة. يساهم هذا البرنامج في توفير تحليل دقيق ومعلومات هامة لاتخاذ قرارات التصميم المناسبة واختيار التقنيات الملائمة للتعزيز

باختصار، يهدف البحث الذي تقدمه الأطروحة إلى تحسين قدرة التحمل المتبقية للأرصفة المرنة من خلال تطبيق تقنيات يتوقع أن تكون هذه التقنيات قادرة على تحسين أداء الرصف وزيادة قوته ومتانته في الخدمة، سواء عن طريق إضافة طبقات إضافية أو استبدال الطبقات التالفة بأخرى ذات مقاومة عالية.

لكلمات المفتاحية: Alize، الرصيف، الاسفلت، التعزيز، التشوهات

Résumé :

Les chaussées souples sont généralement affectées par le trafic lourd et les charges cycliques/répétitives en plus des conditions climatiques parfois extrêmes. Les pouvoirs publics, investissent lourdement dans la sauvegarde et l'entretien de ces infrastructures par l'application des techniques de maintenance, dans le but de redonner la capacité portante aux corps de chaussée de ces structures. On donnera dans ce mémoire, un aperçu sur les chaussées souples et les types de dégradation. On convergera, après, vers une contribution pour la compréhension des techniques de réparation et/ou renforcement des chaussées souples et les méthodes de dimensionnement par le logiciel Alize 1.5, avec la prise de cas d'étude réel. L'objectif du travail est d'arriver à améliorer la portance de la structure de chaussée en service et cas extrême, en prenant en compte la technique de réparation adoptée.

Mots clés : Chaussée, dégradation, renforcement, réparation, analyse, Alizé, portance.

Abstract

Flexible pavements are generally affected by heavy traffic and cyclic/repetitive loads, in addition to sometimes extreme weather conditions. The public authorities are investing heavily in the protection and maintenance of these infrastructures by applying maintenance techniques, with the aim of restoring the bearing capacity of the pavement bodies of these structures. This paper will provide an overview of flexible pavements and the types of deterioration. This will be followed by a contribution to the understanding of repair and/or reinforcement techniques for flexible pavements and dimensioning methods using Alize 1.5 software, with the use of real case studies. The aim of the work is to improve the bearing capacity of the pavement structure in service and in extreme cases, taking into account the repair technique adopted.

Key words: Pavement, deterioration, reinforcement, repair, analysis, Alizé, bearing capacity.

Remerciements

Nous remercions en premier et avant tout, le Bon Dieu "ALLAH", pour nous avoir donné le courage et la patience d'accomplir ce travail ;

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à notre promoteur le Dr. Mouloud ABDESSEMED, Enseignants Chercheurs, à l'Université de Blida 1, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils ;

Nous aimerons gratifier les efforts de notre co-promoteur Dr. Nouredine OUADAH, ainsi qu'à toute l'équipe du Cttp surtout Mr. Guermache Lamine et Mr. Bounoua, pour l'accueil qui nous a été réservé de leur part et pour l'aide précieuse reçue.

Nous remercions aussi les membres de jury qui nous font l'honneur d'avoir acceptés, de lire et examinés ce modeste travail.

Nous présentons tous nos remerciements, pour l'ensemble des enseignants et enseignantes, du département de Génie Civil/ Université de Blida 1, pour leur accompagnement et leur formation tout le long de notre cursus universitaire.

Dédicaces

Je dédie cet événement marquant de ma vie à ma famille, qui m'a doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

Particulièrement ma mère et mon père, Qui n'ont jamais cessé de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

Bouloubia Iyes

Dédicaces

Avec Fierté et Honneur de les chérir au-dessus de mon devoir ; et de dédier le fruit de cet Humble effort a ceux qui ont illuminé mon chemin, A « maman » qui l'âme a été nourrie par sa générosité, à ma profonde gratitude pour l'éducation qu'il m'a prodigué. A « papa » celui qui a parcouru les chemins de la vie avec Respect et qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, Merci mes parents.

A mes chers frères « AHMED » et « HICHEM » et mes sœurs « RIHEM », « RIHEB » et « IMEN »

A mon cher mari et a toute ma belle famille et mes proches; je vous promets que je n'oublierai jamais le soutien que j'ai reçu de vous.

A mon binôme celui avec qui le travail a été agréable durant toute l'année !

Et Enfin je remercie tous ceux qui m'ont aidée de près ou de loin.

Kessi Roufida

TABLE DE MATIERES

ملخص	i
Résumé	ii
Abstract.....	ii
Remerciements	iii
Dédicaces.....	iv
TABLE DE MATIERES	vi
LISTES DES FIGURES	xv
LISTE DES TABLEAUX	xii
LISTES DES SYMBOLES.....	xiii
Introduction générale	1

CHAPITRE I : CHAUSSÉS SOUPLES – DEGRADATIONS ET DIAGNOSTIC

I.1 Introduction :.....	4
I.2 Les chaussées souples et leurs applications :	4
I.2.1 Les chaussées souples:.....	4
I.2.2 Comportement d'une chaussée souple:.....	5
I.2.3 Choix du type de chaussée :	6
I.3 Dégradation des chaussées souples :	6
I.3.1 La famille des Fissurations :	6
I.3.1.1 Les fissures transversales:.....	6
I.3.1.2 Les fissures longitudinales:.....	7
I.3.1.3 Faïençage à mailles:	8
I.3.1.4 Épaufrure:	8
I.3.2 La famille des déformations :	9
I.3.2.1 l'orniérage:.....	9
I.3.2.2 L'affaissement:	10
I.3.2.3 La Flache.....	10
I.3.2.4 Les Bourrelets	11
I.3.2.5 Tôle ondulée	12
I.3.3 La famille des arrachements :	12

I.3.3.1 Désenrobage.....	12
I.3.3.2 Pelade	13
I.3.3.3 Nid-de-poule	13
I.3.3.4 Plumage.....	14
I.3.3.5 Peignage	14
I.4 Diagnostic des dégradations des chaussées souples :	15
I.4.1 Auscultation visuelle:.....	15
I.4.2 Auscultation par mesure de déflexion:.....	15
I.4.3 Auscultation par le GERPHO:	16
I.4.4 Auscultation par sondage:.....	16
I.5 Techniques de réparations :	16
I.5.1 Entretien courants:.....	16
I.5.1.1 Purge:	16
I.5.1.2 Bouchage de nids de poule:	17
I.5.1.3 Imperméabilisation de surface:	17
I.5.1.4 Scellement des fissures:	17
I.5.1.6 Application des nappes géo-synthétiques:	18
I.5.2 L'entretien périodique ou gros entretien:.....	19
I.5.2.1 Reprofilage:.....	19
I.5.2.2 Fraisage- resurfaçage :	20
I.5.2.3 Rechargement:	20
I.5.2.4 Renforcement:.....	20
Conclusion :	20
 CHAPITRE II : METHODES D'EVALUATION ET APPLICATION GEOSYNTHTIQUE	
II.1 Introduction :	22
II.2 Méthodes de calcul des chaussées réparées :	22
II.2.1 Les méthodes empiriques :	22
II.2.1.1 La méthode L.C.P.C (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) :.....	22

II.2.1.2 Méthode américaine de l'AASHO (Américain Association of state highway officiels) :	23
II.2.1.3 Méthode de CBR (California Bearing Ration) :	23
II.2.2 Les méthodes théoriques ou rationnelles :	24
II.2.2.1. Modèle de Boussinesq :	24
II.2.2.2. Modèle bicouche de Westergaard :	25
II.2.2.3. Modèle bicouche de Hogg :	25
II.2.2.4. Modèle de Burmister (1943) :	26
II.3 Évaluation de la capacité portante :	26
II.3.1 L'eau et la chaussé :	27
II.3.1.1 Infiltration par le haut :	27
II.3.1.2 Infiltration et capillarité latérale :	27
II.3.1.3 Capillarite à partir de la nappe :	27
II.3.2 Comment éviter l'infiltration de l'eau dans la Chaussée :	27
II.3.2.1 Assainissement routier :	28
II.3.2.2 Le drainage :	28
II.3.3 Étude géotechnique :	30
II.3.3.1 Le compactage :	30
II.4 Méthodes de calcul des chaussées :	31
II.4.1 Méthode des éléments finis :	31
II.4.1.1 Principes de la méthode des éléments finis :	31
II.4.2 Calcul par logiciel ALIZE 1.5 :	32
II.4.2.1 Principe :	32
II.4.2.2 Le principe de programme :	32
II.4.3 Méthode des déformations finies :	33
II.4.3.1 Définition :	33
II.4.3.2 Principes de la méthode des déformations Finies :	33
II.5 Application et insertion des géo-synthétiques :	34
II.5.1 Définition de la géo-synthétique :	34

II.5.2 Principaux types des géo-synthétiques :	34
II.5.2.1 Les Géotextiles :	34
II.5.2.1.1. Géotextile non tissé.....	35
II.5.2.1.2. Géotextile tissé.....	35
II.5.2.1.3. Géotextile tricoté.....	36
II.5.2.1.4. Géotextile tube (géo-tuyaux).....	36
II.5.2.2. Géogrille :	36
II.5.2.2.1. Géogrille uni-axiale.....	38
II.5.2.2.2. Géogrille bi-axiale.....	38.
II.5.2.3 Géo-filet :	37
II.5.2.4 Géo-composite :	38
II.5.2.5 Géomembranes :	38
II.5.2.6 Géo-synthétiques benthoniques :	39
II.5.3 Les principales fonctions des géo-synthétiques :	39
II.5.3.1 La séparation (ou anticontamination) :	39
II.5.3.2 La filtration :	40
II.5.3.3 Le drainage :	40
II.5.3.4 Le renforcement :	40
II.5.3.5 L'Étanchéité :	40
II.5.3.6 La lutte contre l'érosion des surfaces :	40
conclusion.....	41

CHAPITRE III : Étude Géotechniques et contrôle

III.1 Préambule:.....	43
III.2. Les moyens de reconnaissance.....	43
III.3. reconnaissance de site.....	44
III.3.1 Le sondage carotté.....	44
III.3.2 Exploitation sur site.....	45
III.4 .essais au laboratoire.....	46
III.4.1. Essais d'identification.....	46

III.4.1.1. Analyse granulométrique.....	46
III.4.1.2. Les limites d'Atterberg	46
III.4.2 Essais physico-chimiques :.....	48
III.4.3 Essais mécaniques :.....	50
III.5. Généralités sur les procédures de contrôle	
III.5.1 LES ETAPES DU CONTRÔLE :.....	54
III.5.1.1. Avant les travaux.....	54.
III.5.1.2. Pendant les travaux.....	55
III.5.1.3. Après les travaux.....	56
Conclusion :	57

CHAPITRE IV : Présentation du cas d'étude

IV.1. Présentation du projet	59
IV.2. Géométrie et Topographie de la route.....	59..
IV.3. Historique et informations sur la plate-forme.....	61
IV.4. Structure du corps de chaussée.....	62
IV.5. Relevé de dégradation.....	63.
IV.6. Auscultation de la RN36.....	66
IV.6.1. Définition.....	66.
IV.6.2 Auscultation par mesure de dégradation.....	66.
IV.6.3. Découpage en zone homogènes.....	67.
IV.6.4 Calcul de la carotte globale représentatif de chaque zone homogène	70
IV.6.5 Schématisation des implantations.....	72

CHAPITRE V : CAS D'ETUDE ET ANALYSE PAR LOGICIEL ALIZE

V.1 Introduction :	75
--------------------------	----

V.2 Principe du programme ALIZE1.5 :	75
V.3 Principe de calcul et introduction de données :	76
V.4 Relevé des données d'auscultation :	76
V.4.1 Auscultation par mesure de dégradation :	76
V.4.2 Généralité sur le trafic :	80
V.4.2.1 Calcul de trafic :	80
V.4.2.2 Le Trafic Poids lourds :	80
V.4.3 Résultats De Comptage Du Trafic :	81
V.5 Auscultation par mesure de déflexion :	84
V.5.1 V.5 Les facteurs qui influent sur la déflexion :	84
V.5.2 Mode opératoire de mesure de la déflexion :	84
V.5.3 Calcul de la Déflexion Mesure par rapport a θ_{eq} :	87
V.6 Détermination du module du sol par calcul inverse :	91
V.7 Déterminations des dommages subis.....	94
V.7.1. Notion de dommage.....	94
V.7.2. Loi de cumul des dommages.....	94
V.8. Modelisation de la structure.....	100
V.8.1. Étapes de modélisation de la structure selon ALIZE.....	100
V.8.2 Introduction des données dans le logiciel et choisir la charge de référence.....	101
V.8.3 Calcul des contraintes et déformations avant et après le renforcement.....	102
V.9 Analyse et commentaire.....	106
Conclusions Générales et Recommandations.....	109
Références bibliographiques.....	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II. 1: Coefficient d'équivalences et des épaisseurs.....	24
Tableau II.2: Organigramme d'étapes caractéristiques d'un programme d'éléments finis.....	32
Tableau III .1 : L'état de sol selon le pourcentage de l'indice de plasticité.....	47
Tableau III .2 : L'état de sol selon le pourcentage de l'indice de consistance.....	48
Tableau III .3 : L'état de sol selon le pourcentage de la teneur en sulfate.....	49
Tableau III .4 : Catégorie de sols selon la valeur au bleu méthylène.....	49
Tableau III .5 : La valeur de la masse volumique sèche.....	50
Tableau III .6 : L'état de sol selon le pourcentage du degré de saturation.....	50
Tableau III .7: comparaison entre essai Proctor normal et modifié.....	51
Tableau III .8 : La classe de sol en fonction de l'indice CBR.....	52
Tableau III .9: spécification de los Angeles.....	53
Tableau III .10 : Spécification de micro Déval.....	54
Tableau IV.1. Géométrie et topographie de la RN36 'aller'	60
Tableau IV.2. Géométrie et topographie de la RN36. 'retour'	61
Tableau IV.3. Informations et chiffres historiques de la RN36.....	62
Tableau IV.4 : Qualité des carottes en zones 1 et 2.....	68
Tableau IV.5 : Qualité des carottes en zones 3 et 4.....	68
Tableau IV.6 : Qualité des carottes en zones 5 et 6.....	69
Tableau IV.7 Résultats de calcul de la carotte représentative (zone 1).....	70
Tableau IV.8 Résultats de calcul de la carotte représentative (zone 2).....	70
Tableau IV.9 Résultats de calcul de la carotte représentative (zone 3).....	71
Tableau IV.10 Résultats de calcul de la carotte représentative (zone 4).....	71

Tableau IV.11 Résultats de calcul de la carotte représentative (zone 5).....	71
Tableau IV.12 Résultats de calcul de la carotte représentative (zone 6).....	71
Tableau V.1.Relevée final et découpage en zones homogènes.....	77
Tableau V.2 :Légende des dégradations.....	80
Tableau V.3 :Classes de trafic TPLi adoptées.....	81
Tableau V.4 :Zones homogènes de déflexion.....	85
Tableau V.5 :Déflexion caractéristique.....	86
Tableau V.6 :Valeur de K (correction déflexion) en fonction du la structure de chaussée.....	88
Tableau V.7a : Résultats de calcul de la Déflexion mesurée en zone 1.....	89
Tableau V.7b : Résultats de calcul de la Déflexion mesurée en zone 2.....	89
Tableau V.7c : Résultats de calcul de la Déflexion mesurée en zone 3.....	90
Tableau V.7d : Résultats de calcul de la Déflexion mesurée en zone 4.....	90
Tableau V.7e : Résultats de calcul de la Déflexion mesurée en zone 5.....	90
Tableau V.7f : Résultats de calcul de la Déflexion mesurée en zone 6.....	91
Tableau V.8 :Modules des matériaux bitumineux en fonction de la qualité de la carotte.....	91
Tableau V.9. Calcule inverse du sol-support de la zone 1.....	92
Tableau V.10 : Résultats du calcul Inverse fournis par le logiciel ALIZE.....	92
Tableau V.11 : .Calcul d'É t à l'aide d'ALIZE pour la zone 1.....	95
Tableau V.12. Introduction des données qui serviront au calcul de NE.....	96
Tableau V.13: les différent scénario et résultats d'endommagement des zones.....	97
Tableau V.14 : Introduction des données de la Zone 1.....	101
Tableau V.15 : Configuration des charges et calcul de la valeur Admissible.....	102

Tableau V.16 : .Calcul des contraintes et déformations avant et après le renforcement.....103

Tableau V.17 : Résultats des calculs de renforcement de toutes les zones homogènes.....103

LISTES DES FIGURES

Figure I.1: Coupe transversal d'une chaussée souple5

Figure I.2: Comportement mécanique des chaussées souples.....6

Figure I.3: Fissure transversale au niveau d'une chaussée.....7

Figure I.4: Fissure longitudinale dans une chaussée.....	7
Figure I.5: Faiençage à mailles larges.....	8
Figure I.6: Faiençage a mailles fines.....	8
Figure I.7: D'épaufrure dans une chaussée.....	8
Figure I.8: Le phénomène d'orniérage sur un tronçon d'autoroute.....	9
Figure I. 9: Affaissement apparent sur une chaussée.....	10
Figure I. 10: Flache sous forme de tassement.....	11
Figure I. 11: Exemple d'un gonflement d'une chaussée.....	11
Figure I.12: Tôle ondulée apparente.....	12
Figure I. 13: Désenrobage sur chaussée.....	12
Figure I.14: Pelade.....	13
Figure I.15: Nid de poule.....	13
Figure I.16 : Arrachement sus forme de plumage.....	14
Figure I.17 : Les déflectomètres pour contrôle.....	15
Figure I.18: Scellement de fissures.....	18
Figure I.19: Application des nappes géo-synthétiques.....	19
Figure II. 1: Diffusion des contraintes selon Boussinesq.....	25
Figure II. 2: Diffusion des contraintes selon Westergaar.....	25
Figure II. 3: Diffusion des contraintes selon Hogg.....	26
Figure II. 4: Diffusion des contraintes selon Burmister.....	26
Figure II. 5: Récupération et évacuation de l'eau dans une chaussée.....	29
Figure II. 6 : Géotextile non tissé	35
Figure II. 7 : Géotextile tissé.....	36
Figure II.8 : Géotextile tricoté.....	36
Figure II.9 : Forme et mise en œuvre des géo-tuyaux.....	37
Figure II.10 :Structure et mise en place de la géo-grille.....	37
Figure II.11 : Modèle et mise en place du géo-filet.....	38
Figure II.12 : La structure d'un géo-composite.....	39

Figure II.13 :Géomembrane –forme et mise en place.....	39
Figure II.14 : Géo-synthétique benthonique.....	40
Figure III.1 :Reconnaissance du sol pour assise routière.....	44
Figure III.2 : Sondage carotté au droit d'un chaussée	45
Figure III.3 Vue de foreuse géotechnique au niveau du site.....	45
Figure III.4 Organigramme pour phases et la procédure d'identification.....	46
Figure III.5 Illustratif des limites d'Atterberg.....	47
Figure III.6 schématisation pour l'essai Proctor.....	51
Figure III .7 : l'essai C.B.R.....	52
Figure III .8: l'essai los Angeles	53
Figure III.9: Organigramme de l'étude par le CTTP.....	57
Figure IV.1: Carte de situation de projet.....	59.
Figure IV.2 Structure de la chaussée RN36	63
Figure IV.3. Vue du sondage effectué	63
Figure IV.4 Faiençage à mailles fines avec affaissement.....	64
Figure IV.5 : Faiençages généralisés et formation de bourrelet.....	64
Figure IV.6 : Fissure longitudinale apparente sur la rive droite.....	64
Figure IV.7 : Faiençages multiples sur la voie de droite.....	65
Figure IV.8 Faiençage généralisé sur la voie de droite.....	65
Figure IV.9 : Faiençage localisé accompagné par des arrachements.....	66
Figure IV.10 : Implantation des carottes dans la zone homogène global.....	72
Figure IV.11 : Découpage en zone homogène après implantation des carottes.....	72
Figure IV.12 : Découpage en zone homogènes globales.....	73
FigureV.1 : Découpage en zone homogène en fonction du trafic.....	81
Figure V.2 :Graphe représentatifs de la déflexion obtenu.....	85
Figure V.3 :Zone homogène globale.....	87

Figure V.4 :Valeur de NE.....	96
Figure V.5:Aperçu global sur la modalisation propre du type de la structure.....	100

LISTES DES SYMBOLES

Bb : béton bitumineux

Gb : Grave bitumineux

Gc : Grave ciment

Gnt : Grave non traité

MDF : Methode des deformations finis

MEF : Methode des elements finis

CBR : california bearing ration

AASHTO : american association of state highway and transportation officials

LCPC : laboratoire central des ponts et chaussees

FMF : faiencage a maille fines

FML : faiencage a maille larges

AFF : affaissement

FL : fissure longitudinal

FT : fissure transversal

OPR : Ornierage a petit rayon

TAS : tassement

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

En Algérie, le secteur des transports des transports et en particulier le terrestres par son nombre de plates formes des routes contribue considérablement dans le développement économique et social a travers l'ensemble de ces projets.

L'Algérie dispose d'un réseau routier de 128000 KM est le plus grand d'Afrique après l'Afrique du sud (7000KM de routes nationales en double et 2317,5 KM d'autoroutes).

Démarrant de la, la politique du pays, en l'occurrence celle du secteur des travaux publics s'attèle essentiellement a la préservation de ce patrimoine et le maintien du bon service de ces infrastructures notamment par l'introduction de nouveau produits et procédés innovantes visant ainsi un meilleur rendement.

Se basant sur l'essor des Ge synthétique quant a leur utilisation dans plusieurs pays d'Europe et d'Amérique et le retour satisfaisant des résultats, le secteur des travaux publics, représente par la direction des infrastructures routières a procède à l'utilisation de ces techniques au niveau de ses routes, pour répondre a des gènes techniques, les plus connues celles des remontées de fissures. Ces phénomènes de fatigue et de remontée de fissures au travers de la couche de roulement sont des dommages qui n'épargnent, malheureusement, aucun type de structures de chaussées.

L'augmentation du trafic lourd et des charges moyennes par essieu amènent des sollicitations toujours grandissantes qui excèdent souvent la capacité structurale de la chaussée. Ceci engendre une dégradation progressive qui se traduit par l'apparition de fissures de fatigue en piste de roue et d'ornières a grand rayon. D'autre part, le comportement des chaussées est grandement influencé par l'action du gel et du dégel. au dégel plus particulièrement , l'accumulation d'eau au niveau de la fondation et du sol d'infrastructure provoque des réductions importantes de la capacité portante de la chaussées .

Le renforcement par geosynthétique est utilisé dans les structures de chausse pour plusieurs avantages, tels que :

- Augmenter la durée de vie de la chaussée vis-à-vis de la fatigue ;
- Réduire le tassement différentiel et total ;
- Réduire l'orniérage de surface et du support ;
- Réduire l'utilisation matériaux minéraux ;

- Réduire les couts de maintenance ;
- Augmenter la capacité portante ;
- Permettre le pontage des vides.

Les chaussées se présentent comme des structures multicouches mises en œuvre sur un ensemble appelé plate forme support de chaussée constituée du sol terrassé dit sol support surmonté généralement d'une couche de forme. On distingue principalement trois types de chaussées qui sont les chaussées rigides, les chaussées semi-rigides et les chaussées souples.

L'objectif de notre travail est de trouver les réponses aux interrogations suivantes :

Quelle sont les causes les plus probables de ces dégradations ?

Quels moyens faut-il pour prévenir ces dégradations ?

Comment proposer des solutions fiables en cas d'une intervention ?

Afin d'atteindre notre objectif, nous entamons d'abord notre travail par une étude théorique et qui par la suite sera illustrée par un cas pratique.

La partie théorique comporte trois chapitres repartis comme suit :

Dans le premier chapitre, nous étudions d'une manière générale les chaussées souple et leur application, et leurs techniques de réparation, et nous terminons par présenter quelque application en Algérie.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des généralités sur les différents pratiques pour l'évaluation de la capacité portante et les méthodes de calcul des chaussées réparées, Le troisième chapitre expose approche géotechnique et contrôle, pour le quatrième chapitre méthode de calcul par élément finis, le cinquième et dernier chapitre représente un cas d'étude et exemple pratique.

Le manuscrit sera finalisé par une conclusion générale.

CHAPITRE I

CHAUSSES SOUPLES – DEGRADATIONS ET DIAGNOSTIC

CHAUSSES SOUPLES – DEGRADATIONS ET DIAGNOSTIC

I.1 Introduction :

Les chaussées sont les moyens qui assurent la circulation, les déplacements des usagers et le transport des marchandises dans des conditions de sécurité et de confort adapté au type d'itinéraire. Ces chaussées au cours de leur exploitation, sont soumises aux actions de trafic lourd. Ces actions entraînent dans le corps de chaussées des contraintes dans les applications réputées provoquent des désordres visibles à la surface de la chaussée qu'on appelle dégradations.

I.2 Les chaussées souples et leurs applications :

I.2.1 Les chaussées souples:

C'est une structure de chaussée dans laquelle l'ensemble des couches liées qui la constituent sont traitées aux liants hydrocarbonés. La couche de fondation et/ou la couche de base peuvent être constituées de grave non traitée, le dimensionnement de ce type de chaussée est basé sur des hypothèses d'endommagement.

Le schéma classique d'une structure de chaussées souple peut être présent comme suit :

- Une couche de forme : employée pour homogénéiser et améliorer les caractéristiques du sol support.
- Les couches d'assise (couche de fondation et couche de base) : , par la mise en œuvre de matériaux appropriés, la résistance mécanique pour supporter les charges verticales induites par le trafic et la répartition des efforts sur le sol support.
- Les couches de surface : ont pour rôle de résister au fluage et au poinçonnement, au vieillissement dû aux agents atmosphériques et aux gradients thermiques et à l'agressivité des hydrocarbures .
- Les couches de surface comportent : La couche de roulement : en contact avec les pneumatiques, doit permettre d'assurer des caractéristiques d'adhérence conformes aux spécifications aéronautiques.
- La couche de reprofilage :est une couche intermédiaire entre la couche de roulement et la couche de base ou l'ancienne chaussée. Elle n'est pas systématique pour les chaussées aéronautiques, elle est utilisée principalement lors des travaux d'entretien

pour améliorer l'uni ou pour retarder la propagation de fissures des couches inférieures vers la couche de roulement.

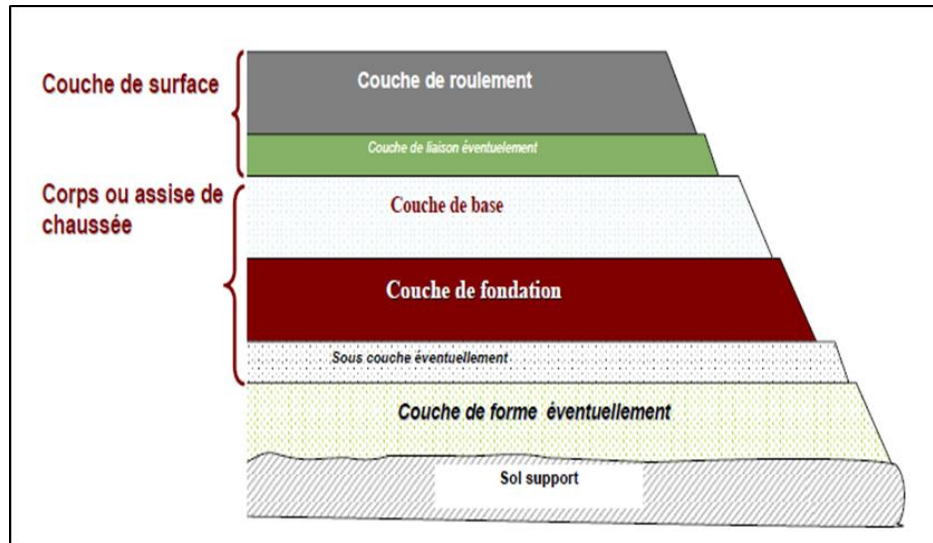


Figure I.1: Coupe transversal d'une chaussée souple [01]

I.2.2 Comportement d'une chaussée souple:

Les contraintes verticales élevées engendrent par leur répétition des déformations plastiques qui se répercutent en déformations permanentes à la surface de la chaussée. La couverture bitumineuse subit à la base des efforts répétés de traction- flexion. L'évolution la plus fréquente des chaussées souples se manifeste d'abord par l'apparition de déformations de type orniéage et affaissements qui détériorent les qualités des profils en travers et en long. Les sollicitations répétées de flexion alternée dans la couverture bitumineuse entraînent une détérioration par fatigue, sous forme de fissures d'abord isolées, puis évoluant peu à peu vers le faïençage.

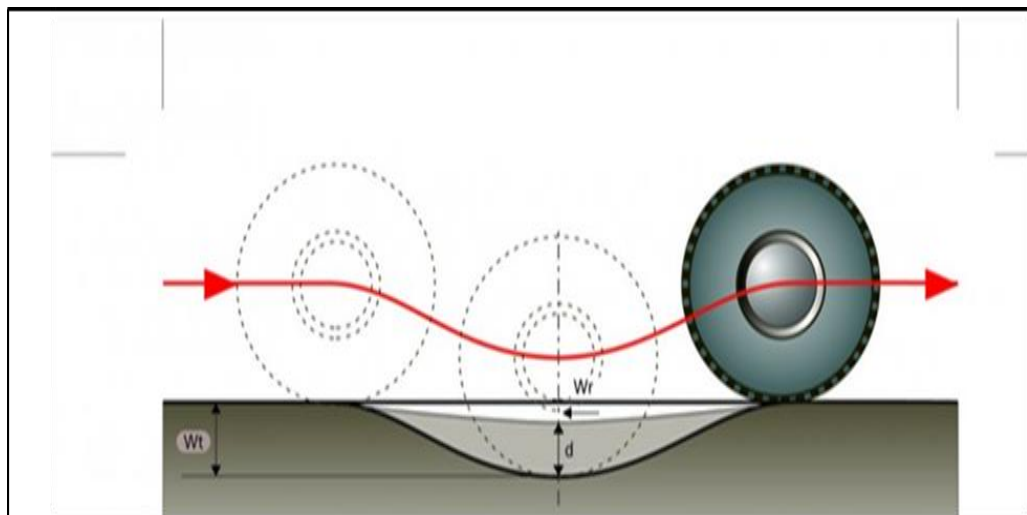


Figure I.2: Comportement mécanique des chaussées souples [01]

I.2.3 Choix du type de chaussée :

Le choix qui en découle se porte en général, vers la solution qui minimise les impacts sur l'environnement et le coût global de l'opération, on privilégie normalement les solutions permettant d'assurer, dès la construction de la route, un service de longue durée n'entraînant qu'un entretien peu fréquent et léger, de manière à satisfaire l'utilisateur. Les chaussées souples sont plus économiques, plus faciles à renforcer et idéales pour le trafic léger : elles peuvent être conçues relativement minces pour les premières années d'exploitation de l'aéroport .

I.3 Dégradation des chaussées souples :

Les dégradations d'une route revêtue en béton bitumineux (BB), sont classées en quatre familles:

- La famille des déformations
- La famille des fissurations
- La famille des arrachements

I.3.1 La famille des Fissurations :

Sont des cassures qui affecte la surface et le corps de chaussée selon différents forme, On peut distinguer, :

I.3.1.1 Les fissures transversales:

Ce sont des lignes de rupture perpendiculaires à l'axe de la chaussée, survenant sur tout ou une partie de la chaussée soit la couche de roulement et de base.



Figure I.3: Fissure transversale au niveau d'une chaussée [01]

Les causes probables :

- Non accrochage de la couche de roulement sur la couche de base.
- Faible épaisseur du corps de chaussée.

I.3.1.2 Les fissures longitudinales:

Les fissures longitudinales ce sont des lignes de rupture parallèles à l'axe de la chaussée et situées dans les bandes des roulements.



Figure I.4: Fissure longitudinale dans une chaussée [01]

Les causes probables :

- Retrait des matériaux de la couche de base ou de fondation.
- Sous dimensionnement des couches inférieures.
- Non accrochage de la couche de roulement sur la couche de base.
- Efforts horizontaux importants (zone de freinage).

I.3.1.3 Faièncage à mailles:

C'est la fissuration à mailles se produisant sur les couches de surface, il existe de types large et fine



Figure I.5: Faièncage à mailles larges



Figure I.6: Faièncage à mailles fines

Les causes probables :

- Contamination du corps de chaussée par de l'argile.
- Mauvais accrochage de la couche de base sur la couche de roulement
- Fatigue du revêtement (vieillissement du liant).
- Sous dimensionnement des couches de chaussées.
- Perméabilité de la couche de base .

I.3.1.4 Épaufure:

C'est une cassure du revêtement en bord de toute chaussée souple.



Figure I.7: Tracés D'épaufure dans une chaussée

Causes Probables:

- Mauvais drainage superficiel.
- Attaque de l'accotement par les eaux de ruissellement créant des vides sous le revêtement.

- une empiétant sur la chaussée due au passage des roues fréquent en rive et sur accotement en sable.

I.3.2 La famille des déformations :

Ce sont des dégradations qui apportent une transformation de la chaussée donnant à la surface de cette dernière une forme différente et rendant la circulation plus difficile et dangereuse. Ces dégradations commencent généralement dans la couche inférieure de la chaussée ensuite la couche de roulement parmi ces déformations, on peut citer :

I.3.2.1 l'orniérage:

Déformation permanente qui se développe sous le passage des roues des véhicules.



Figure I.8: Le phénomène d'orniérage sur un tronçon d'autoroute

Les causes probables :

- Sous dimensionnement des couches inférieures.
- Niveau de la nappe phréatique trop élevé.
- Stabilité insuffisante des enrobés.
- Granularité incorrecte.
- Bitume trop mou (souple) pour la région ou température élevée dans l'enrobée.
- Sur compactage sous l'action d'une circulation lourde canalisée.

I.3.2.2 L'affaissement:

C'est une distorsion du profil généralement localisé près du bord de la chaussée ou près des conduites souterraines.

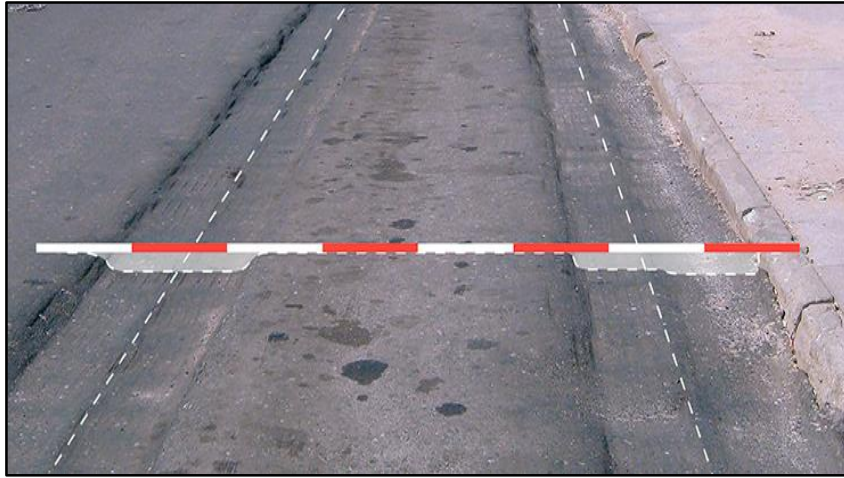


Figure I. 9: Affaissement apparent sur une chaussée

Les causes probables :

- Sous dimensionnement des couches inférieures.
- Chaussée non calée a la rive.
- Tassement des couches inférieures.
- Niveau trop élevé de la nappe phréatique.
- Mauvais drainage superficiel.
- Pollution du corps de chaussée.
- Pénétration de l'eau au corps de la chaussée

I.3.2.3 La Flache: c'est dépression (tassement) de forme arrondie provenant d'un point faible du corps de chaussée.



Figure I. 10: Flache sous forme de tassement

Causes Probables:

- Affaissement localisé provenant d'un point faible du corps de chaussée.
- Pollution du corps de chaussée.
- Drainage inexistant.

I.3.2.4 Les Bourrelets:

C'est un gonflement du revêtement a la surface de chaussée.



Figure I. 11: Exemple d'un gonflement d'une chaussée

Les causes probables:

- Fluage du revêtement.
- Température élevée dans l'enrobé.

I.3.2.5 Tôle ondulée :

C'est des ondulations perpendiculaires à l'axe de la chaussée, elles se développent sous l'effet de la circulation.



Figure I.12: Tôle ondulée apparente

Causes Probables:

- Action mécanique sur le revêtement.
- Couche de base granulaire instable sous le revêtement mince.

I.3.3 La famille des arrachements :

Il s'agit des dégradations qui affectent généralement la couche de roulement. Parmi ces dégradations, on a :

I.3.3.1 Désenrobage:

C'est une érosion et départ du mastic et perte des gros granulats en surface produisant une détérioration progressive du revêtement.



Figure I.13: Désenrobage sur chaussée

Les causes probables :

- Action de l'eau.
- Attaque du liant par l'argile.
- Action mécaniques diverses.
- Mauvaise adhésion des gravillons au film de liant

I.3.3.2 Pelade:

Décollement de la couche de roulement par plaque plus ou moins grandes .



Figure I.14: Pelade

Les causes probables :

- Épaisseur insuffisante de la couche de roulement.
- Compacité insuffisante de la couche de roulement.
- Non accrochage de la couche de roulement sur la couche de base.

I.3.3.3 Nid-de-poule:

C'est une désagrégation localisée du revêtement sur toute son épaisseur formant des trous de forme généralement arrondie, au contour bien défini, de taille et de profondeur variables. Les trous peuvent être comblés par du rapiéçage temporaire.



Figure I.15: Nid de poule

Les causes probables :

- Stade final d'un faïençage ou d'une flache.
- Rupture du liant sous effet mécanique.
- Pollution du corps de chaussée.
- Arrachement des matériaux sous l'effet mécanique.

I.3.3.4 Plumage:

Arrachement progressif des gravillons du revêtement, rendant la chaussée plus glissante et de plus en plus perméable. Il peut être localisé au niveau des traces des roues des véhicules.



Figure I.16 : Arrachement sus forme de plumage

Les Causes Probables:

- Mauvaise adhérence des gravillons au film de liant.
- Mauvais répançage du liant.
- Granulats pollués.
- Sous dosage en liant.

I.3.3.5 Peignage:

Départ des gravillons suivant des bandes Longitudinale.

Les Causes Probables:

- Mauvaise adhérence des gravillons au film de liant.
- Mauvais répançage du liant.
- Granulats pollués.
- Sous dosage en liant.

I.4 Diagnostic des dégradations des chaussées souples :

La description précise des défauts d'une chaussée est incontestablement un des éléments important à prendre en compte pour établir le diagnostic et choisir la technique d'entretien à mettre en œuvre.

I.4.1 Auscultation visuelle:

L'analyse de l'état de dégradation doit être faite sur la base d'une inspection visuelle détaillée qui doit porter sur un relevé systématique du type de chaque dégradation, de son étendue et de sa gravité. La longueur de section de relevé dépendra d'une manière générale de l'homogénéité de l'itinéraire à ausculter. Pour ce faire, le technicien chargé du relevé devra parcourir la section à bord d'un véhicule avec une vitesse très réduite qui lui permettra de noter toutes les dégradations et de s'y arrêter pour effectuer les mesures nécessaires.

I.4.2 Auscultation par mesure de déflexion:

Les déflectomètres à impulsion et à vibration permettent de reproduire l'effet du passage d'essieux sur une chaussée. Des capteurs fournissent les déformations verticales de la surface de chaussée, les déformations enregistrées donnent le bassin de déflexion. La forme et l'amplitude du bassin nous renseignent alors sur la capacité et la condition structurelle de la chaussée.



Figure I.17 : Les déflectomètres pour contrôle [02]

I.4.3 Auscultation par le GERPHO:

Cet appareil sert à relever les dégradations sous la forme de photos. C'est un appareil intéressant pour les sections de routes très dégradées avec un trafic très important, ce qui rend les relevés visuels difficiles et dangereux. Malheureusement l'analyse des images qui se fait manuellement ou plutôt visuellement est longue et difficile.

I.4.4 Auscultation par sondage:

L'Auscultation par sondages du corps de chaussée permet :

- De déterminer l'épaisseur des différentes couches et la nature des matériaux rencontrés,
- De connaître les propriétés géotechniques de ces matériaux
- De déterminer la nature et les caractéristiques des sols supports.

I.5 Techniques de réparations :

On considère habituellement deux types d'interventions liées à l'importance des dégradations :

- L'entretien courant.
- L'entretien périodique ou gros entretien.

I.5.1 Entretien courants:

Il s'agit d'intervenir souvent en amont pour limiter l'aggravation des désordres. Ce type d'entretien est traité en règle générale par les gestionnaires de la voirie, ou sous-traité à des entreprises privées.

I.5.1.1 Purge:

Elle consiste à substituer tout ou partie de matériaux du corps de chaussée par des matériaux de meilleure qualité. On distingue la purge superficielle qui consiste à remplacer une partie des matériaux, et la purge profonde où tous les matériaux de l'assise sont remplacés. C'est une opération onéreuse qui nécessite une haute qualité de réalisation pour assurer sa durabilité.

Elle débute par un repérage, puis par un découpage franc de bords à l'aide de scie ou fraiseuse. Après avoir éliminé les matériaux pollués, viennent les phases de fraisage de la fouille, de compactage, puis le remplissage de fond de fouille. Enfin on procède à un compactage intense et à une imperméabilisation des bords.

- Cependant les purges présentent plusieurs inconvénients, notamment dans le cas de chaussées faibles. La faiblesse de la chaussée est souvent généralisée et non localisée. Alors, limiter les traitements structurels aux zones les plus faibles en apparence ne

constitue pas une solution à moyen terme. Bientôt après les premières purges, apparaîtront de nouvelles zones dégradées.

- Les purges accentuent l'hétérogénéité longitudinale de la chaussée. Purger de façon conséquente et discontinue des zones de quelques dizaines de m² se traduit par la création de points faibles aux limites entre zones purgées et non purgées, lesquels risquent de s'amplifier sous l'effet des charges dynamiques.
- Retirer localement des matériaux peut induire des perturbations dans l'état hydrique de la chaussée et amener à la création de zones très humides au sein de celle-ci, lesquelles, connues sous le nom de « baignoires », sont très préjudiciables.

I.5.1.2 Bouchage de nids de poule:

Les nids de poule sont l'état ultime des dégradations d'une chaussée. Ces arrachements plus ou moins profonds peuvent parfois donner l'impression d'apparaître sur la chaussée quasi spontanément, mais l'évolution peut être très rapide par temps de pluie et, ou, par fort trafic, ils ne peuvent apparaître que sur une chaussée présentant un état de surface et structurel quelque peu insuffisant. De part leur conséquence sur la circulation, les nids de poule nécessitent des interventions d'urgence. Celles-ci consistent à rendre la chaussée son état initial en rebouchant les nids de poule dès la constatation de leur apparition. Pour ce faire on procède par découpage (bords verticaux), élimination des parties non liées par décapage et nettoyage puis viennent la phase de d'accrochage (épandage d'émulsion), remplissage, compactage intense, et enfin traitement de surface.

I.5.1.3 Imperméabilisation de surface:

Elle est destinée à éviter que l'eau ne pénètre à l'intérieur du corps de chaussée et à empêcher le départ des matériaux de surfaces. La pénétration d'eau peut être due aux fissures longitudinales de constructions ou transversales de retrait ou encore de faïençage de fatigue, aux arrachements par pelade ou à la porosité de revêtement par usure (vieillesse du liant).

Cette opération consiste à réaliser un enduit superficiel d'usure localisé le plus souvent à l'aide de l'émulsion de bitume et du gravillonnage.

I.5.1.4 Scellement des fissures:

Ce sont des techniques d'obturation des fissures qui visent à les rendre étanches. Il existe trois techniques.

- La pénétration: elle consiste à introduire par gravité un liant fluide dans le corps de chaussée.
- Le garnissage: cette technique permet de couler un produit d'étanchéité

- Le pontage : il consiste à épandre un mastic en faible épaisseur à cheval sur la fissure.



Figure I.18: Scellement de fissures[3]

I.5.1.5 Traitement de ressuage:

Cette technique consiste à supprimer les effets néfastes liés à la présence de l'excès de bitume à la surface de la chaussée, en réincorporant des gravillons dans l'excès de liant en utilisant la méthode de brûlage qui consiste à réduire le liant en excès par choc thermique à la lance (chalumeau à gaz), puis à épandre des gravillons et les enchâsser par cylindrage.

I.5.1.6 Application des nappes géo-synthétiques:

L'application des géo-synthétiques sont parmi les solutions idéales pour optimiser la rénovation des chaussées. Sur les projets d'autoroute de grande envergure ou les interventions de réparation du réseau secondaire, la construction de pistes d'aéroport ou d'un parc de stockage, les géo-synthétiques améliorent le nouveau revêtement tout en offrant un ratio coût-performance idéal. Depuis plus de 30 ans, on utilise des géo-synthétiques imprégnés de bitume pour lutter contre les remontées de fissures et pour assurer l'entretien des chaussées en asphalte et en béton. Cette méthode offre un moyen économique pour allonger significativement les intervalles d'entretien et la durée de vie du réseau routier.



Figure I.19: Application des nappes géo-synthétiques

I.5.2 L'entretien périodique ou gros entretien:

Dans cette rubrique, on regroupe généralement des travaux nécessitant des moyens particuliers et disponibles dans les entreprises routières

I.5.2.1 Reprofilage:

Il s'agit de redonner à la chaussée un profil en travers correct afin d'évacuer l'eau et un profil en long régulier pour sécuriser et améliorer le confort des usagers, généralement par apport des matériaux.

Il nécessite tout d'abord un repérage, puis un accrochage. Il est préférable d'utiliser le béton bitumineux chaud. Le choix de matériaux dépend de l'épaisseur à reprofiler et du trafic. Par la suite viennent les phases de répandage et compactage. Ces dernières sont suivies par une étape de vérification de la pente (2 à 5% maximum).

I.5.2.2 Fraisage- resurfaçage :

C'est l'enlèvement d'une épaisseur variable du revêtement existant par fraisage à froid et mise en place d'un nouveau revêtement.

Cette méthode consiste à enlever en tout ou en partie, selon les types des dégradations présentes, la couche d'enrobé bitumineux existante et à la remplacer par une nouvelle couche d'enrobé bitumineux afin de restaurer ou d'améliorer la surface de roulement de la chaussée. L'opération permet aussi de corriger le profil transversal et longitudinal en effectuant des corrections sur la chaussée fraisée avant de poser la nouvelle couche de surface. Les matériaux utilisés sont les bétons bitumineux, neuf ou recyclé, choisi selon les caractéristiques du projet.

I.5.2.3 Rechargement:

Le rechargement consiste à ajouter à une chaussée existante une nouvelle couche d'enrobé bitumineux communément appelé rechargement simple, ou plusieurs couches d'enrobé bitumineux appelé rechargement lourd.

I.5.2.4 Renforcement:

Il consiste à l'application des techniques d'entretien ou de constructions appropriées pour rénover une chaussée dégradée et pour éventuellement améliorer certains de ses caractéristiques fonctionnelles. Il s'agit d'une opération onéreuse qui demande un haut niveau de préparation, une base de données importante et les moyens matériels non négligeables .

Conclusion :

Le diagnostic et la corroboration des données permettent de déterminer les causes les plus probables des dégradations dans les chaussées souples. Ces dégradations sont principalement causées par :

- Le trafic (efforts verticaux et efforts tangentiels, dus aux véhicules poids lourds)
- L'influence des conditions climatiques (action de l'eau, effet de la température)
- Les malfaçons (sous-dimensionnement par rapport au trafic et sol support, la répartition inadéquate du liant, la contamination des granulats, l'insuffisance de compactage).

CHAPTER II

Méthodes d'évaluation et application geosynthetique

METHODES D'EVALUATION ET APPLICATION GEOSYNTHETIQUE

II.1 Introduction :

Le sol ne peut seul supporter un trafic routier sans subir d'importantes déformations. C'est pourquoi il est surmonté d'un corps de chaussée dont le rôle principal est de rendre admissibles les contraintes au niveau du sol. Avec le temps, même ces chaussées sont exposées à des fissures et à des dommages, nous devons donc les réparer, assurer la sécurité et le confort (adhérence des véhicules, limitation du bruit de roulement) dans les meilleures conditions économiques (durabilité de la structure pour en limiter les coûts d'entretien et de réfection).

Ainsi revêtement et corps de chaussée constituent un ensemble mécanique complexe de couches de granulats et de liant dont la teneur, le dosage, les caractéristiques, répondent à une approche fonctionnelle et économique et à une stratégie intégrant coûts d'investissement, d'entretien et niveau de service à l'utilisateur.

II.2 Méthodes de calcul des chaussées réparées :

On distingue deux familles des méthodes :

- Les méthodes empiriques dérivées des études expérimentales sur les performances des chaussées.
- Les méthodes dites « rationnelles » basées sur l'étude théorique du comportement des chaussées.

II.2.1 Les méthodes empiriques :

Les méthodes empiriques de dimensionnement font appel exclusivement à des expériences comparant le comportement à long terme de diverses structures pour différentes conditions climatiques et trafic. Des essais en vraie grandeur apportent également de nombreuses informations nécessaires pour la mise en place des règles empiriques de dimensionnement.

II.2.1.1 La méthode L.C.P.C (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) :

La méthode L.C.P.C est une méthode française de dimensionnement des chaussées, elle est basée sur la détermination du trafic équivalent e (en fonction de la température équivalente T_{eq} , et l'indice CBR (ICBR), à partir de l'abaque L.C.P.C. [8].

II.2.1.2 Méthode américaine de l'AASHTO (Américain Association of state highway and transportation officials) :

C'est une méthode empirique basée sur l'observation du comportement de la chaussée sous trafic (essai AASHTO). Chaque section reçoit l'application d'environ un million des charges roulantes, ce qui permet notamment de savoir : l'état structural de la chaussée et l'évolution dans le temps, l'équivalence entre les différentes couches de matériaux, et aussi l'équivalence entre les différents types de charge par essai.

II.2.1.3 Méthode de CBR (California Bearing Ration) :

C'est une méthode empirique qui se base sur un essai de poinçonnement sur un échantillon du sol support, elle permet de déterminer l'épaisseur du corps de chaussée à mettre en œuvre par la formule suivante [9].

$$e = (100 + \sqrt{p} * (75 + 50 \log \left[\frac{N}{10} \right])) / (I_{\text{CBR}} + 5) \quad \dots\dots\dots(\text{II.1})$$

Avec :

e : épaisseur équivalente ;

ICBR : indice CBR (sol support) ;

P : charge par roue égale à 6.5t (essieu 13t) ;

Log : logarithme décimale ;

N : désigne le nombre journalier de poids lourd à vide à l'année horizon.

$$N = (\text{TJMA})^n \times \text{PL} \% \quad (\text{II.2})$$

Avec :

TJMA : trafics prévus pour une durée de vie de 20ans ;

n : année de prévision ;

PL % : Pourcentage des poids lourd.

L'épaisseur équivalente :

C'est un paramètre qui tient compte des qualités mécaniques différentes des couches.

L'épaisseur équivalente est donnée par la relation suivante :

$$e = \sum e_{réelle} \times a = a_1 \times e_1 + a_2 \times e_2 + a_3 \times e_3 \quad (\text{II.3})$$

a_1, a_2, a_3 : coefficients d'équivalence des matériaux des couches de la chaussée ;

e_1, e_2, e_3 : épaisseurs réelles des couches.

Les épaisseurs et les coefficients d'équivalence utilisés généralement sont regroupés dans le tableau ci-contre :

Tableau II. 2: Coefficient d'équivalences et des épaisseurs [9]

Materiaux	Coefficient d'équivalences (a)	Épaisseurs des couches (a) cm
Beton bitumineux (BB)	2	6-8
Grave bitumeux (GB)	1,5	10-20
Grave ciment (GC)	1,5	15-25
T.V.O	0,75	25 et plus
Grave non traité (GNT)	1	-

II.2.2 Les méthodes théoriques ou rationnelles :

Cette approche propose un modèle mathématique représentant le mieux possible le comportement de la structure de chaussée. On a dans cette approche, le modèle de boussinesq, bicouche de hoog, westergraad et le modèle multicouche de burmister.

II.2.2.1. Modèle de Boussinesq :

Créé en 1885 est utilisé initialement en mécanique des sols, ce modèle s'appuie sur un massif élastique semi-infini soumis à l'action d'une charge statique ponctuelle.

La figure c-bas référencée figure II.1, illustre le principe du modèle de Boussinesq.

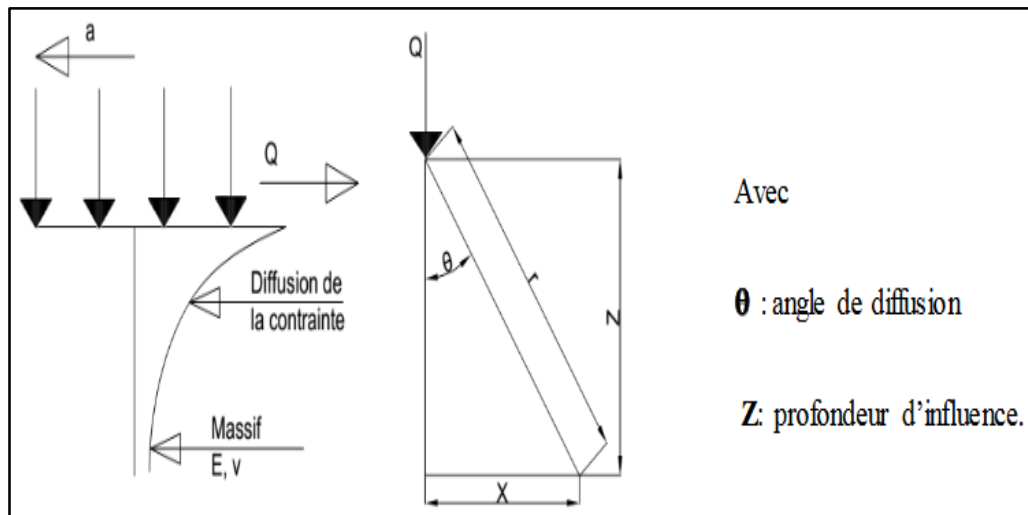


Figure II. 5: Diffusion des contraintes selon Boussinesq [8]

II.2.2.2. Modèle bicouche de Westergaard :

Ce modèle a été créé en 1926 et donne les contraintes et déformations d'un système constitué d'une plaque reposant sur un sol assimilé à un ensemble de ressorts verticaux sans connexions horizontales. Modèle trop théorique et donne une surestimation des contraintes.

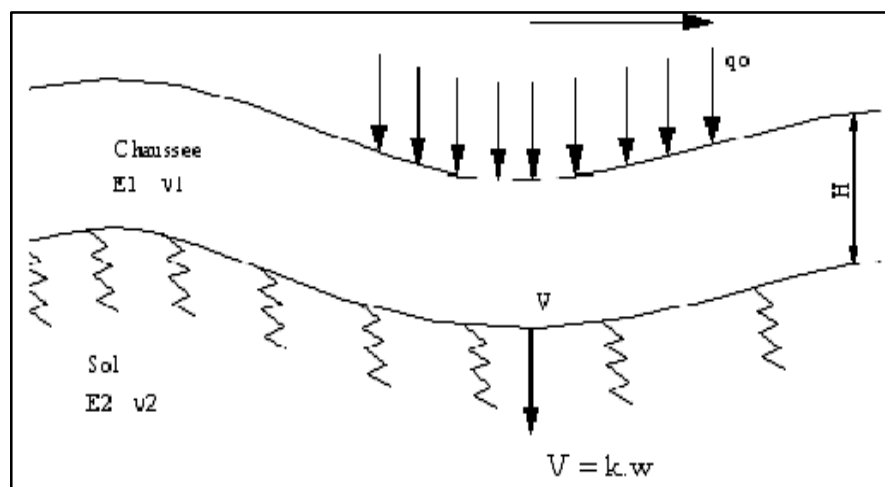


Figure II. 6: Diffusion des contraintes selon Westergaard [13]

II.2.2.3. Modèle bicouche de Hogg :

En 1938, Hogg a mis au point ce modèle, qui donne les contraintes et déformations d'une plaque reposant sur un massif élastique semi-indéfini de type Boussinesq.

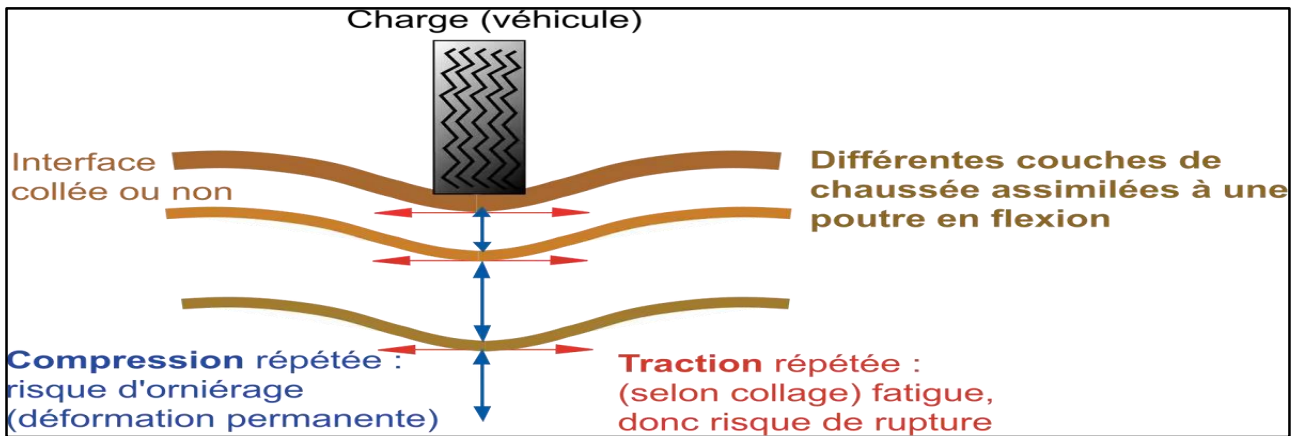


Figure II. 7: Diffusion des contraintes selon Hogg [8]

II.2.2.4. Modèle de Burmister (1943) :

Il fallut attendre près de 20 ans avant de disposer d'un modèle pour les chaussées souples. C'est en 1943 que Burmister, professeur à l'Université de New-York, publia sa solution du multicouche élastique. Il aborde et traite le problème général d'une structure à n couches reposant sur un massif élastique semi-indéfini.

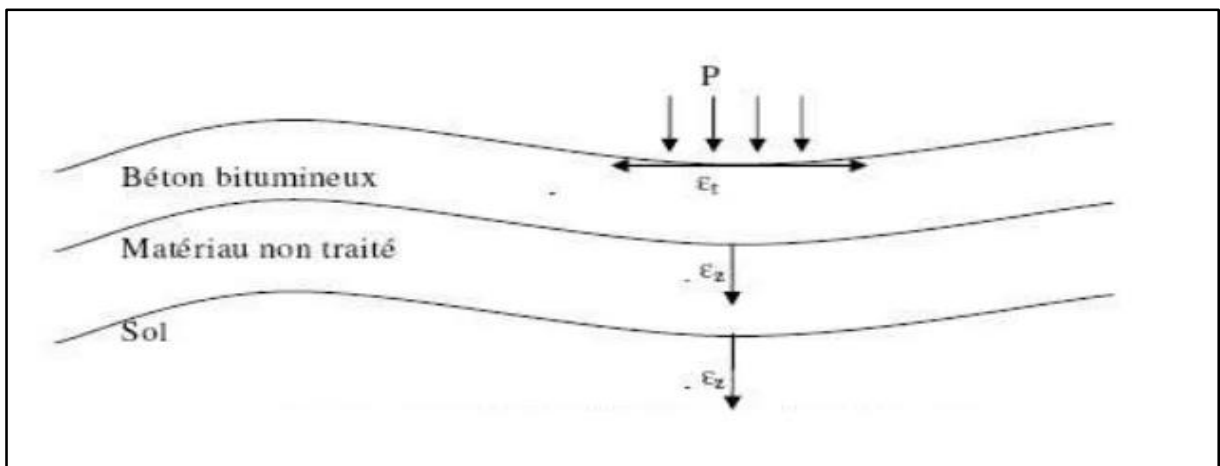


Figure II. 8: Diffusion des contraintes selon Burmister [13]

II.3 Évaluation de la capacité portante :

Une chaussée se présente comme une structure composite réalisée par empilements successifs de couches de matériaux granulaire, pour que ces derniers restent en bon état et ne succombent pas aux fissures, il faut traiter le sol sur lequel ils sont posés et évaluer leur capacité portante.

L'un des facteurs les plus importants de la diminution de la capacité portante est la présence d'eau de surface ou souterraine.

II.3.1 L'eau et la chaussée :

La conduite à tenir est de diminuer l'arrivée d'eau et de faciliter son départ. D'où la nécessité de connaître par quelle voie elle pénètre.

II.3.1.1 Infiltration par le haut :

C'est l'origine la plus fréquente et souvent la plus importante des venues d'eaux. Bien que visiblement les revêtements semblent être imperméables, leur étanchéité n'est approximative. Il existe presque partout des petites ou grosses fissures laissant pénétrer d'eau.

II.3.1.2 Infiltration et capillarité latérale :

Il arrive souvent que les écoulements des fossés ne soient pas convenablement assurés ou ils sont momentanément obstrués en présence d'une accumulation de la neige par exemple. L'eau qui stagne dans le fossé peut facilement s'infiltrer jusqu'à la chaussée ou juste sous elle. En d'autre terme, si le fossé ne joue pas son rôle d'évacuateur et si au contraire de l'eau y séjourne le drainage fonctionne à l'envers

II.3.1.3 Capillarité à partir de la nappe :

Un sol qui est suffisamment fin comme le limon ou l'argile possède de fortes propriétés capillaires, qui font remonter l'eau de la nappe phréatique. Cette ascension est créée par l'existence de la tension inter faciale. La hauteur totale d'ascension capillaire dépend de la granulométrie et de l'indice des vides. Pour palier à ces problèmes il est nécessaire de réaliser une sous couche anticapillaires drainante très perméables pour couper les remontés capillaires et évacuer les eaux qui proviennent de ces remontés ou d'infiltration de haut vers le bas.

II.3.2 Comment éviter l'infiltration de l'eau dans la Chaussée :

Comme nous l'avons vu dans le premier chapitre, l'eau est l'une des principales causes des dégradations des chaussées voire le premier « ennemie » de la chaussée. C'est pourquoi toutes les dispositions doivent être prises afin de minimiser le plus possible son infiltration. Pour ce faire :

- On évite par exemple d'implanter une chaussée au niveau du sol si les écoulements sont difficiles et le terrain humide ou proche d'une nappe.
- Imperméabiliser la surface de la chaussée : les chaussées souples comportent à leur surface, soit un enduit superficiel, soit une couche de surface plus ou moins épaisses en enrobés. L'enduit superficiel utilisé sur des chaussées les moins circulées, s'il repose sur des matériaux peu déformables et s'il est assez fréquemment renouvelé (au moins

tous les sept ans), est en générale imperméable. Mais le vieillissement de liant, le décrochage de certains gravillons le rendent cependant peu à peu poreux, d'où la nécessité d'un renouvellement. Pour des chaussées plus circulées on utilise souvent en technique de couche de surface des enrobés à chaud. Ces matériaux sont considérés comme étanches quand la teneur en vide ne dépasse pas 5 à 6% soit une compacité de l'ordre de 95%.

- Imperméabiliser les accotements : la pente transversale de l'accotement est en générale de 4% pour faciliter l'écoulement des eaux pluviales

II.3.2.1 Assainissement routier :

Tout ouvrage routier comporte un réseau d'assainissement dont le rôle est de récupérer et d'évacuer toutes les eaux de ruissellement. Ce réseau peut être soit du simple fossé voire des installations très sophistiquées susceptibles de traiter des eaux provenant de la plate forme ou de récupérer une éventuelle pollution accidentelle. Cette action est d'une importance primordiale pour les projets routiers dans la mesure où elle permet de préserver la chaussée contre l'effet nocif des eaux, ce qui a pour effet de retarder sa dégradation sans être toujours obligé de recourir à un renforcement structurel .

II.3.2.2 Le drainage :

L'objectif du drainage des chaussées est de permettre le captage et l'évacuation de l'eau qui s'infiltré dans la structure de la chaussée et dans certains cas empêcher l'infiltration de l'eau de ruissellement par les côtés. Deux types de drainage de chaussée sont généralement employés soit le drainage vertical et le drainage horizontal. Le premier consiste en l'installation, en bordure de chaussée, d'un dispositif drainant. Le deuxième consiste en l'installation d'un dispositif drainant sur l'ensemble de la surface de l'infrastructure. Ce dernier est généralement constitué d'un géo synthétique ou autres matériaux drainants Ces deux méthodes sont normalement employées pour l'amélioration du drainage de la fondation et donc pour la réduction de l'affaiblissement de la capacité structurale de la fondation et de la portance de l'infrastructure. Il est important d'analyser de façon globale la problématique de drainage avant de spécifier la technique de drainage applicable. Cette étape est essentielle afin que le système de drainage soit fonctionnel et bénéfique au comportement de la chaussée. On doit prendre les précautions applicables pour éviter d'endommager le système de drainage lors d'excavations ultérieures dans la chaussée.

A. Phases principales de la réalisation :

Les phases d'exécution du drainage dans une chaussée sont :

Drainage vertical :

- excavation de la tranchée ;
- Pose du dispositif drainant dans la tranchée ou sur les parois de l'excavation ;
- Raccordement du dispositif drainant au système d'évacuation d'eau;
- Mise en place et compactage des matériaux de remblayage de la tranchée ou de reconstruction de la chaussée.

Drainage horizontal :

- Excavation des fondations de la chaussée;
- Nivelage, compactage et travaux connexes à la préparation de la surface exposée;
- Pose de la couche drainante;
- Raccordement de la couche drainante au système d'évacuation d'eau;
- Mise en place et compactage des matériaux de reconstruction de la structure de la chaussée.

B. Essais et contrôles :

Pour le drainage vertical, la nature des matériaux de remblayage, l'alignement du dispositif drainant, le contact avec la paroi et la profondeur de mise en place sont des éléments à contrôler. Pour le drainage horizontal, l'uniformité et la stabilité de la surface exposée sont à contrôler. L'inclinaison minimale et l'uniformité de la pente d'écoulement sont également des éléments primordiaux pour le drainage des chaussées.

La figure ci-dessous illustre le principe de récupération et évacuation de l'eau dans une chaussée.

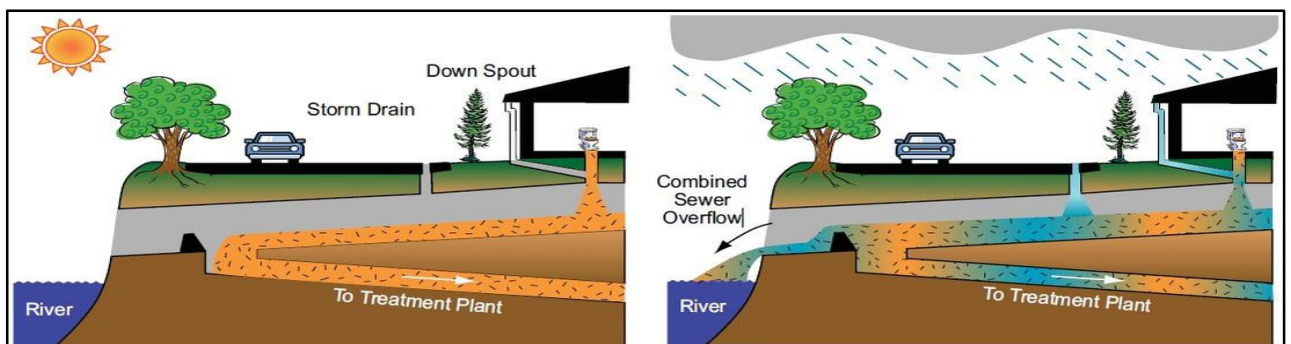


Figure II. 5: Récupération et évacuation de l'eau dans une chaussée

II.3.3 Étude géotechnique :

Dans les domaines de la construction, la capacité de charge et la stabilité d'un empierrement, d'un sol ou d'un revêtement bitumineux, leur imperméabilité et leur aptitude à supporter les charges dépendent de la qualité du compactage auquel le matériau est soumis. C'est pourquoi, le compactage est l'un des principaux facteurs déterminants de l'étude géotechnique dans la réalisation d'une chaussée afin de prévenir les dégradations.

II.3.3.1 Le compactage :

Le compactage se définit comme un procédé permettant d'augmenter la densité et la capacité de charge d'un matériau grâce à l'application de forces extérieures statiques ou dynamiques. Si un compactage est mal exécuté ou impropre, des affaissements ou autres défauts sont à craindre, avec pour conséquence des travaux de rénovation et/ou d'entretien très importants. [10]

A. Objectif de compactage :

Compacter un sol, un remblai, une plate-forme, une couche de forme, un corps de chaussée, un enrobé, c'est réduire le volume des vides entre les grains. Le compactage est, d'une manière générale, l'ensemble des mesures prises afin de densifier le matériau pour améliorer ses propriétés mécaniques. Le compactage permet :

- Pour un remblai, d'éviter des tassements et des possibilités de glissement;
- Pour une couche de fondation de chaussée d'améliorer la force portante et la rigidité;
- Lors de la réalisation d'une piste ou d'une route en terre, d'adapter les qualités du sol en place ou de la couche d'amélioration;
- Dans tous les cas, de réduire la perméabilité et la susceptibilité à l'absorption de l'eau.

B. Facteurs qui influencent le compactage :

❖ Teneur en eau :

Lorsque le sol est très sec le compactage devient difficile, d'où la nécessité d'arrosage, si le sol a une teneur en eau optimale, il y a facilité de compactage. Par contre si le sol est trop humide, il y a difficulté de compactage. Il faut donc l'assécher par aération.

❖ Nombre de passes du compacteur :

La masse volumique du sol augmente avec une augmentation du nombre de passages, et atteint un maximum. Un trop grand nombre de passes peut avoir pour effet de briser les

particules, donc de produire des fines susceptibles d'augmenter la capillarité des matériaux. Ceci a également pour effet de faire augmenter les coûts du compactage.

❖ **Vitesse du compacteur :**

Avec les compacteurs vibrants pour un nombre de passages données, la masse volumique sera plus grande avec une faible vitesse. Par contre, si cette vitesse est trop faible, ceci a pour effet de faire augmenter les coûts du compactage.

❖ **L'épaisseur de la couche compactée :**

Étant donné que la masse volumique dans une couche compactée de grande épaisseur décroît normalement du haut vers le bas, elle doit être plus élevée en surface qu'à la base. En réduisant l'épaisseur des couches, le surplus de compactage dans la partie supérieure peut être évité ; cette différence est plus appréciable dans les sols cohérents que granulaires.

II.4 Méthodes de calcul des chaussées :

II.4.1 Méthode des éléments finis :

II.4.1.1 Principes de la méthode des éléments finis :

La MEF consiste à remplacer la structure physique à étudier par un nombre fini d'éléments ou de composants discrets qui représentent un maillage. Ces éléments sont liés entre eux par un nombre de points appelés nœuds. On considère d'abord le comportement de chaque partie indépendante, puis on assemble ces parties de telle sorte qu'on assure l'équilibre des forces et la compatibilité des déplacements réels de la structure en tant qu'objet continu.

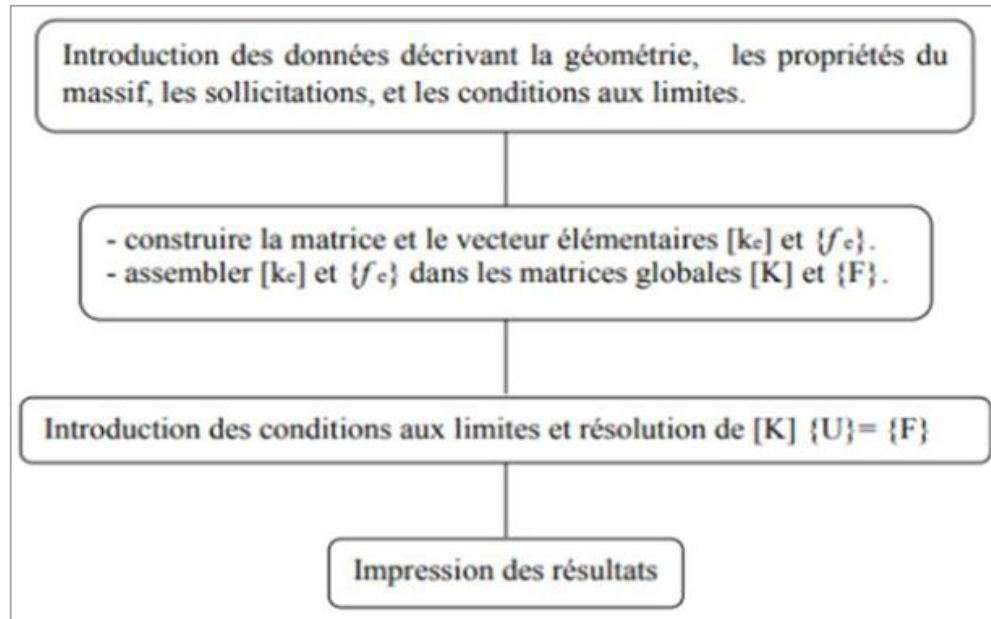
La MEF est extrêmement puissante puisqu'elle permet d'étudier correctement des structures continues ayant des propriétés géométriques et des conditions de charges compliquées. Elle nécessite un grand nombre de calculs qui, à cause de leur nature répétitive, s'adaptent parfaitement à la programmation numérique.

L'analyse de type éléments finis d'une structure géo-synthétiques peut notamment comporter les étapes suivantes :

- la définition des conditions aux limites,
- le choix de la relation contraintes - déformations des matériaux utilisés,
- les caractéristiques mécaniques des interfaces,
- la définition des chargements,

Le tableau suivant résume les parties de base du programme d'ordinateur pour la résolution complète d'un problème par la méthode des éléments finis.

Tableau II.2: Organigramme d'étapes caractéristiques d'un programme d'éléments finis



II.4.2 Calcul par logiciel ALIZE 1.5 :

II.4.2.1 Principe :

Le logiciel Alizé 1.5 est un outil de modélisation numérique de la chaussée souple qui utilise la méthode MEF pour calculer la capacité portante de la chaussée sous différentes charges de circulation. Il est utilisé pour concevoir, évaluer et entretenir les chaussées souples afin d'assurer leur performance et leur sécurité.

II.4.2.2 Le principe de programme :

Les différentes phase de calcul par ce logiciel sont :

- **Modélisation** : Le logiciel Alizé 1.5 permet de modéliser numériquement la chaussée souple en utilisant la méthode des éléments finis. La chaussée est divisée en petits éléments finis qui sont représentatifs de la géométrie et de la nature géotechnique de la chaussée.
- **Caractéristiques géotechniques** : Le logiciel Alizé 1.5 permet d'entrer les caractéristiques géotechniques de la chaussée, telles que la résistance au cisaillement et la densité de chaque couche. Ces données sont nécessaires pour la modélisation numérique.
- **Charges de circulation** : Le logiciel Alizé 1.5 permet également d'entrer les charges de circulation, telles que le poids des véhicules et le nombre de passages. Ces données sont utilisées pour calculer les déformations et les contraintes dans la chaussée.

- **Analyse** : Le logiciel Alizé 1.5 utilise ensuite la méthode MDF pour calculer les déformations et les contraintes dans la chaussée sous différentes charges de circulation. Le logiciel Alizé 1.5 fournit des graphiques et des tableaux qui montrent les déformations et les contraintes maximales dans chaque élément fini.
- **Capacité portante** : Le logiciel Alizé 1.5 permet de déterminer la capacité portante de la chaussée en comparant les déformations maximales calculées avec les normes de conception, les conditions d'utilisation et les contraintes environnementales.

II.4.3 Méthode des déformations finies :

II.4.3.1 Définition :

Il est important de noter que la méthode de calcul MDF est une méthode de calcul numérique avancée qui nécessite une expertise technique approfondie pour être utilisée correctement. Elle nécessite également des données géotechniques précises et des entrées de charge de circulation précises pour produire des résultats précis.

II.4.3.2 Principes de la méthode des déformations Finies :

Le principe de la méthode MDF (Méthode des Déformations Finies) est de modéliser numériquement le comportement de la chaussée souple en réponse aux charges appliquées. Cette méthode permet de calculer les déformations et les contraintes de la chaussée sous différentes charges de circulation, afin d'évaluer sa capacité portante.

Le processus de modélisation commence par la discrétisation de la chaussée en un maillage composé d'éléments finis. Chaque élément fini représente une petite zone de la chaussée qui est définie par ses caractéristiques géométriques et géotechniques. Les déformations et les contraintes sont calculées pour chaque élément fini en fonction de la charge de circulation appliquée.

Le modèle prend en compte la nature non linéaire du comportement du sol et de la chaussée en utilisant des lois de comportement adaptées. Les données géotechniques telles que la résistance au cisaillement, la densité et les caractéristiques de la couche de base sont également incluses dans le modèle.

La méthode MDF utilise ensuite les résultats de la modélisation pour déterminer les déformations maximales acceptables de la chaussée. Ces déformations maximales sont déterminées en fonction des normes de conception, des conditions d'utilisation et des contraintes environnementales.

II.5 Application et insertion des géo-synthétiques :

II.5.1 Définition de la géo-synthétique :

Une géo-synthétique est un terme générique (commun), désignant un produit manufacturé (produit) en usine disposant d'une qualité industrielle de caractéristiques précises et régulières, dont l'un des constituants est à base de polymères synthétique ou naturel.

Les géo-synthétiques permettent d'améliorer les caractéristiques mécaniques et/ou hydrauliques des sols ou matériaux, d'économiser le volume des matériaux nobles (couteux) ou de remplacer certains matériaux granulaires (trop de vides). Ils permettent aussi, de construire plus rapidement et plus efficacement, et ainsi augmenter de la durabilité des ouvrages et diminuer leurs coûts de revient.

II.5.2 Principaux types des géo-synthétiques :

II.5.2.1 Les Géotextiles :

On appelle géotextiles, des textiles utilisés dans les travaux de géotechnique, notamment des travaux de terrassement et de drainage [6]. Ils sont fabriqués avec des matières synthétiques comme : polyester, polypropylène, polyamide, polyéthylène. Ce sont des produits qui sont soit perméables, soit imperméables (cas de géomembranes) et sont classés en plusieurs catégories avec des épaisseurs variant de 1/10 de mm à plusieurs millimètres. Les tissés qui sont constitués par des files entrecroisés perpendiculairement et les non tissés constitués des nappes de fibres reliés entre elles par enchevêtrement.

Dans les fondations des chaussées les géotextiles assurent des fonctions de renforcement ou armatures, d'anti-contaminants ou séparation, de filtrage et de drainage. Nous avons plusieurs familles de géotextiles

II.5.2.1.1 Géotextile non tissé :

C'est un géotextile se présentant sous forme d'une feuille manufacturée, constituée un voile ou d'une nappe de fibre, orientée selon une direction ou distribuée aléatoirement, et dont la liaison peut être de différents types :

- La liaison mécanique : est faite par entrelacement des fibres, à partir d'une série d'aiguilles qui s'enfoncent dans la nappe qui défile (non tissé aiguilles).
- La liaison chimique : est réalisée soit à l'aide de résines soit d'émulsions qui appartiennent à des décomposées proches des caoutchoucs naturels.

- La liaison thermique : est faite par calandrage (effets conjugués de la chaleur et de la pression) entre deux rouleaux presseurs chauffants. On obtient une fusion partielle des points de contacts des fibres (non tissé thermos soudé).

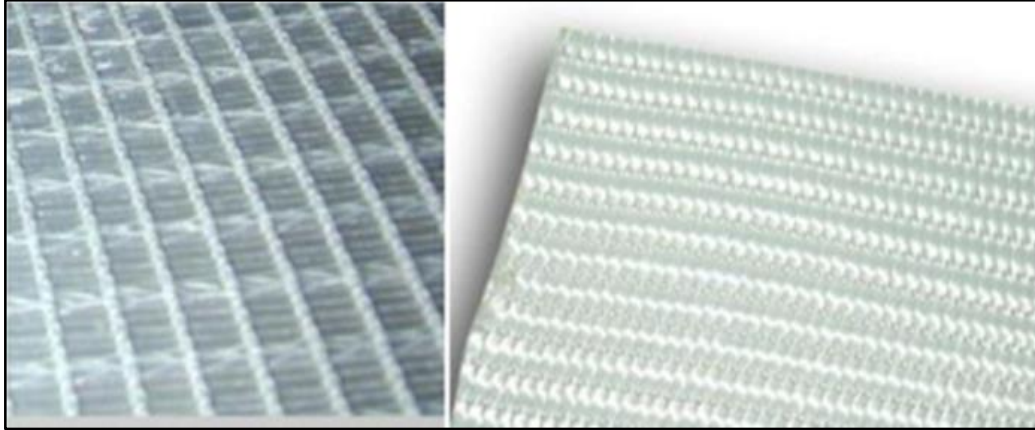


Figure II. 6 : Géotextile non tissé [12].

II.5.2.1.2 Géotextile tissé :

Les tissés sont soit des tissés de fils mono filaments, soit des tissés de fils multifilaments dont chaque fil est constitué de plusieurs brins élémentaires soit des tissés de bandelettes de films extrudés à base de polyéthylène, ou de polypropylène. Le tissage permet d'obtenir un module de traction élevé, une faible déformabilité et une régularité des pores intéressante sur le plan hydraulique cependant il entraîne une anisotropie en plan.

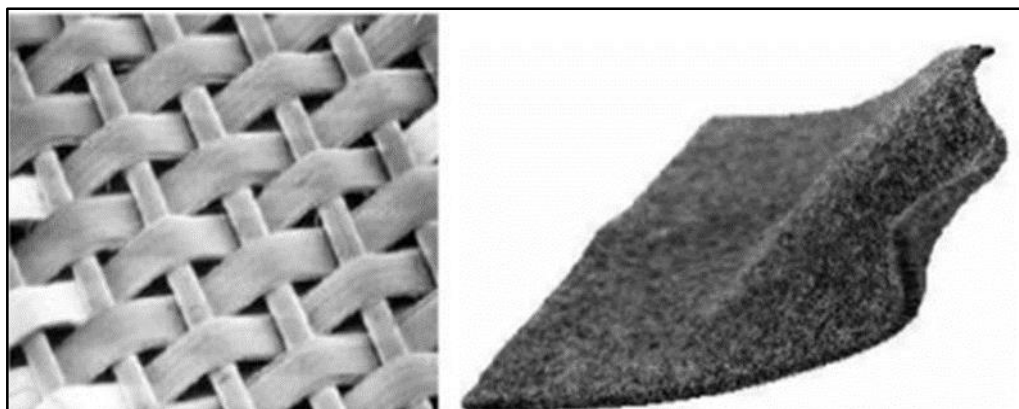


Figure II. 7 : Géotextile tissé [12].

II.5.2.1.3 Géotextile tricoté :

C'est un géotextile produit par assemblage de deux nappes de fils parallèles au moyen d'un fil de liaison, de façon à obtenir la répartition géométrique désirée.

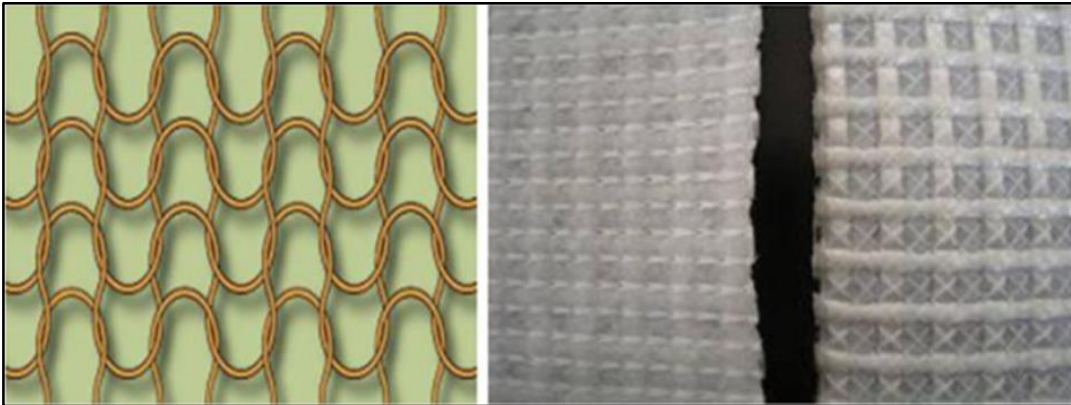


Figure II.8 : Géotextile tricoté [12]

II.5.2.1.4 Géotextile tube (géo-tuyaux)

C'est un géotextile en forme de tube tissé sur un métier circulaire. L'emploi d'un géotextile tube présente des avantages pour les fondations sur colonnes ballastées, et sont couramment utilisés en installation de stockage de déchet.



Figure II.9 : Forme et mise en œuvre des géo-tuyaux [12]

II.5.2.2. Géogrille :

C'est une structure plane, à base de polymère, constituée par un ouvert d'éléments résistants à la traction, reliés entre eux selon un motif régulier, dont les ouvertures sont des dimensions supérieures à celle des constituants. Elles sont utilisées en contact avec le sol pour renforcer les

fondations, remblais...etc. Elles sont disponibles avec différentes résistances à la traction et différentes ouvertures de maille.

Les caractéristiques de traction et d'allongement des géo-grilles ne varient que faiblement sous des variations importantes de température et sous des contraintes permanentes. Elles sont faciles à manier et à mettre en œuvre, car elles peuvent être déroulées et pliées. Elles peuvent être facilement découpées aux dimensions voulues et n'ont pas de bord coupant entraînant des blessures.

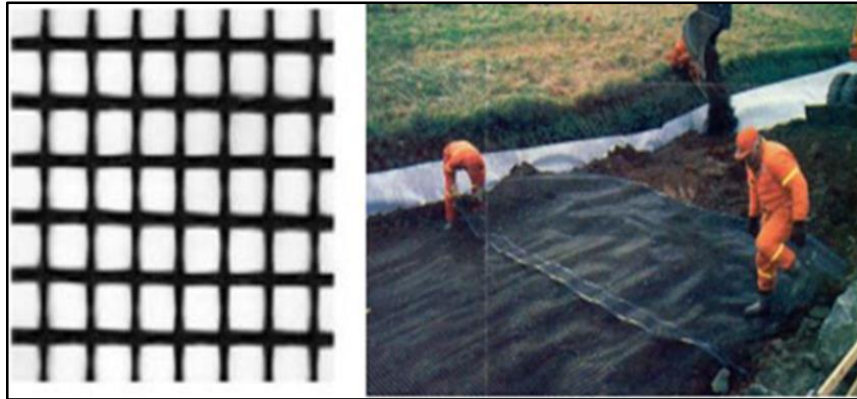


Figure II.10 :Structure et mise en place de la géo-grille [12]

On distingue deux types de géogrilles : l'uni-axiale et le bi-axiale

II.5.2.2.1 Géogrille uni-axiale :

La résistance à la traction est plus importante dans un sens (longitudinal ou transversal) que dans l'autre sens.

II.5.2.2.2 Géogrille bi-axiale :

La résistance à la traction est sensiblement équivalente dans le sens longitudinal et transversal.

II.5.2.3 Géo-filet :

C'est un géo-synthétique constitué d'ensemble de tiges parallèles et superposés entièrement reliés à d'autres ensembles similaires selon des angles variables. Dans le cas d'un géo-filet le liage est constitué par des nœuds, les filets sont toujours souples, alors que les grilles sont généralement rigides.



Figure II.11 : Modèle et mise en place du géo-filet [12]

II.5.2.4 Géo-composite :

Un géo-composite est un assemblage manufacturé de matériaux dont au moins l'un des composants est un produit géo-synthétique, par exemple une géogrille complexée avec un géotextile non-tissé. Il peut être utilisé, soit en géotechnique (fonction de séparation et renforcement), soit pour les couches de roulement. Les géo-composites empêchent dans le même temps l'apparition de fissures et l'élargissement de celles existantes. Ceci grâce à leur capacité d'absorption des forces de cisaillement. Les géo-composites permettent également de renforcer les enrobés, non seulement en travaux neufs, mais aussi en entretien et réparation, La limitation de l'apparition et de l'élargissement des fissures augmente de ce fait la durée de vie des chaussées.



Figure II.12 : La structure d'un géo-composite [12]

II.5.2.5 Géomembranes :

Ce sont des feuilles étanches, souples, minces et continues, fabriquées à partir de produits synthétiques ou bitumineux, La principale application des géomembranes est donc de constituer une barrière étanche soit entre un sol et un fluide, soit entre un sol et un gaz, et sont utilisés pour l'installation de stockage de déchets.



Figure II.13 :Géomembrane –forme et mise en place [12]

II.5.2.6 Géo-synthétiques benthoniques :

Sont des géo-composites préfabriqués avec une couche de bentonite incorporée de façon typique entre un géotextile supérieur et un géotextile inférieur ou collée à une géomembrane ou une couche unique de géotextile. Les géo-synthétiques benthoniques (GSB) à base de géotextiles sont souvent cousus ou aiguilletés à travers le cœur de bentonite pour augmenter la résistance au cisaillement. Lorsqu'ils sont hydratés, ils sont efficaces comme barrière aux liquides et gaz et sont communément utilisés dans les étanchéités de décharges, souvent en association avec une géomembrane

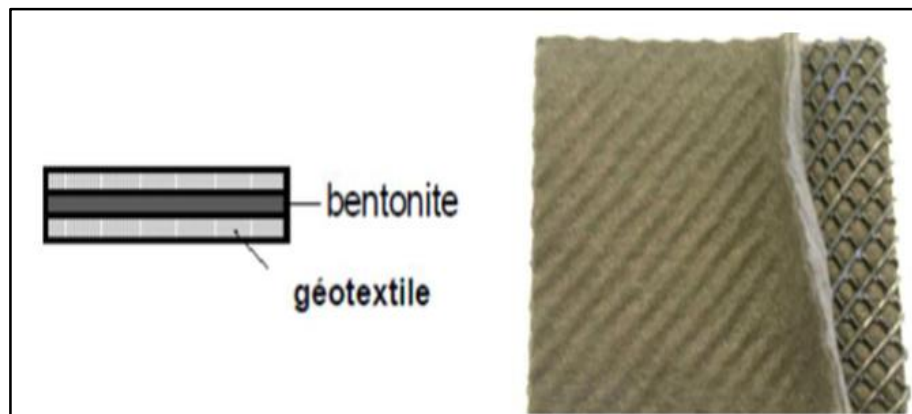


Figure II.14 : Géo-synthétique benthonique [12]

II.5.3 Les principales fonctions des géo-synthétiques :

II.5.3.1 La séparation (ou anticontamination) :

C'est la prévention contre le mélange de deux sols ou matériaux de remplissages adjacents de nature différente par l'emploi d'un géotextile ou d'un produit apparenté.

II.5.3.2 La filtration :

C'est le maintien du sol ou d'autres particules soumis à des forces hydrauliques, tout en permettant le passage de fluides à travers un géotextile ou produit apparenté.

II.5.3.3 Le drainage :

C'est la collecte et le transport de fluides dans le plan d'un géotextile ou produit apparenté.

II.5.3.4 Le renforcement :

C'est l'utilisation de la capacité de résistance d'un géotextile ou d'un produit apparenté à des fins d'amélioration des propriétés mécaniques du sol ou d'autres matériaux de construction. Ce rôle donne lieu à des gains dans les contraintes et déformations.

II.5.3.5 L'Étanchéité :

Elle permet de contrôler la migration des liquides ou des gaz. Elle joue la fonction de barrière, comme le cas d'étanchéité d'un bassin ou d'une décharge publique.

II.5.3.6 La lutte contre l'érosion des surfaces :

Afin d'éviter les mouvements des terres et des sols ou d'autres particules et plus particulièrement les surfaces inclinées, on utilise la géotextile ou produits apparentés.

Conclusion :

En conclusion, les méthodes de calcul et d'évaluation de la capacité portante des chaussées réparées sont des éléments clés pour garantir la sécurité et la durabilité des infrastructures routières. Dans ce chapitre, nous avons présenté différentes méthodes de calcul des chaussées réparées, ainsi que des techniques pour évaluer leur capacité portante. Nous avons également discuté des logiciels de calcul tels que MDF, MEF et ALIZE, qui sont utilisés pour simuler le comportement des chaussées réparées sous différentes charges. Enfin, nous avons abordé l'insertion des géo-synthétiques dans la réparation des chaussées, qui est une technique de plus en plus utilisée pour améliorer la performance des chaussées réparées.

Il est important de souligner que la sélection de la méthode de calcul et d'évaluation appropriée dépend des caractéristiques géotechniques du site et des charges prévues. De plus, l'utilisation des logiciels de calcul permet de simuler le comportement des chaussées réparées de manière plus précise, ce qui permet de prendre des décisions éclairées sur les choix de matériaux et de

techniques de réparation. Enfin, l'insertion des géo synthétiques dans la réparation peut permettre d'améliorer la résistance et la durabilité des chaussées réparées.

En somme, ce chapitre met en évidence l'importance des méthodes de calcul et d'évaluation de la capacité portante des chaussées réparées, ainsi que des logiciels et des techniques associées. Ces éléments sont essentiels pour garantir la sécurité, la durabilité et la performance des infrastructures routières réparées

CHAPITRE III

ÉTUDE GEOTECHNIQUE ET CONTROLE

ÉTUDE GEOTECHNIQUE ET CONTROLE

III.1 Préambule:

La géotechnique routière est une science qui étudie les propriétés physiques et mécaniques des roches et des sols qui vont servir d'assise pour la structure de chaussée.

Pour cela, une campagne de sondage doit être faite pour définir les caractéristique du sol support et de dimensionner la couche de chaussée ainsi que de fixer les pentes de remblai et de déblai. En effet un talus en remblai doit être vérifié à la stabilité au glissement et au poinçonnement. On regroupe deux types d'essai, celui du laboratoire et celui sur terrain (in-situt).

Les objectifs d'une étude géotechnique se résument en :

- Le bénéfice apporté sur les travaux de terrassement.
- La sécurité en indiquant la stabilité des talus et des remblais.
- L'identification des sources d'emprunt des matériaux et la capacité de ses gisements.
- Préserver l'environnement et les ressources naturelles.

Plusieurs chercheurs ont tenté de comprendre l'utilité de l'application du concept de la géotechnique routière dans le dimensionnement et la réhabilitation des chaussées routières. On cite les travaux de Arulrajah et al. (2012) [18], sur le dimensionnement des chaussées réhabilitées avec des matériaux recyclage ou les travaux de EG .Babadiya et al. (2022) [19] sur l'étude géotechnique de la défaillance des chaussées routières, entre autres.

III.2 Moyens de reconnaissance :

Les moyens de reconnaissance du sol pour l'étude d'un tracé routier sont essentiellement : l'étude des archives et documents existants, les visites de site et les essais in –situ, ainsi que les essais de laboratoire (Figure III.1)..

En outre, on ne peut pas faire des dimensionnement ou tracé routier sans pour autant passer par les étapes suivantes [20]

- Étapes techniques d'une reconnaissance de tracé routier ;
- Reconnaissance générale ;
- Dimensionnement de l'extraction, du réemploi (déblais et emprunts), de la traficabilité et des plates-formes (cas des matériaux meubles) ;

- Dimensionnement de l'extraction, du réemploi (déblais et emprunts) et des plates-formes (cas des matériaux rocheux) ;
- Avoir la masse et la classe des échantillons de sols à prélever ;
- Faire le dimensionnement de la stabilité des talus de déblais
- Assurer le dimensionnement des remblais dans le cas des sols compressibles.



Figure III.1 :Reconnaissance du sol pour assise routière

III.3 Reconnaissance de site :

La reconnaissance du site de l'assise routière destinée pour le projet de route, passe par plusieurs étapes :

III.3.1 Le sondage carotté :

Un sondage carotté à foncer en rotation dans le sol un tube muni à sa partie inférieure d'une couronne très résistante qui isole un cylindre de sol, ou carotte, du reste du terrain, et à remonter cette carotte à la surface. L'outil est refroidi par un courant d'eau, de boue, d'air comprimé. Ce moyen de sondage satisfaisant, et demeure, de ce fait, un moyen de reconnaissance privilégié, notamment pour l'étalonnage de la coupe lithologique dans une zone donnée (Figure III.2).



Figure III.2 : Sondage carotté au droit d'une chaussée

Les méthodes et les appareils à utiliser pour l'exécution des sondages doivent permettre [9]:

- De repérer les niveaux et reconnaître la nature des différentes couches transvasées pour l'élaboration du profil de sol ;
- De prélever des échantillons intacts ou remaniés, dont le nombre a été fixé lors de l'établissement du programme de reconnaissance.

A partir des sondages carottés, on peut faire des reconnaissances superficielles ou des reconnaissances profondes.

III.3.2 Exploitation sur site :

Les sondages ont été réalisés en forage type rotatif (non destructif) avec injection d'eau clair au moyen des machines de forage géotechnique de fabrication française TEC System Modèle ABYSS, et TERDO de fabrication italienne avec un carottier à couronne diamantée de diamètre 101 mm type k2/T6.



Figure III.3 Vue de foreuse géotechnique au niveau du site

III.4 Essais au laboratoire :

Les essais au laboratoire sont basés essentiellement sur des identifications physiques sur les échantillons récupérés au niveau des sondages carottés.

III.4.1 Essais d'identification :

On distingue deux types d'essais, les essais granulométriques (sédimentaires) et les essais de mesure des limites d'Altterberg. Ci-joint les phases et la procédure des essais d'identification (Figure III.4).

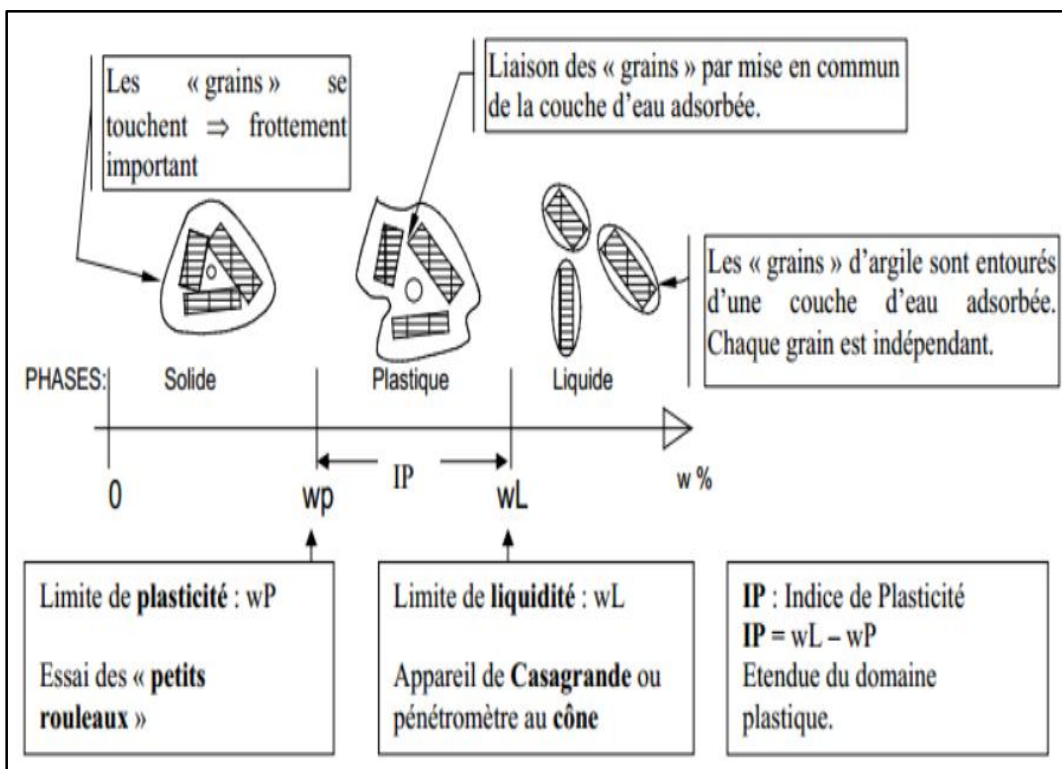


Figure III.4 Organigramme pour phases et la procédure d'identification

III.4.1.1 Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique permettant de donner une idée sur la distribution des particules suivant la taille géométrique constituant la matrice du sol en place. Elle se mesure par tamisage, se fait en utilisant une série de tamis par voie sèche après lavage pour les sols dont les éléments sont supérieurs à $80\ \mu\text{m}$ et par sédimentation pour les éléments inférieurs ou égaux à $80\ \mu\text{m}$.

III.4.1.2 Les limites d'Atterberg :

Les limites d'Atterberg sont des essais qui permettent de définir des indicateurs qualifiant la plasticité d'un sol, et plus précisément de prévoir le comportement des sols pendant les opérations de terrassement, en particulier sous l'action des variations de teneur en eau. Notons que cet essai se fait uniquement sur les éléments fins du sol et il consiste à faire varier la teneur en eau de l'élément en observant sa consistance, ce qui permet de faire une classification du sol.

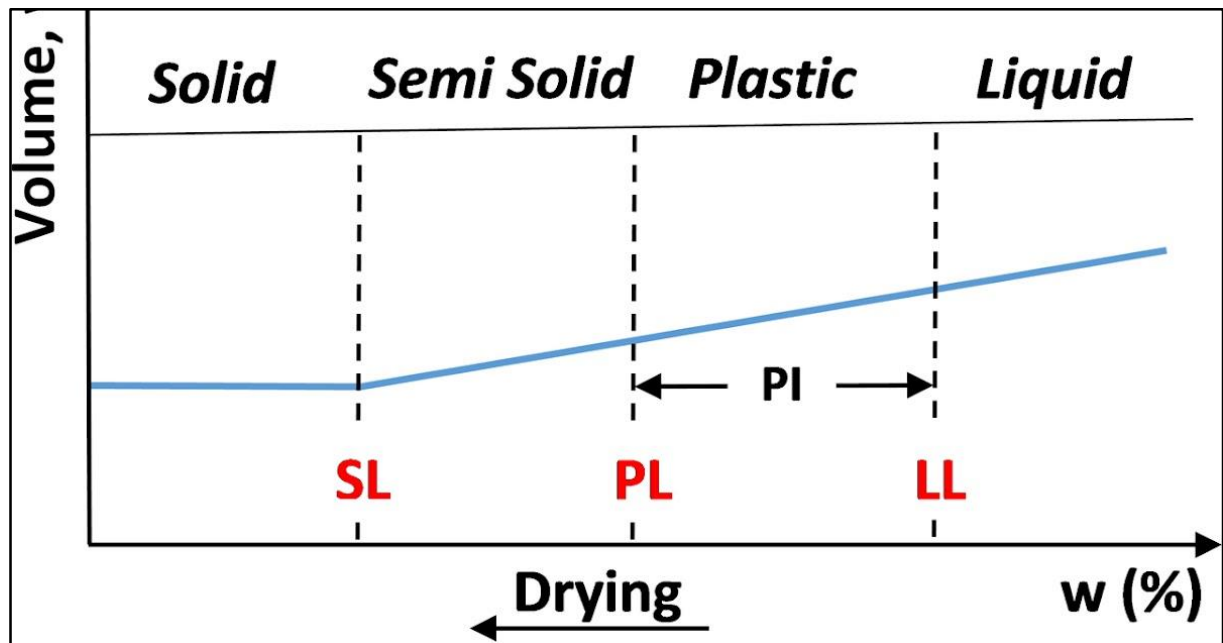


Figure III.5 Illustratif des limites d'Atterberg

➤ **L'indice de plasticité IP:**

D'après la norme XP P94-011[28], quatre états de sols sont définies selon le pourcentage de l'indice de plasticité :

Tableau III .1 : L'état de sol selon le pourcentage de l'indice de plasticité[28]

État	Indice de plasticité (%)
Non plastique	$IP \leq 12$
Peu plastique	$12 < IP \leq 25$
Plastique	$25 < IP \leq 40$
Très plastique	> 40

➤ **L'indice de consistance IC:**

D'après la norme XP P94-0114[29], six états de sols sont définies selon le pourcentage de l'indice de consistance :

Tableau III .2 : L'état de sol selon le pourcentage de l'indice de consistance.[29]

État	Indice de consistance
Liquide	$IC < 0$
Très molle	$0 < IC \leq 0.25$
Molle	$0.25 < IC \leq 0.50$
Ferme	$0.50 < IC \leq 0.75$
Très ferme	$0.75 < IC \leq 1$
Dure	$IC > 1$

III.4.2 Essais physico-chimiques :

Ce sont les paramètres suivants :

- Teneur en carbonate.
- Teneur en sulfate.
- Valeur au bleu de méthylène.
- Masse volumique sèche.
- Teneur en eau moyenne.
- Teneur en eau de saturation.
- Degré de saturation.

- **La teneur en carbonate :**

La détermination de la teneur en $Ca CO_3$ s'effectue au calcimètre Dietrich - Fuling L'essai consiste à mesurer à l'aide d'une burette à gaz le volume de CO_2 dégagé par la réaction du HCl sur le carbonate de calcium contenu dans l'échantillon.

La teneur en $Ca CO_3$ d'un sol fin est un bon indice de sa résistance mécanique et de sa sensibilité à l'eau.

D'après le laboratoire central des ponts et des chaussées [LCPC]5, nous avons les classifications suivantes :

- 0-10 % de $Ca Co_3$: argile ou limon.
- 10-30 % de $Ca Co_3$: argile marneuse ou limon marneux.
- 30-70 % de $Ca Co_3$: marne.
- 70-90 % de $Ca Co_3$: calcaire marneux.

➤ 90-100 % de Ca Co₃ : calcaire.

La dénomination « argile » ou « limon » dépend aussi de la plasticité et de l'analyse granulométrique.

- **La teneur en sulfate :**

Quatre états de sols sont définis selon le pourcentage de la teneur en sulfates.

Tableau III .3 : L'état de sol selon le pourcentage de la teneur en sulfate.[29]

État	Teneur en SO ₄ -2 (%)
Faiblement agressive	0.24-0.60
Moyennement agressive	0.60-1.20
Fortement agressive	1.20-2.40
Très fortement agressive	> 2.40

- **Valeur au bleu de méthylène :**

C'est un paramètre permettant de caractériser l'argilosité d'un sol mais dont l'application à l'identification des sols remonte seulement à quelques années. Ce paramètre représente la quantité de bleu de méthylène pouvant s'adsorber sur les surfaces externes et internes des particules du sol, ou autrement dit une grandeur directement liée à la surface spécifique du sol. On peut considérer que la valeur de bleu de méthylène VBS (valeur de bleu du sol) exprime globalement la quantité et la qualité (ou activité) de l'argile contenue dans ce sol.

D'après le Guide des Terrassements Routiers [GTR 92]7, six catégories de sols sont définies selon la valeur de VBS :

Tableau III .4 : Catégorie de sols selon la valeur au bleu méthylène

Valeur de bleu de méthylène (VBS)	Catégorie de sol
VBS < 0,1	sol insensible à l'eau
0,2 ≤ VBS < 1,5	sol sablo limoneux, sensible à l'eau
1,5 ≤ VBS < 2,5	sol sablo argileux, peu plastiques
2,5 ≤ VBS < 6	sol limoneux de plasticité moyenne
6 ≤ VBS < 8	sol argileux.
VBS > 8	sol très argileux.

- **La masse volumique sèche :**

D'après la norme XP P94-011[16], trois états de sols sont définies selon la valeur de la masse volumique sèche :

Tableau III .5 : La valeur de la masse volumique sèche.[16]

État	Masse volumique sèche (g/cm ³)
Peu dense	$\gamma_d \leq 1.60$
Dense	$1,6 < \gamma_d \leq 1,8$
Très dense	$\gamma_d > 1,8$

Tableau III .6 : L'état de sol selon le pourcentage du degré de saturation.

État	Degré de saturation (%)
Non saturé	$S_r < 100$
Saturé	$S_r = 100$

III.4.3 Essais mécaniques :

a) **Essai Proctor :**

C'est un essai routier, il consiste à étudier le comportement d'un sol sous l'influence de compactage et une teneur en eau, il a donc pour but de déterminer une teneur en eau optimale afin d'obtenir une densité sèche maximale lors d'un compactage d'un sol, cette teneur en eau ainsi obtenue est appelée « optimum PROCTOR ».

Pour chacune des valeurs de teneur en eau considérée, on détermine la masse volumique

Sèche du sol et on établit la courbe des variations celle-ci en fonction de la teneur en eau.

Deux variantes de l'essai Proctor sont couramment pratiquées :

- **L'essai Proctor normal :**

Il rend assez bien compte des énergies de compactage pratiquées pour les remblais.

- **Proctor modifié :**

l'essai Proctor Modifié est utilisé pour les couches de chaussée. Les deux essais consistent à compacter un échantillon de sol à différentes teneurs en eau et à mesurer la masse volumique sèche obtenue.

La courbe Proctor représente la relation entre la teneur en eau et la masse volumique sèche du sol compacté. Cette courbe présente une valeur maximale de la masse volumique sèche, notée

γ_d , qui est obtenue pour une valeur optimale de la teneur en eau, notée ω_{opt} . Ces deux valeurs, γ_d et ω_{opt} , sont considérées comme les caractéristiques de compactage de l'essai Proctor.

En d'autres termes, l'essai Proctor permet de déterminer la teneur en eau optimale pour obtenir la masse volumique sèche maximale lors du compactage d'un sol. Ces valeurs sont essentielles pour garantir la qualité et la stabilité des couches de forme et des couches de chaussée dans la construction des infrastructures routières.

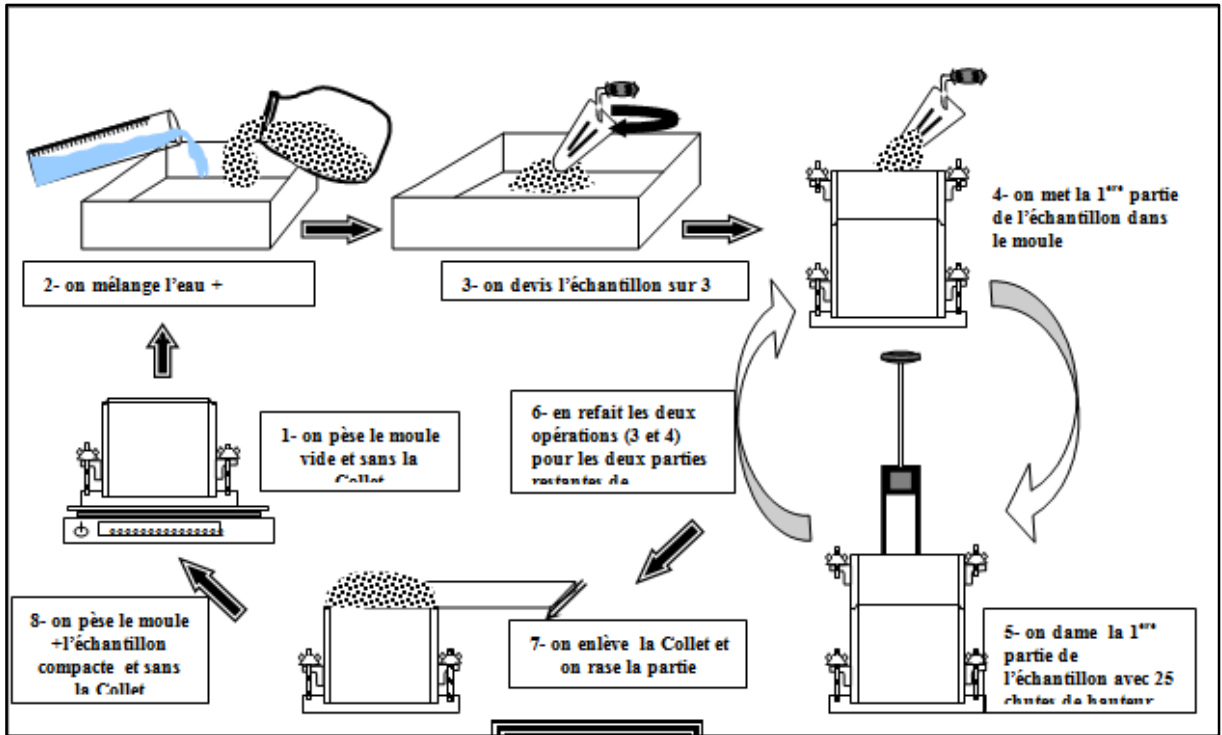


Figure III.6 schématisation pour l'essai Proctor

Tableau III .7: comparaison entre essai Proctor normal et modifié

	Proctor normal	Proctor modifié
Poids de la dame(kg)	2.495	4.54
Hauteur de la chute(cm)	30.5	45.7
Nombre de couches	3	5
Nombre coups de dame /couche	55	55

b) Essai CBR :

Cet essai a pour but d'évaluer la portance du sol en estimant sa résistance au poinçonnement, afin de pouvoir dimensionner la chaussée et orienter les travaux de terrassements.

L'indice portant CBR exprime le rapport, en % entre les pressions produisant un enfoncement donné dans un sol et dans un sol de référence (grave Concassée).

Le principe de l'essai consiste à enfoncer un poinçon normalisé de 19.3 cm² à la vitesse de 1.27 mm/mn dans le sol compacté selon l'essai Proctor modifié.

- **CBR imbibé :**

On compacte avec une dame standard dans un moule standard, l'échantillon de sol recueilli sur le site, selon un processus bien déterminé, à la teneur en eau optimum (Proctor modifié) avec trois (3) énergies de compactage 25 c/c ; 55 c/c ; 10 c/c et imbibé pendant quatre (4) jours.

Tableau III .8 : La classe de sol en fonction de l'indice CBR

ICBR	Classe de sol
CBR < 5	S4 (portance très faible)
$5 \leq \text{CBR} < 10$	S3 (portance faible)
$10 \leq \text{CBR} < 25$	S2 (portance moyenne)
$25 \leq \text{CBR} < 40$	S1 (portance élevée)
$40 \leq \text{CBR}$	S0 (portance très élevée)



Figure III .7 : l'essai C.B.R

- **Essai Los Angeles :**

Cet essai a pour but de mesurer la résistance à la fragmentation par chocs des granulats utilisés dans le domaine routier, et leur résistance par frottements réciproques dans la machine dite «Los Angeles»



Figure III .8: l'essai los Angeles

La formule à appliquer est comme suit :

$$LA = \frac{m'}{m} \times 100$$

Avec :

m : masse initial des granulats avant l'essai

m' : masse des granulats après l'essai, lavage au tamis 1.6mm et séchage.

Tableau III .9 : spécification de los Angeles.

LA	Appréciation
<15	Très bon à bon
15 à 25	Bon à moyen
25 à 30	Moyen à faible
>30	Médiocre

- Essai Micro deval :

L'essai a pour but d'apprécier la résistance à l'usure par frottements réciproques des granulats et leur sensibilité à l'eau, on parlera du micro deval humide. La résistance à l'usure s'exprime par :

$$MDS \text{ ou } MDE = \frac{M-m}{m} \times 100$$

Avec :

M: masse initial avant l'essai

m: masse des granulats après essai, lavage au tamis 1.6 mm et séchage.

Tableau III .10 : Spécification de micro Deval

MDE	Appréciation
<13	Très bon à bon
13 à 20	Bon à moyen
20 à 25	Moyen à faible
>25	Médiocre

III.5 Généralités sur les procédures de contrôle :

Le contrôle des travaux, garant de l'obtention de la qualité par le respect des prescriptions, devra être mené de façon rigoureuse durant toute la vie du chantier, depuis la signature du marché jusqu'à la réception des travaux. Ce contrôle devra nécessairement concerner tous les ateliers du chantier (production, matériaux, atelier de mise en œuvre, compactage..), suivre le schéma classique du contrôle avant, pendant et après.

III.5.1 LES ETAPES DU CONTRÔLE :

Depuis la signature du marché, le contrôle doit concerner toute la chaîne de production avant, pendant et après la réalisation des travaux.

III.5.1.1 Avant les travaux :

le contrôle portera sur:

- Les matériaux: Les gîtes à matériaux, qu'ils soient de roche meuble ou massive, doivent être clairement localisés, identifiés, et quantifiés. Des essais de contrôle sur stocks (granulats, bitumes, etc) doivent être effectués pour s'assurer de leur conformité vis-à-vis des prescriptions du CPS.
- Les matériels :Les matériels de fabrication et de mise en œuvre doivent être aptes à répondre en tous points de vue aux exigences du projet, notamment en nombre et caractéristiques techniques (capacité, débit, rendement, performance, etc).

Tous les réglages doivent être effectués avant le démarrage de la production et de la mise en œuvre, afin d'assurer un parfait état de marche des installations.

- La réalisation des planches d'essais: Les planches d'une longueur de 200 à 300 ml permettront de définir l'atelier de compactage (caractéristiques des engins, vitesse d'avancement, températures début et fin de compactage nombre de passe, etc).

Il y a lieu d'accorder le plus grand soin à la réalisation de ces planches qui nécessitent de la part de l'entreprise une grande vigilance, car conditionnant pour une large part le bon fonctionnement de l'atelier de compactage. Ces planches d'essais doivent être exigées et réalisées avec une extrême rigueur pour les matériaux dits non traditionnels (gypso-calcaires, laitier, pouzzolanes, etc)

III.5.1.2 Pendant les travaux :

Pendant les travaux, on devra procéder aux contrôles suivants:

- **contrôle de matériel de fabrication et de mise en œuvre:**

les matériels devront être vérifiés quotidiennement pour s'assurer de leur bon fonctionnement. Pour les contrôles de fabrication de matériaux traités, on veillera particulièrement au réglage journalier du débit:

- des granulats au niveau des doseurs;
- du liant;
- du fillet d'apport.

D'autre part, l'atelier de compactage doit être conforme à celui retenu lors de la planche d'essais (nombre d'engins, type, caractéristiques, dispositions, etc).

- **Réception des matériaux:**

A chaque renouvellement de stock, des essais de réception sur les matériaux doivent être réalisés. Le contrôle devra porter sur les caractéristiques essentielles (intrinsèques et de fabrication) en fonction de leur destination. La nature des essais, leur cadence et les modes opératoires sont définis dans le CPS.

- **Contrôle de mise en œuvre :**

Ce contrôle comporte toutes les sujétions de mise en œuvre et s'effectue aussi bien en centrale qu'au niveau de l'atelier proprement dit:

- Au niveau de la centrale, on veillera au contrôle:
 - Des débits de différents matériaux (granulats, liant et éventuellement adjuvants).
 - Des températures de fabrication et de livraison.
 - De la granulométrie des mélanges.

- Au niveau de l'atelier de mise en œuvre, l'épandage des différentes couches de matériaux et leur compactage constituent l'ultime étape du processus de mise en œuvre. Le contrôle devra veiller particulièrement à:
 - La régularité du repandage qui doit être assuré longitudinalement par un approvisionnement en continu de l'engin de mise en œuvre (finisseur, niveleuse), et transversalement, en veillant à un bon malaxage afin d'éviter les risques de ségrégation du matériau.

 - Le bon fonctionnement de l'atelier de compactage qui est obtenu par les conditions fixées par les planches d'essais. Le contrôle de compactage se fera au fur et à mesure de l'avancement des travaux.
 - Le respect des épaisseurs prescrites: les épaisseurs de matériaux mis en œuvre doivent être vérifiées et contrôlées au fur et à mesure de l'avancement des travaux.
 - Enfin, dans le cas des enrobés à chaud, les températures de mise en œuvre doivent être suivies de près afin d'éviter des écarts trop importants, surtout lorsque les conditions météorologiques sont défavorables (temps froid, vent, etc).

III.5.1.3 Après les travaux :

Il s'agit, dans cette étape, des contrôles de réception, qui seront cependant minimisés si les contrôles Avant et Pendant les travaux ont été correctement menés. Des mesures d'uni du profil en long seront également exécutées juste après la mise en œuvre de la couche de base à l'aide d'appareils à grand rendement tels que l'APL ou le BUMP INTEGRATOR. Les mesures se feront sur la couche de base, puisque ce niveau, le reprofilage étant toujours possible, les différences d'un au niveau de la couche de roulement sont difficiles à rattraper.

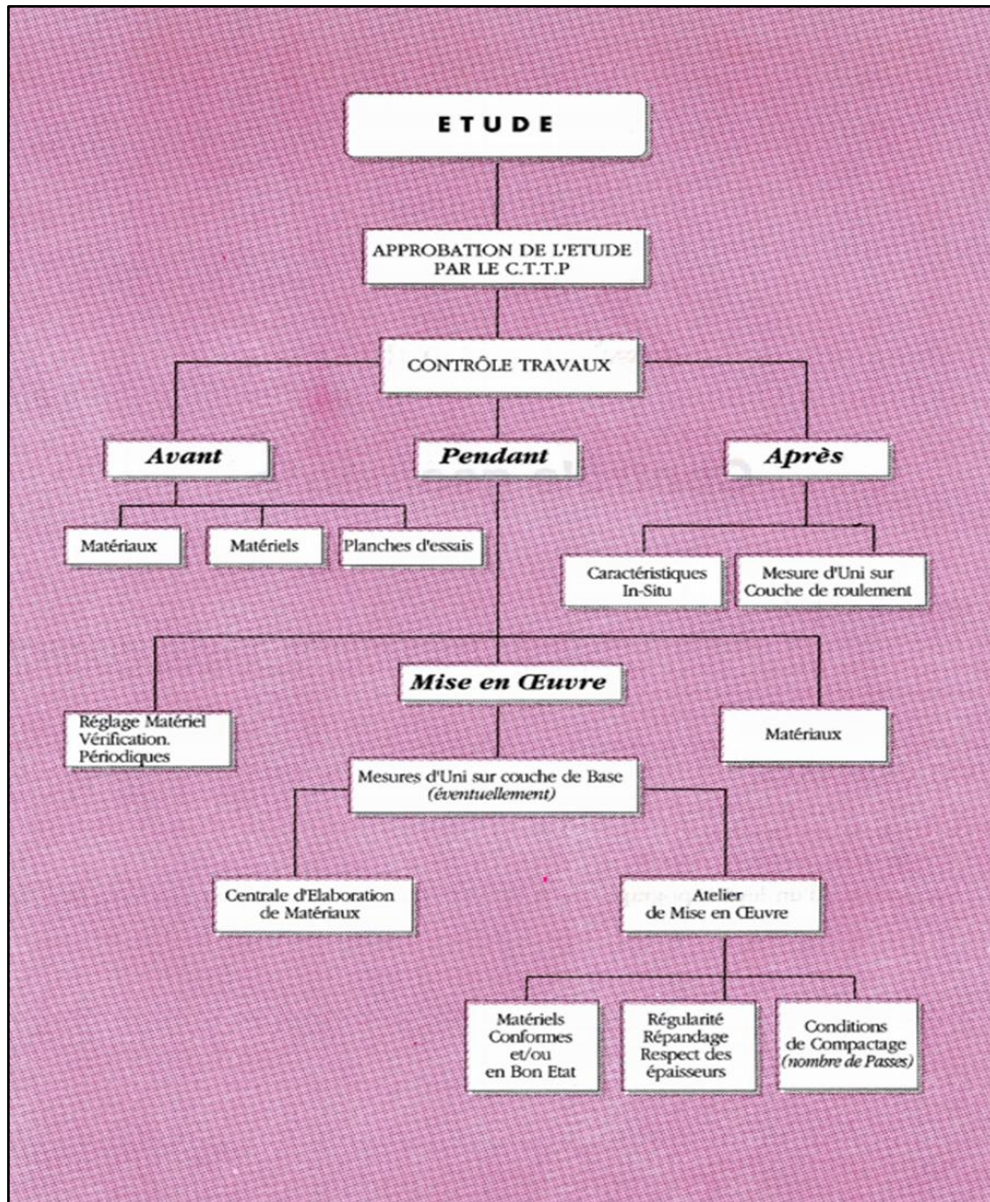


Figure III.9: Organigramme de l'étude par le C.T.T.P

Conclusion :

Dans ce chapitre nous sommes familiarisés avec certains des essais que nous effectuons au début du pavage de la route pour identifier la qualité du sol, ses propriétés et sa tolérance, nous avons également mentionné les méthodes et étapes de contrôle (Avant les travaux, Pendant et après les travaux) afin d'assurer une route bien mentionnée et une durée de vie à long terme sans apparaître de dégradations et des fissurations.

CHAPITRE IV

PRESENTATION DU CAS D'ETUDE

PRESENTATION DU CAS D'ETUDE

IV.1 Présentation du projet

Notre projet, consiste à étudier le dimensionnement d'un tronçon de la route nationale (RN36), liant le PR 00+000 (situé à proximité de l'échangeur de la rocade Sud d'Alger), au PR 15+000 (se trouvant au niveau de l'ouvrage vers Autoroute Est-Ouest (A1)), sur un linéaire de 15 Km. Cet axe routier présente une importance stratégique par la capitale de pays notamment sur les plans : économique, social et touristique. Nous avons pris pour notre projet un itinéraire de 10 km, c'est-à-dire du PR00+00 au PR 10+000, situé à proximité de la ville de Douera (Figure IV.1).

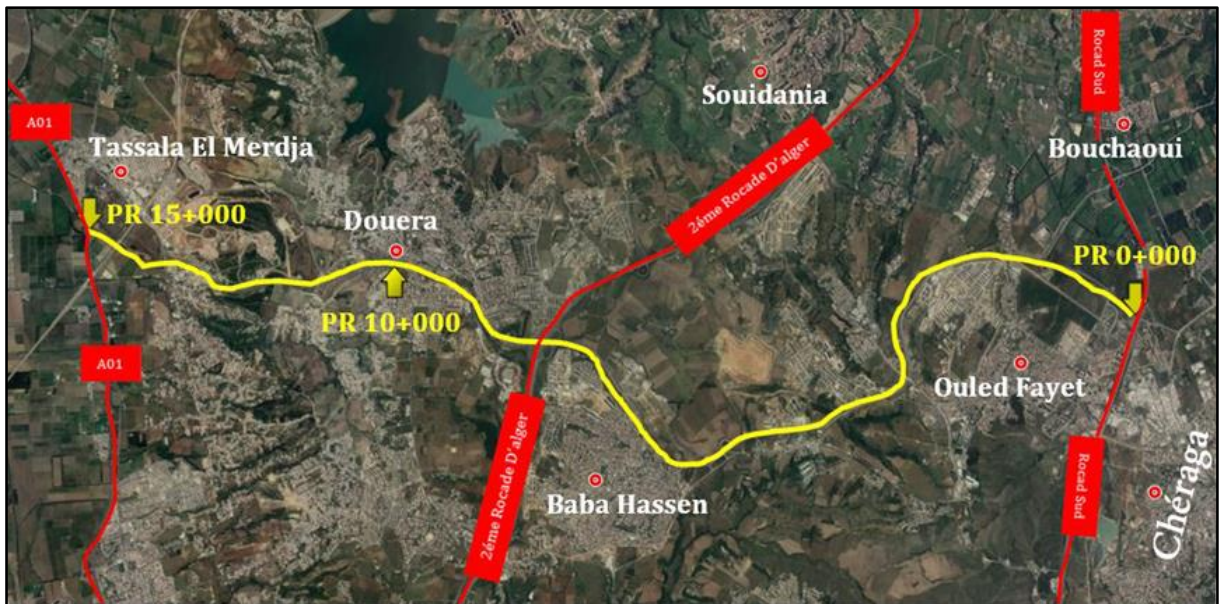


Figure IV.1: Carte de situation de projet

IV.2 Géométrie et topographie de la route

Le profil de la chaussée est celui d'une chaussée unidirectionnelle à 02 x 02 voies ; L'axe routier présente un relief mixte (déblai, remblai) avec sinuosités moyennement et une forte à faible déclivités. Les tableaux IV.1 et IV.2, ci-après, récapitulent la géométrie dans les deux sens pour les 02 voies et la bande d'arrêt d'urgence.

Tableau IV.1. Géométrie et topographie de la RN36

(Sens Aller : Cheraga-Tassala El Merdja)

LOCALISATION DES SECRION				GÉOMÉTRIE					
PR DEBUT	ABSCISSES	PR FIN	ABSCISSES	BAU	VOIE 1	VOIE 2	DÉCLIVITÉ	SINU OSITÉ	RELIEF
0	0	0	44	X	4,00	X	Faible	Moyenne	Mixte (déblai + remblai)
0	44	0	144	X	3,50	3,50			
0	144	0	354	X	3,50	3,50			
0	354	0	460	X	3,50	3,50			
0	460	1	0	2,50	3,50	3,50			
1	0	1	561	2,45	3,65	3,50			
1	561	1	949	2,00	3,50	3,50			
1	949	2	0	2,00	3,50	3,50			
2	0	3	800	2,00	3,50	3,50			
3	800	3	903	X	3,50	3,50			
3	903	4	0	4,00	3,50	3,50			
4	0	4	152	2,50	3,50	3,50			
4	152	4	700	2,00	3,50	3,50			
4	700	5	130	2,50	3,50	3,50			
5	130	5	500	2,45	3,50	3,50			
5	500	6	0	2,45	3,50	3,50			
6	0	7	0	2,45	3,50	3,50			
7	0	8	0	2,45	3,50	3,50			
8	0	9	165	2,45	3,50	3,50			
9	165	9	300	X	3,50	3,50			
9	300	9	781	2,00	3,50	3,50			
9	781	10	800	2,00	3,50	3,50			
10	800	13	895	2,55	3,50	3,50			

Tableau IV.2. Géométrie et topographie de la RN36

(Sens Retour: Tassala El Merdja- Cheraga)

LOCALISATION DES SECRION				GÉOMÉTRIE					
PR DEBUT	ABSCISSES	PR FIN	ABSCISSES	BAU	VOIE 1	VOIE 2	DÉCLIVITÉ	SINUOSITÉ	RELIEF
0	0	0	173	1,50	4,00	X	Fort	Moyenne	Mixte (Déblai + Remblai)
0	173	2	310	2,50	3,50	3,50			
2	310	2	370	2,50	3,50	3,50			
2	370	2	402	2,50	3,50	3,50			
2	402	3	260	2,50	3,50	3,50			
3	260	4	000	2,00	3,65	3,50			
4	000	4	245	2,00	3,50	3,50			
4	245	4	450	X	3,50	3,50			
4	450	5	500	2,00	3,50	3,50			
5	500	6	000	1,50	3,50	3,50			
6	000	6	500	1,50	3,50	3,50			
6	500	8	000	1,50	3,50	3,50	Faible		
8	000	10	000	1,50	3,50	3,50			
10	000	12	000	1,50	3,50	3,50			

IV.3 Historique et informations sur la plate-forme :

Selon les informations recueillies de la direction des travaux publics de la wilaya d'Alger (DTP Alger), ce tronçon de route (RN36), n'est très ancien et sa première mise en exploitation date de 2009 (soit une quinzaine d'années environ).

Les éléments historiques de la chaussée, qui concernent la structure et sa réalisation (âge, trafic cumulé, constitution, qualité de la plate-forme, épaisseur théorique et de chantier de l'assise, qualité de fabrication et de mise en œuvre des matériaux, entretiens réalisés, comportement aux hivers rigoureux, etc.), revêtent un intérêt tout particulier pour l'analyse de l'état résiduel des chaussées étudiées. . Le tableau suivant présente le détail de l'historique de notre chaussée (Tableau IV.3) :

Tableau IV.3. Informations et chiffres historiques de la RN36

HISTORIQUE															
Route	Route	Pk Début	Abs Début	Pk Fin	Abs Fin	Date De Mise En service	1ÈRE COUCHE DE ROULEMENT			COUCHE DE BASE			COUCHE DE FORME		
							Date 1ère couche	Épais 1ère Couche (mm)	Type 1ère Couche	Année Mise En œuvre	Épais Base (mm)	Nature Matériau	Année Mise En œuvre	Épais foud	Nature De matériau
Rn 36	(2*2) Voies Aller-retour	0+000	0+000	10+000	0+000	2010	2010	80	BB	2009	120	GB	2009	300	GNT

IV.4 Structure du corps de chaussée :

D'après les sondages exécutés en 2009 par les services du CTTTP, afin de déterminer la nature des matériaux constituant le corps de chaussée ainsi que leurs caractéristiques, nous avons obtenus une structure constituée de haut vers le bas :

- D'une couche de roulement en béton bitumineux d'une épaisseur moyenne de l'ordre de 8cm.
- Une couche de Base en grave bitume (GB) d'une épaisseur allant à 12 cm.
- Une couche de forme en grave non traité de 30cm d'épaisseur.

Les figure IV.2 et IV.3, ci-dessous, illustre la structure du corps de chaussée du tronçon routier et le vue du sondage effectué.



Figure IV.2 Structure de la chaussée RN36



Figure IV.3. Vue du sondage effectué

IV.5 Relevé de dégradations :

Nous nous sommes basé, sur l'examen visuel de la chaussée, qui montre que la chaussée se caractérise par des dégradations en général plus ou moins importantes. On a constaté que tout le long de l'itinéraire, on remarque pratiquement les mêmes types de dégradations, à savoir :

- Des faïençages à mailles fines intenses, a grande étendue, parfois généralisées, évoluant par endroits en début d'arrachements.
- Des déformations de type affaissement d'amplitude non négligeable, accompagnent souvent les faïençages localement
- Des arrachements de faibles des enrobages, ainsi que des réparations

On a remarqué aussi que la voie de droite présente des dégradations plus avancées que la voie de gauche. Par ailleurs, le relevé détaillé de l'état de la chaussée est donnée comme suit :

- **Sens Aller** : Chéraga vers Tassala El Merdja, du PR 0+000 au PR5+130.

L'état de la chaussée: la chaussée est bonne a moyennement dégradée. Les dégradations observées sont de type faïençage à mailles fines fréquentes surtout au PR1+300/600 et au PR3+000/900 dans la voie 1, et quelques fissures longitudinales surtout dans le PR1+200. On peut dire que la chaussée est pratiquement en bon état sur la rive gauche.



Figure IV.4 Faiénçage à mailles fines avec affaissement

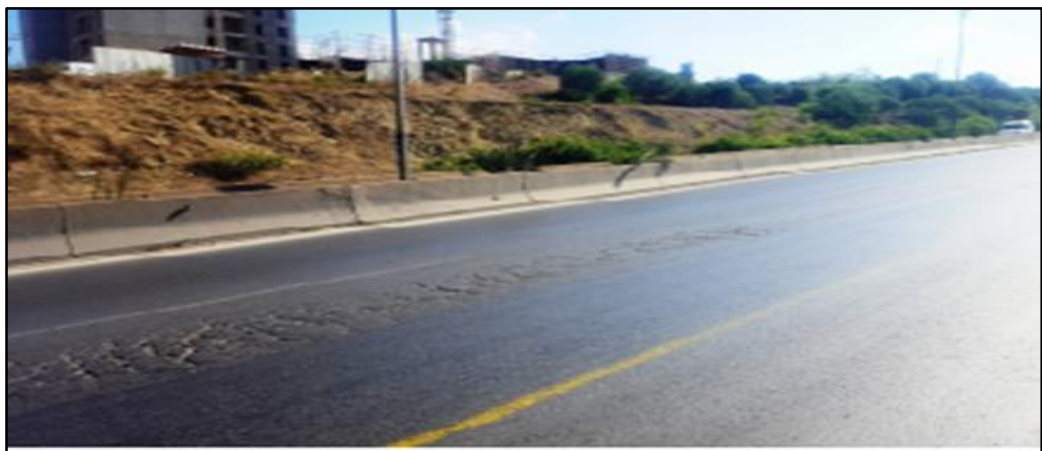


Figure IV.5 : Faiénçages généralisés et formation de bourrelet

De même et dans ce même sens, du PR5+130 au PR10+000, l'état de la chaussée: le tronçon est bon à moyennement dégradé, avec des types de dégradation fréquentes, qui sont des fissures longitudinales aperçues dans le PR7+10 0/800 en rive droite. (Figure IV.6).



Figure IV.6 : Fissure longitudinale apparente sur la rive droite

- **Sens Retour** : Tassala El Merdja vers Chéraga, du PR4+445 au PR7+825.

Pour l'état physique, la chaussée: est considérablement dégradée, avec des dégradations intenses et répétée. Tandis que pour les types de dégradations, on relève surtout des faïençages à mailles fines parfois généralisés sur la voie, évoluant en début d'arrachement (Figures : IV.7, IV.8 et IV.9).



Figure IV.7 : Faïençages multiples sur la voie de droite



Figure IV.8 Faïençage généralisé sur la voie de droite



Figure IV.9 : Faiénçage localisé accompagné par des arrachements

IV.6 Auscultation de la route RN36 :

IV.6.1 Définition :

Auscouter une chaussée revient à évaluer son état structurel et fonctionnel et d'établir son diagnostic afin d'y apporter des remèdes nécessaires pour son maintien dans un niveau de service appréciable donc apporter des solutions appropriées au choix de la technique à mettre en œuvre et ce à travers des paramètres d'état bien définis. La campagne d'auscultation de la chaussée est portée sur :

- Les mesures de déflexion pour connaître le comportement structurel de la chaussée.
- Les mesures d'uni pour connaître l'état de planéité.
- Un relevé visuel détaillé de dégradations pour connaître l'état de surface de la chaussée et les types de dégradations.

IV.6.2 Auscultation par mesure de dégradation :

L'examen visuel a pour but le relevé de l'état du revêtement et la formulation des premières hypothèses quant aux causes probables des dégradations constatées.

A cet effet, et afin d'avoir une description la plus fidèle que possible de l'état de la route.

L'ingénieur se base d'une part, sur l'approche d'évaluation des dégradations décrite dans le guide des renforcements des chaussées en indiquant les degrés d'évaluation de gravité de chaque type de dégradation, ainsi que l'approche d'appréciation globale basée sur la combinaison des évaluations prise à part pour chaque type de dégradation. D'autre part, sur son expérience personnelle d'investigation sur le terrain est mise en place pour la détermination de la gravité et l'étendu des dégradations, ainsi que la prédominance de certaines dégradations par rapport à d'autres.

Les tableaux suivant illustrent les résultats des dégradations par L'examen visuel du tronçon de notre projet d'étude d'après le guide de renforcement des chaussées (CTTP), d'après les dégradations observées nous avons les résultats suivants :

a) Pour l'évaluation final et découpage en zones homogènes :

Une Zone homogène fait référence à des données de situation (agglomération ou rase campagne), d'historique (structure, trafic, date de réalisation) et a des caractéristiques de la chaussée identique.

La combinaison des différents critères d'auscultation de la chaussée, nous a permis de découper le tronçon objet de l'étude, en section homogènes présentant les mêmes caractéristiques du point de vue : trafic, portance (la déflexion) et l'état de revêtement (les dégradations).

Afin d'obtenir les zones homogène globale, nous avons procédé a une intersection entre les différentes zones homogènes calcule précédemment

b) Pour la carottage effectue :

Afin de déterminer la qualité de la fabrication et de mise en œuvre des travaux réalisés en (BB), le CTTP a effectué des carottages sous chaussée dans le but de : vérifier le collage des interfaces, mesurer les épaisseurs et analyser la qualité de fabrication et de mise en œuvre de l'enrobé au laboratoire.

Le nombre de carottes ainsi prélevé est de quarante et un (41). La localisation des points de carottage est donnée dans le tableau suivant :

IV.6.3 Découpage en zone homogènes :

Afin de déterminer les qualités des carottes et ce par implantation en découpant le tronçon de la route en zones homogènes six zones dans notre cas), nous avons pu illustrer les résultats par les tableaux des dégradations suivants (Tableaux : IV.4, IV.5 et IV.6)

Tableau IV.4 : Qualité des carottes en zones 1 et 2

	Carotte N°	PR	Cause de carottage	Nombre de couche	structure	Epaisseur (cm)	Epaisseur Total (cm)	Interface	Etat de la carotte	Etat de la paroi	Qualité de la carotte	Zone
Ok Zone01	C01	0+173	FMF	4	BB ₁	7.30	27.70		Fissuré	Lisse	Fissuré	Zone 01
					BB ₂	5.40		Collé	Saine	Lisse	Saine	
					GB ₁	4.50		Collé	Saine	Lisse	Saine	
					GB ₂	10.50		Collé	Saine	Lisse	Saine	
Ok zone01	C03	0+487	FT	4	BB ₁	6.00	26.50		Fissuré	Lisse	Fissuré	
					BB ₂	5.00		Décollé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
					GB ₁	7.50		Collé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
					GB ₂	8.00		Décollé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
Ok Zone01	C04	0+740	Zone Sain	4	BB ₁	6.80	31.40		Saine	Lisse	Saine	
					BB ₂	6.30		Collé	Saine	Lisse	Saine	
					GB ₁	9.30		Collé	Saine	Lisse	Saine	
					GB ₂	9.00		Collé	Saine	Lisse	Saine	
Ok zone01	C05	0+847	FL	4	BB ₁	4.80	20.80		Fissuré	Lisse	Fissuré	
					BB ₂	3.50		Décollé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
					GB ₁	6.50		Décollé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
					GB ₂	6.00		Collé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
Ok Zone 01	C06	1+020	FMF	4	BB ₁	4.50	26.50		Fissuré	Lisse	Fissuré	
					BB ₂	5.50		Collé	Saine	Lisse	Saine	
					GB ₁	8.00		Collé	Saine	Lisse	Saine	
					GB ₂	8.50		Collé	Saine	Lisse	Saine	
Ok zone02	C08	1+650	Zone Saine	3	BB ₁	7.50	20.50		Saine	Lisse	Saine	Zone 02
					BB ₂	6.00		Collé	Saine	Lisse	Saine	
					GB ₁	7.00		Collé	Saine	Lisse	Saine	
Ok Zone02	C09	1+760	Zone Saine	3	BB ₁	6.80	22.60		Saine	Lisse	Saine	
					BB ₂	8.30		Collé	Saine	Lisse	Saine	
					GB ₁	7.50		Collé	Saine	Lisse	Saine	

Tableau IV.5 : Qualité des carottes en zones 3 et 4

(Non évaluation)	C10	2+059	FL	3	BB ₁	6.50	19.50		Fissuré	Lisse	Fissuré	Zone 03
					BB ₂	5.50		Collé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
					GB ₁	7.50		Collé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
Ok Zone 03	C11	2+190	FMF	4	BB ₁	4.00	19.20		Fragmenté(Fissuré)	Lisse	Fissuré	
					BB ₂	3.50		Collé	Fragmenté(Fissuré)	Lisse	Fissuré	
					GB ₁	5.50		Collé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
					GB ₂	6.20		Collé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
Ok Zone 03	C12	2+230	FMF	4	BB ₁	5.50	21.00		Fissuré	Lisse	Fissuré	
					BB ₂	3.00		Décollé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
					GB ₁	5.50		Décollé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
					GB ₂	7.00		Collé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
Ok Zone 03	C13	2+390	FMF	4	BB ₁	3.50	22.00		Fragmenté(Fissuré)	Lisse	Fissuré	
					BB ₂	3.00		Collé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
					GB ₁	7.00		Décollé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
					GB ₂	8.50		Décollé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
Ok Zone 03	C14	2+536	Zone saine	4	BB ₁	8.80	25.80		Saine	Lisse	Saine	
					BB ₂	4.00		Collé	Saine	Lisse	Saine	
					GB ₁	6.00		Collé	Saine	Lisse	Saine	
					GB ₂	7.00		Collé	Saine	Lisse	Saine	
Ok Zone 04	C15	2+984	FL	3	BB ₁	6.50	22.00		Fissuré	Lisse	Fissuré	
					GB ₁	7.50		Collé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
					GB ₂	8.00		Collé	Fissuré	Lisse	Saine	
Ok Zone 04	C16	3+130	Zone saine	3	BB ₁	8.30	23.80		Saine	Lisse	Saine	
					GB ₁	8.50		Collé	Saine	Lisse	Saine	
					GB ₂	7.00		Collé	Saine	Lisse	Saine	

Ok Zone 04	C19	3+833	OPR	3	BB ₁	10.00	22.50		Saine	Lisse	Saine	Zone 04
					GB ₁	5.50		Collé	Saine	Lisse	Saine	
					GB ₂	7.00		Collé	Saine	Lisse	Saine	
Ok Zone 04	C20	4+150	Zone saine	3	BB ₁	7.30	23.30		Saine	Lisse	Saine	
					GB ₁	9.00		Collé	Saine	Lisse	Saine	
					GB ₂	7.00		Collé	Saine	Lisse	Saine	
Ok Zone 04	C22	4+630	Zone saine	3	BB ₁	6.30	25.10		Saine	Lisse	Saine	
					GB ₁	7.30		Collé	Saine	Lisse	Saine	
					GB ₂	11.50		Collé	Saine	Lisse	Saine	
Ok Zone 04	C23	4+872	FL	3	BB ₁	7.00	22.00		Fissuré	Lisse	Fissuré	
					GB ₁	7.00		Collé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
					GB ₂	8.00		Collé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
Ok Zone 04	C24	4+888	FMF	3	BB ₁	5.00	19.30		Fragme nté(Fis suré)	Lisse	Fissuré	
					GB ₁	6.30		Décollé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
					GB ₂	8.00		Collé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
Ok Zone 04	C25	4+929	FMF	3	BB ₁	6.60	21.60		Fragme nté(Fis suré)	Lisse	Fissuré	
					GB ₁	6.00		Décollé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
					GB ₂	9.00		Collé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
Ok Zone 04	C26	5+340	FMF	3	BB ₁	9.00	22.30		Fragme nté(Fis suré)	Lisse	Fissuré	
					GB ₁	5.50		Collé	Fragme nté(Fis suré)	Lisse	Fissuré	
					GB ₂	7.80		Décollé	Fissuré	Lisse	Fissuré	

Tableau IV.6 : Qualité des carottes en zones 5 et 6

Ok Zone 05	C27	5+920	Zone saine	3	BB ₁	7.80	20.80		saine	Lisse	saine	Zone 05
					BB ₂	6.00		Décollé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
					GB ₁	7.00		Collé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
Confirma tion C20(ok évaluation)	C28	5+923	Zone saine	3	BB ₁	8.00	20		saine)	Lisse	saine	
					GB ₁	5.00		Décollé	saine	Lisse	saine	
					GB ₂	7.00		Collé	saine	Lisse	saine	
Ok Zone 05	C29	6+150	Zone saine	3	BB ₁	6.00	23.80		saine	Lisse	saine	
					GB ₁	10.00		collé	saine	Lisse	saine	
					GB ₂	7.80		Collé	saine	Lisse	saine	
Ok Zone 05	C30	6+208	PL(ramif ier)	3	BB ₁	6.00	21.80		Fissuré)	Lisse	Fissuré	
					GB ₁	7.80		Décollé	saine	Lisse	saine	
					GB ₂	8.00		Décollé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
Ok Zone 05	C31	6+500	Zone saine	3	BB ₂	9	24.00		Saine	Lisse	Saine	
					GB ₁	7		Collé	Saine	Lisse	Saine	
					GB ₂	8		Collé	Saine	Lisse	Saine	
Ok Zone 06	C32	6+710	FMF	3	BB ₁	9.50	22.90		Fragm enté(Fi ssuré)	Lisse	Fissuré	Zone 06
					GB ₁	6:20		Décollé	saine	Lisse	saine	
					GB ₂	7:20		Collé	saine	Lisse	Saine	
Ok Zone 06	C33	6+900	FMF	4	BB ₁	03	20		Fissuré	Lisse	Fissuré	
					BB ₂	07		Collé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
					GB ₁	07		Collé	Fissuré	Lisse	Fissuré	
					GB ₂	06		Collé	Fissuré	LISSE	Fissuré	
Ok Zone 06	C34	7+039	FMF	3	BB ₁	8	22		Fragm enté(Fi ssuré)	Lisse	Fissuré	
					GB ₁	7		Collé	Saine	Lisse	Saine	
					GB ₂	7		Collé	Saine	Lisse	Saine	
Ok	C36	7+850	Zone saine	3	BB ₁	8	22.70		Saine	Lisse	Saine	
					GB ₁	7.20		Collé	Saine	Lisse	Saine	

Zone 06					GB ₂	7.50		Collé	Saine	Lisse	Saine	
Ok Zone 06	C37	8+237	FMF	3	BB ₁	8	17.50		Fissuré	Lisse	Fissuré	
					GB ₁	2.50			Collé	Fissuré	Lisse	Fissuré
					GB ₂	7			Décollé	Fissuré	Lisse	Fissuré
Ok Zone 06	C38	8+950	Zone saine	4	BB ₁	6.00	26.50		Saine	Lisse	Saine	
					BB ₂	2.80			Collé	Saine	Lisse	Saine
					GB ₁	10.70			Collé	Saine	Lisse	Saine
					GB ₂	7.00			Collé	Saine	Lisse	Saine
Ok Zone 06	C39	9+792	FMF	3	BB ₁	5.60	16.60		(Fissuré)	Lisse	Fissuré	
					BB ₂	5			collé	Fissuré	Lisse	Fissuré
					GB ₂	6			Collé	Saine	Lisse	Saine
Ok	C40	9+632	FL	4	BB ₁	9.00	25.50		Fissuré	Lisse	Fissuré	
					BB ₂	3.00			collé	Fissuré	Lisse	Fissuré
					GB ₁	6.00			Décollé	Fissuré	Lisse	Fissuré
					GB ₂	7.50			collé	Fissuré	Lisse	Fissuré
Ok Zone 06	C41	10+000	Zone saine	3	BB ₁	10.50	28.40		Saine	Lisse	Saine	
					GB ₁	7.20			Collé	Saine	Lisse	Saine
					GB ₂	10.70			Décollé	Saine	Lisse	Saine

IV.6.4 Calcul de la carotte globale représentatif de chaque zone homogène :

Les récents résultats nous ont permis de déterminer, pour chaque zone, les caractéristiques physiques, qui sont les matériaux constitutants de chaque carotte, le module de référence, qualité de la carotte et celle de la parois, ainsi que l'état des interfaces et l'épaisseur de chaque couche des matériaux dans la carotte (Tableaux VI.7 à IV.12).

Tableau IV.7 Résultats de calcul de la carotte représentative (zone 1)

		Carotte global de la zone 01			
Matériaux	Module de référence (MPa)	Qualité de la carotte	Qualité de la parois	État des interfaces	Épaisseur (cm)
BB 01	4000	Fissuré	Lisse		5.88
BB 02	4000	Fissuré	Lisse	Collé	5.14
GB 01	7000	Fissuré	Lisse	Collé	7.16
GB 02	7000	Fissuré	Lisse	Collé	8.4

Tableau IV.8 Résultats de calcul de la carotte représentative (zone 2)

		Carotte global de la zone 02			
Matériaux	Module de référence (MPa)	Qualité de la carotte	Qualité de la parois	État des interfaces	Épaisseur (cm)
BB 01	4000	Saine	Lisse		7.15
BB 02	4000	Saine	Lisse	Collé	7.15
GB 01	7000	Saine	Lisse	Collé	7.25

Tableau IV.9 Résultats de calcul de la carotte représentative (zone 3)

		Carotte global de la zone 03			
Matériaux	Module de référence (MPa)	Qualité de la carotte	Qualité de la parois	État des interfaces	Épaisseur (cm)
BB 01	4000	Fissuré	Lisse		5.45
BB 02	4000	Fissuré	Lisse	Collé	3.38
GB 01	7000	Fissuré	Lisse	Décollé	6

Tableau IV.10 Résultats de calcul de la carotte représentative (zone 4)

		Carotte global de la zone 04			
Matériaux	Module de référence (MPa)	Qualité de la carotte	Qualité de la parois	État des interfaces	Épaisseur (cm)
BB 01	4000	Fissuré	Lisse		7.33
BB 02	4000	Fissuré	Lisse	Collé	6.96
GB 01	7000	Fissuré	Lisse	Collé	8.14

Tableau IV.11 Résultats de calcul de la carotte représentative (zone 5)

		Carotte global de la zone 05			
Matériaux	Module de référence (MPa)	Qualité de la carotte	Qualité de la parois	État des interfaces	Épaisseur (cm)
BB 01	4000	Saine	Lisse		7.36
BB 02	4000	Saine	Lisse	Décollé	7.16
GB 01	7000	Fissuré	Lisse	Collé	7.6

Tableau IV.12 Résultats de calcul de la carotte représentative (zone 6)

		Carotte global de la zone 06			
Matériaux	Module de référence (MPa)	Qualité de la carotte	Qualité de la parois	état des interfaces	Épaisseur (cm)
BB 01	4000	Fissuré	Lisse		8.04
BB 02	4000	Fissuré	Lisse	Collé	6.76
GB 01	7000	Fissuré	Lisse	Collé	7.27

IV.6.5 Schématisation des implantations

Les figures ci-après (Figures IV.10, IV.11 et IV.12), illustrent la schématisation de l'implantation des carottes effectuées dans l'auscultation.

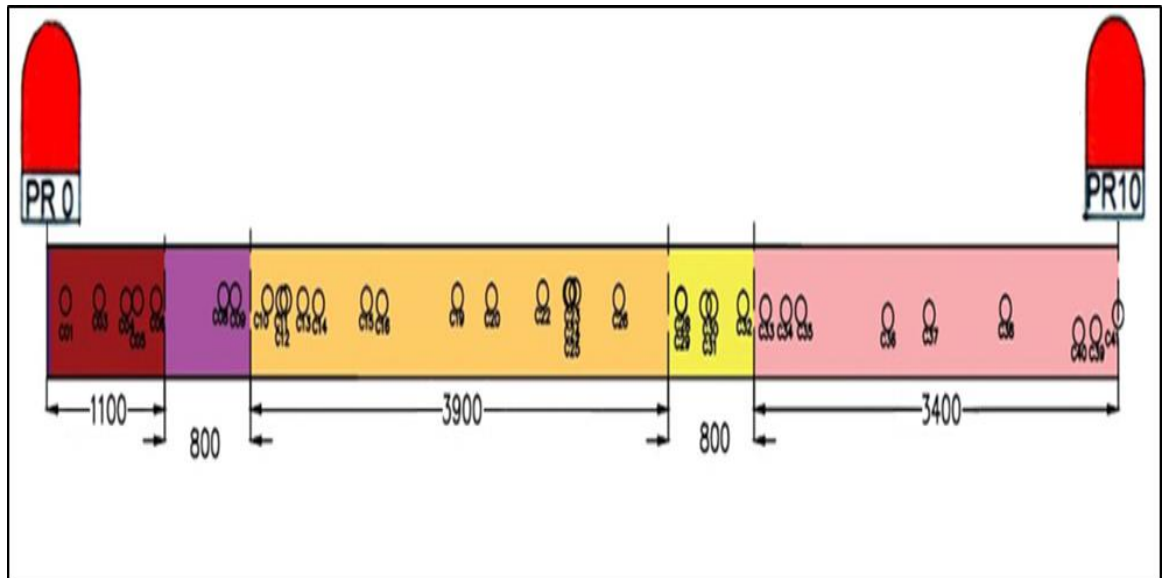


Figure IV.10 : Implantation des carottes dans la zone homogène globale

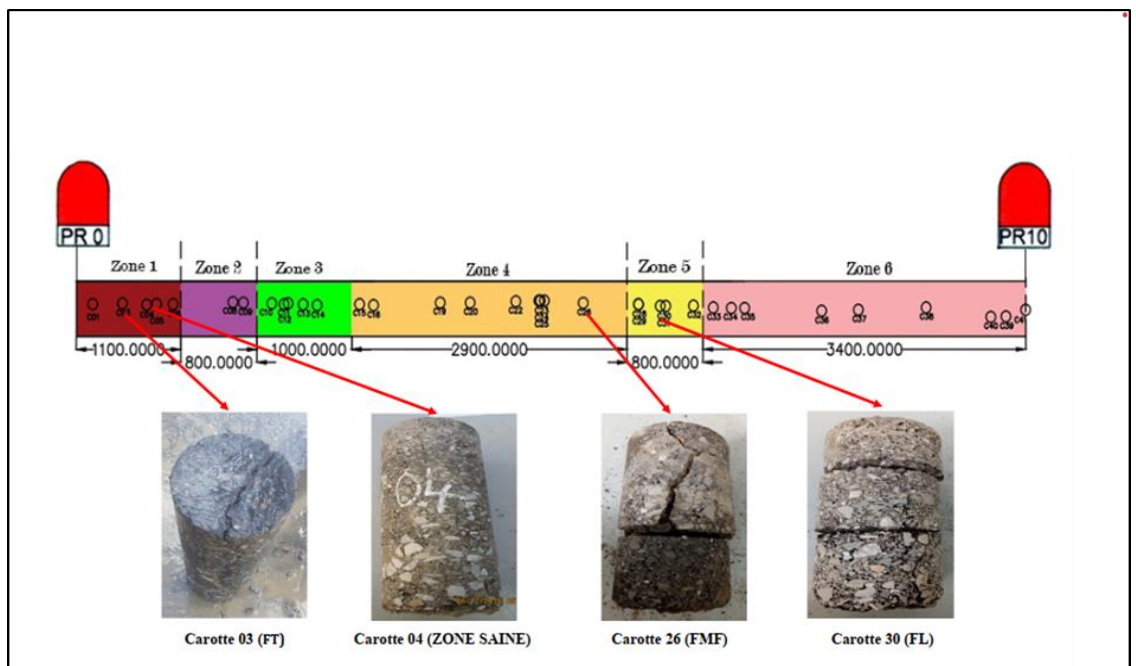


Figure IV.11 : Découpage en zone homogène après implantation des carottes

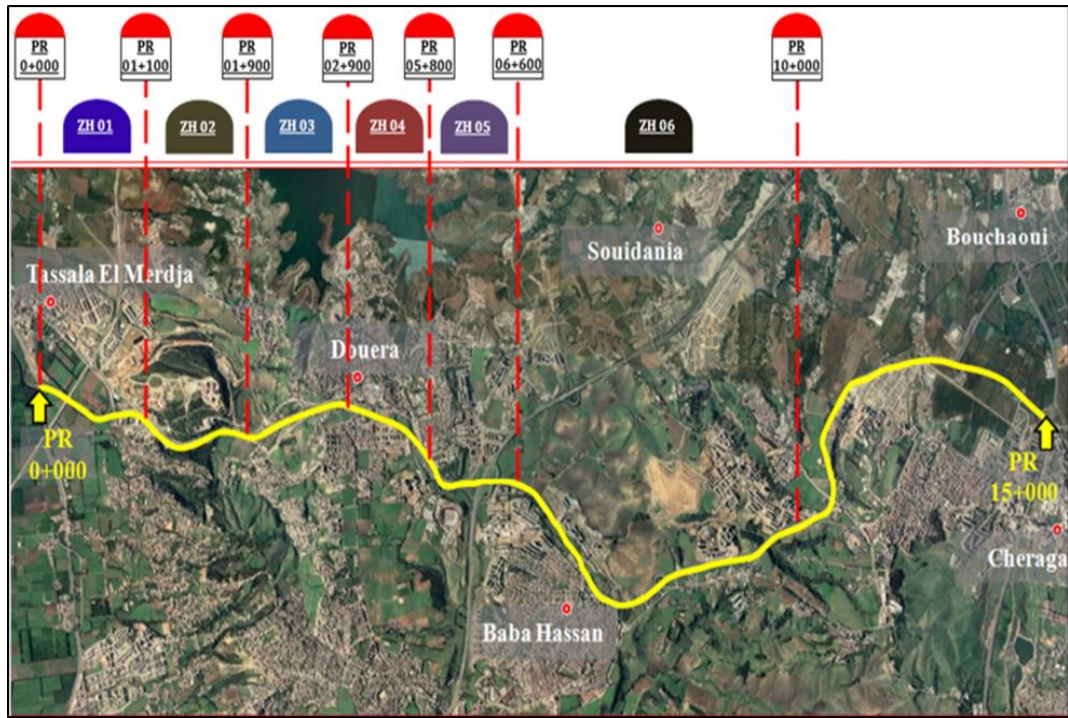


Figure IV.12 : Découpage en zone homogènes globales

CHAPITRE V

CALCUL DE DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE PAR ALIZE

CALCUL DE DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE PAR ALIZE

V.1 Introduction :

Dans ce chapitre, on présentera , tout d’abord, le calcul de renforcement nécessaire au tronçon de la route, ou on présentera toutes les étapes de dimensionnement. Dans la deuxième partie ,on fera une vérification de la structure de la chaussée, choisie par le logiciel ‘‘Alize 1.5’’en dimensionnement et ce, à partir d'une comparaison entre les résultats analytiques et celle calculées à l'aide du logiciel. On aura à déterminer les contraintes verticales et tangentielles. sous les couches de sol -support et de base.

V.2 Principe du programme ALIZE1.5 :

Le dimensionnement d'une chaussée s'effectue en calculant pour un chargement de référence (Appelée jumelage type), les contraintes et les déformations à l'intérieur de la structure. Le logiciel Alizé effectue le calcul en appliquant un modèle de Burmister [22] et le principe de superposition des charges (hypothèse des modèles élastiques linéaires). Les contraintes et déformations calculées précédemment sont alors comparées à des limites admissibles en utilisant les lois de fatigue des différents matériaux issues des essais de laboratoire, Ces valeurs admissibles tiennent également compte de la durée de vie attendue de la chaussée, du trafic prévisible, d'un risque (probabilité admise) de détérioration de la structure avant terme. Les déformations et contraintes sont estimées à la base des couches (efforts de traction importants). Selon la nature du matériau, les valeurs admissibles à respecter sont définies en termes de déformations pour les matériaux bitumineux et en termes de contraintes pour les matériaux hydrauliques. Le modèle développé par ‘‘Burmister’’ propose deux hypothèses de calcul suivant la liaison existante entre les couches [25] :

- L'hypothèse interface collée assure une continuité des contraintes verticales et des déformations horizontales de part et d'autre de l'interface séparant les deux couches. Cette hypothèse, la plus favorable, réduit le niveau de contrainte à l'interface.
- L'hypothèse interface décollée (glissement) suppose une nullité de la contrainte de cisaillement et une discontinuité des déformations horizontales dans le plan de l'interface.
- Cette hypothèse, défavorable, implique d'augmenter l'épaisseur des couches pour réduire

Le niveau de contrainte et déformation à l'interface conduisant ainsi à réduire l'intérêt économique de la solution envisagée

V.3 Principe de calcul et introduction de données :

Il consiste à modéliser une structure, de manière à calculer les contraintes, ainsi que les déformations provoquées par une charge type.

Les « input » du programme ALIZE 1.5, sont pour chaque couche :

- l'épaisseur.
- le module de rigidité (E).
- le coefficient de poisson (V).

Pour évaluer les caractéristiques mécaniques des différentes couches, le catalogue de dimensionnement des chaussées neuves nous permet de déterminer les modules de chaque couche de la chaussée.

V.4 Relevé des données d'auscultation :

V.4.1 Auscultation par mesure de dégradation :

Afin d'avoir une description la plus fidèle que possible de l'état de la route. l'ingénieur se base d'une part, sur l'approche d'évaluation des dégradations décrite dans le guide des renforcements des chaussées en indiquant les degrés d'évaluation de gravité de chaque type de dégradation, ainsi que l'approche d'appréciation globale basée sur la combinaison des évaluations prise à part pour chaque type de dégradation.

Les tableaux, ci après (Tableaux V.1 et V.2), illustrent les résultats des dégradations par L'examen visuel du tronçon de notre projet d'étude d'après le guide de renforcement des chaussées (CTTP), l'appréciation est conclue selon la valeur de D, Pour la classification de l'état de dégradation de la sous-section, il suffit alors de comparer le paramètre obtenu aux plages suivantes :

- D < 2 : État bon ;
- 2 < D < 4 : État moyen ;
- D =4 : Mauvis état

Tableau V.1.Relevée final et découpage en zones homogènes

	Linéaire Total (KM)	Appréciation	Distance de la sous-section	Zone Homogènes	Linéaire Cumulé	% Dégradation
	10,000					
PR0 ou PR1	1000	Bon	100	Zone 01	100	4% FMF+ 3% AFF+2FL +2FT
		Mauvais	100		200	
		Moyen	100		300	
		Bon	100		400	
		Mauvais	100		500	
		Mauvais	100		600	
		Bon	100		700	
		Bon	100		800	
		Mauvais	100		900	
		Bon	100		1000	
PR1 ou PR2	1000	Mauvais	100	Zone02	1100	Zone saine
		Bon	100		1200	
		Bon	100		1300	
		Bon	100		1400	
		Bon	100		1500	
		bon	100		1600	
		Bon	100		1700	
		Bon	100		1800	
		Bon	100		1900	
		Mauvais	100		2000	
PR2 ou PR3	1000	Moyen	100		2100	
		Mauvais	100		2200	
		Mauvais	100		2300	
		mauvais	100		2400	
		Moyen	100		2500	
		Bon	100		2600	
		Moyen	100		2700	
		Moyen	100		2800	
		Bon	100		2900	

				Zone 03		
		Mauvais	100		3000	14%FMF+
PR3 ou PR4	1000	Mauvais	100	3100	5%AFF+102	
		Bon	100	3200	FL	
		Mauvais	100	3300	+ 1FT+0.5%	
					TAS +7%OPR	
		Bon	100	3400		
		Mauvais	100	3500		
		Mauvais	100	3600		
		Bon	100	3700		
		Mauvais	100	3800		
		Mauvais	100	3900		
		Mauvais	100	4000		
PR4 au PR5	1000	Bon	100	4100		
		Bon	100	4200		
		Bon	100	4300		
		Mauvais	100	4400		
		Moyen	100	4500		
		Moyen	100	4600		
		Bon	100	4700		
		Mauvais	100	4800		
		Mauvais	100	4900		
		Mauvais	100	5000		
		PR5 au PR6	1000	Mauvais	100	5100
Moyen				5200		
Moyen	100			5300		
Mauvais	100			5400		
Moyen	100			5500		
Mauvais	100			5600		
Mauvais	100			5700		
Mauvais	100			5800		

		Bon	100	Zone 04	5900	
		Bon	100		6000	
		Bon	100		6100	
		Bon	100		6200	
		Moyen	100		6300	
		Bon	100		6400	
		Bon	100		6500	
		Bon	100		6600	
PR7 au PR8	1000	Mauvais	100	Zone 05	6700	6%FMF+ 6aff+130fl+ 3%tas +1%opr
		Mauvais	100		6800	
		Mauvais	100		6900	
		Mauvais	100		7000	
		Mauvais	100		7100	
		Mauvais	100		7200	
		Bon	100		7300	
		Bon	100		7400	
		Moyen	100		7500	
		Mauvais	100		7600	
		Bon	100		7700	
		Moyen	100		7800	
		Bon	100		7900	
PR8 au PR9	1000	Moyen	100		8100	
		Bon	100		8200	
		Mauvais	100		8300	
		mauvais	100		8400	
		Moyen	100		8500	
		Moyen	100		8600	
		Moyen	100		8700	
		Bon	100		8900	
		Bon	100		9000	

PR9 au PR10	1000	Mauvais	100		9100
		Mauvais	100		9200
		Mauvais	100		9300
		Mauvais	100		9400
		Moyen	100		9500
		Mauvais	100		9600
		Mauvais	100		9700
		Moyen	100		9800
		Mauvais	100		9900
		Mauvais	100		10000

Les légendes des dégradations sont données dans le tableau V.2 suivant :

Tableau V.2 :Légende des dégradations

FMF	Faïençage À Maille Fines
AFF	Affaissement
FL	Fissure Longitudinal
FT	Fissure Transversal
OPR	Orniérage À Petit Rayon
TAS	Tassement

V.4.2 Généralité sur le trafic :

on indiquera les valeurs de trafic qui définit par le nombre de poids lourds circulant sur la voie la plus chargée pour caractériser les seuils de déflexions à partir du guide de renforcement

V.4.2.1 Calcul de trafic :

Nous avons effectuées des mesures de trafic pour dimensionner le renforcement de notre tronçon affecté par des dégradations superficielles graves.

V.4.2.2 Le Trafic Poids lourds :

Pour résoudre la plupart des problèmes d'aménagement ou d'exploitation routiers, il est insuffisant de connaître la circulation en un point donnée sur une route existante, il est Souvent

nécessaire de connaître les différents courants de circulation, leurs formations, leurs aboutissements, en d'autres termes de connaître l'origine et la destination des différents véhicules.

V.4.3 Résultats De Comptage Du Trafic :

Selon les données relevées par le CTTP on a :

RN 01	2ème Rocade -Aller- (PR-Caller 9+210)	Rocad Sud
Échangeur		
ALLER (2) = 32775 / PL= 8,6% = 2737		ALLER (1) = 45690 / PL= 6,8% = 3097
RETOUR (1) = 38274 / PL= 6,9% = 2551		RETOUR (2) = 47368 / PL= 6,8% = 3221
RN 01	2ème Rocade -Retour- (PR-Caller 6+110)	Rocad Sud

FigureV.1 : Découpage en zone homogène en fonction du trafic

Répartition en rase campagne :

Chaussées à 2 × 2 voies

Voie lente : 90 % du trafic PL pour le sens considère.

Voie rapide : 10 % du trafic PL pour le sens considère.

Chaussées à 2 × 3 voies

Voie lente : 80 % du trafic PL pour le sens considère.

Voie médiane : 20 % du trafic PL pour le sens considère.

Voie rapide : 0 %

On classe notre Trafic TPL selon le tableau suivant :

Tableau V.3 :Classes de trafic TPLi adoptées

		TPL0	TPL1	TPL2	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6	TPL7
PL /J/Sens	RP1	-	-	-	150 à 300	300 à 600	600 à 1500	1500 à 3000	3000 à 6000
PL /J/Sens	RP2	0 à 50	50 à 100	100 à 150	150 à 300	-	-	-	-

Dans notre cas on a :

➤ **Du PR0+000 au PR6+110(RETOUR1)**

On indique que le pourcentage de poids lourds

$$\%PL = 6,9\%$$

Pour le calcul de trafic, on a basé sur les données suivantes :

Année des derniers travaux : **2009**

Année de comptage : **2018**

Année de mise en service : **2019**

Durée de vie escomptée : **n=10 ans**

Coefficient d'accroissement annuel : **i=5%**

Coefficient de charge : **C = 0.8**

On obtient alors le résultat suivants :

$$\mathbf{TJMA=38274 \text{ V/J/S}}$$

$$\% \text{ PL} = 6,9 \% \rightarrow \mathbf{TJMPL = 2641 \text{ PL/J/V}}$$

Répartition :

$$\text{Voie (1) : } 2641 \times 90\% = 2377 \text{ PL/J/S}$$

✓ **Trafic poids lourds à l'année de mise en service**

$$\mathbf{TPLi = (1 + i)^n \times TJMPL}$$

n : est le nombre d'années s'écoulant entre l'année de comptage et celle de mise en service.

TPLi: trafic poids lourd à l'année de mise en service

TJMPL : trafic poids lourd à l'année de comptage par la voie considérée

$$\mathbf{TPLi = (1 + 0,05)^{(2019-2018)} \times 2377 = 2496 \text{ PL /J/V} \text{ ===== } \mathbf{TPL6}$$

✓ **Trafic cumulé poids lourds :**

$$\mathbf{Tci = 365 \times TPLi \times (1 + i)^{n-1} / i}$$

Tci: Trafic cumulé prévisionnel sur la durée de vie escomptée. (10 ans)

n : la durée de vie escomptée = 10ans

$$T_{ci} = 365 \times 2496 \times (1 + 0,05)^{10} - 1/0,05$$

$$T_{ci} = 11,46 \times 10^6 \text{ PL/J/V}$$

✓ **Trafic cumulé équivalent :**

C'est le nombre cumulé de poids lourds de charge utile supérieure à 5 tonnes supportée par l'ancienne chaussée. Il se déterminera sur la voie de circulation la plus chargée :

$$T_{ce} = T_{ci} \times C$$

$$T_{ce} = 11,46 \times 10^6 \times 0,8$$

$$T_{ce} = 9,10 \times 10^6 \text{ essieu. equiv/J/V}$$

Du PR6+110 au PR10+000(RETOUR2)

On indique que le pourcentage de poids lourds

$$\%PL = 6,8\%$$

$$T_{JMA} = 47368 \text{ V/J/S}$$

$$\% PL = 6,8\% \rightarrow T_{JMPL} = 3221 \text{ PL/J/V}$$

Répartition :

$$\text{Voie (1)} : 3221 \times 90\% = 2899 \text{ PL/J/S}$$

✓ **Trafic poids lourds à l'année de mise en service :**

$$T_{PLi} = (1 + i)^n \times T_{JMPL}$$

$$T_{PLi} = (1 + 0,05)^{(2019-2018)} \times 2899 = 3044 \text{ PL /J/V} = \text{TPL7}$$

✓ **Trafic cumulé poids lourds :**

$$T_{ci} = 365 \times T_{PLi} \times (1 + i)^n - 1/i$$

$$T_{ci} = 365 \times 3044 \times (1 + 0,05)^{10} - 1/0,05$$

$$T_{ci} = 13,97 \times 10^6 \text{ PL/J/V}$$

✓ **Trafic cumulé équivalent :**

$$T_{ce} = T_{ci} \times C$$

$$T_{ce} = 13,97 \times 10^6 \times 0,8$$

$$T_{ce} = 11,18 \times 10^6 \text{ essieu. equiv/J/V}$$

V.5 Auscultation par mesure de déflexion :

La déflexion exprimée en 1/100 mm est la déformation élastique verticale mesurée à la surface d'une chaussée au passage d'une charge roulante constituée de deux roues jumelées d'un essieu de 13 tonnes. Les valeurs de mesures seront matérialisées par une représentation graphique. D'après [23]

V.5.1 Les facteurs qui influent sur la déflexion :

Une étude de recherche effectuée sur l'ingénierie des chaussées à l'Université de LAVAL (Canada), entre les années suivantes (2006-2008), par un groupe de chercheurs[24], ont permis d'identifier le comportement de plusieurs types de chaussées municipales sous l'effet de plusieurs paramètres. Ces chercheurs se sont basé sur une méthode d'auscultation non-destructive de ces chaussées, à l'aide d'un Défectomètre a masse tombante (HWD) par l'analyse de bassins de déflexion en fonction de :

- La saison
- La charge appliquée
- Le type de chaussée
- La structure de chaussée

V.5.2 Mode opératoire de mesure de la déflexion :

Le processus de L'enchainement de la mesure de déflexion statique sur le tronçon concerné dans le projet à partir du Défectographe Lacroix , qui a été utilisé sur l'axe et la rive de la voie droite (la voie la plus chargée) du profil en long de la chaussée.

➤ Calcul de déflexion caractéristique :

$$D_c = D_m + 2\sigma$$

D_m :déflexion moyenne

σ : l'écart type

➤ Détermination des zones homogènes de la Déflexion :

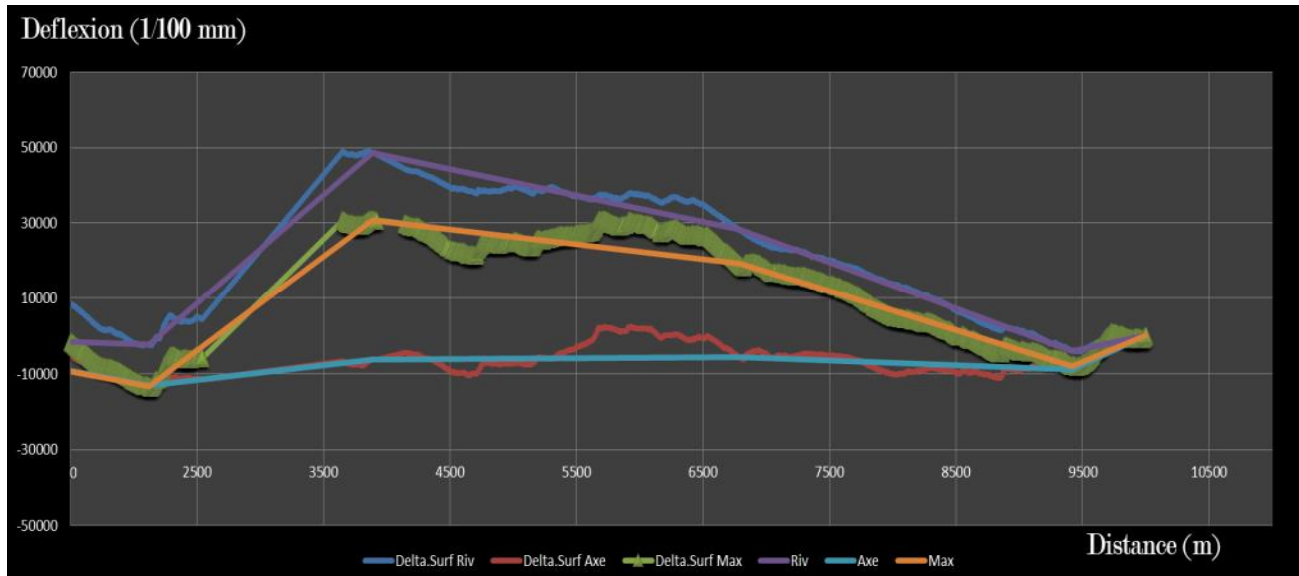


Figure V.2 :Graphe représentatifs de la déflexion obtenu

Pour les zones homogènes de déflexion, le tableau suivant illustre les résultats trouvés (Tableau V.4).

Tableau V.4 :Zones homogènes de déflexion

N° Zone	PR début	PR fin	Linéaire	Moyenne DEF RIV	Ectype DEF RIV	Moyenne DEF Axe	Ectype DEF Axe	Moy Temp
ZH01	0	2120	2120	33,84	23,19	25,82	10,59	33,94
ZH02	2120	3890	1770	45,77	43,66	34,15	13,15	33,42
ZH03	3890	6790	2900	27,50	23,40	31,67	22,11	31,42
ZH04	6790	9420	2630	21,63	12,63	30,72	19,06	30,78
ZH05	9420	10000	580,084	40,59	31,70	47,89	23,35	29,90

➤ **Résultats des calculs de la déflexion caractéristique après découpages en zones homogènes :**

Tableau V.5 :Déflexion caractéristique

N° Zone	Moy+2*écart RIV	Moy+2*écart AXE	Def.cart. MAX	Temp.Moy
ZH01	80	47	8021	33,94
ZH02	133	60	133,10	33,42
ZH03	74	76	75,89	31,42
ZH04	47	69	68,84	30,78
ZH05	103,98	94,58	103,98	29,90

➤ **Sectionnement en tronçon homogènes :**

Une zone homogène fait référence à des données d'historique (structure, trafic, date de réalisation) et a des caractéristiques de la chaussée identiques. La combinaison des différents critères d'auscultation de la chaussée, nous a permis de découper le tronçon objet de l'étude, en section homogènes présentant les mêmes caractéristiques du point de vue :

- Trafic.
- Portance (la déflexion).
- État de revêtement (les dégradations).

Afin d'obtenir les zones homogène globale, nous avons procédé à une intersection entre les différentes zones homogènes.

➤ Schématisation :

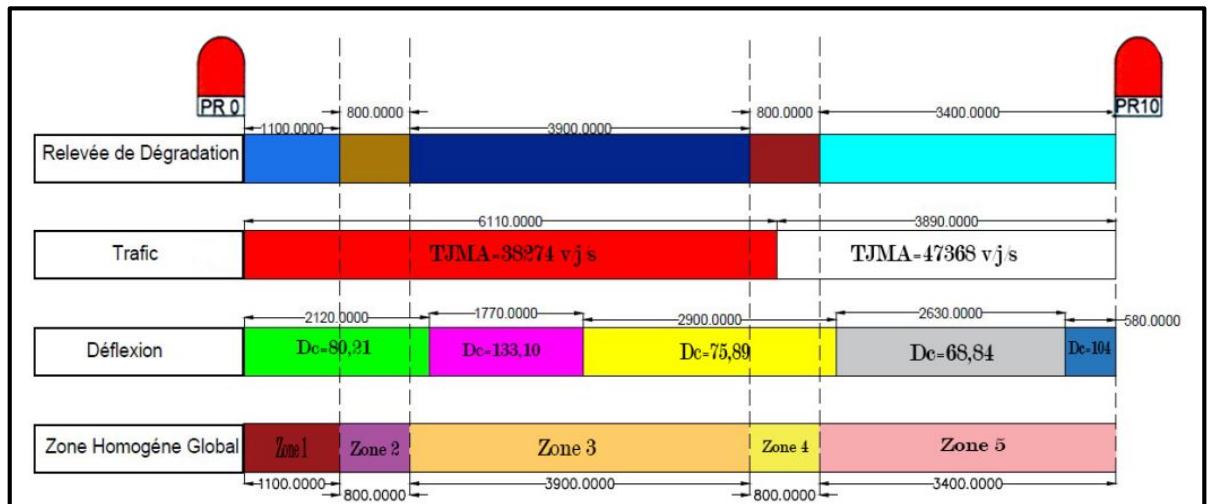


Figure V.3 :Zone homogène globale

V.5.3 Calcul de la Déflexion Mesure par rapport a θ_{eq} :

Les valeurs mesurées de déflexion sont fonction de la température dans les matériaux bitumineux et de l'appareil de mesure.[27]

Lorsque la température de la chaussée lors de la mesure est différente de 20°C, les valeurs de déflexion peuvent être corrigées pour être ramenées à la température conventionnelle de 20°C à l'aide de la formule suivante :

$$d_{20^{\circ}c} = \frac{d_{\theta_{mes}}}{1 + k \times \frac{\theta_{mes} - 20}{20}}$$

Avec :

$d_{20^{\circ}c}$: Déflexion à 20°C ;

$d_{\theta_{mes}}$: : déflexion mesurée à la température θ_{mes} (relevée à mi-hauteur des matériaux bitumineux si leur épaisseur dépasse 0,15 m ou, par défaut, en surface de la chaussée à l'abri de l'ensoleillement) ;

K : coefficient fonction du type de structure ;

θ_{mes} : la température du la couche de roulement .

Tableau V.6 : Valeur de K (correction déflexion) en fonction du la structure de chaussée

Type de structure	K
Souple	0,15
Bitumineuse épaisse	0,20
Mixte	0,08
Semi-rigide	0,04

La valeur de déflexion dépend également du type d'appareil utilise et les études menées à partir de capteurs ancrés sur différentes structures de chaussées ont montré que les déflexions mesurées au Défectographe sont fonction de la rigidité de la structure et de la géométrie de l'appareillage de mesure.

Ainsi, pour les mesures au Défectographe, les déflexions mesurées sur structures peu déformables (c'est-à-dire tout type de structure dont la déflexion mesurée est inférieure ou égale à 40 1/100 mm pour une mesure au Défectographe 02 ou 03, ou inférieure ou égale à 30 1/100mm pour une mesure au Défectographe 04 ou au Flash) doivent être corrigées pour fournir une valeur plus représentative de la rigidité vraie de la chaussée.

Par suite, la formule de correction des déflexions mesurées est la suivante :

$$\text{Déflexion corrigée} = \frac{0,052 \times E \times H^3}{(12X(1-\nu^2))} + 0,6 \times \text{Déflexion mesurée} + \text{Cte}$$

E : module estime de la structure équivalente (MPa) ;

ν : coefficient de Poisson du matériau d'assise ;

H : épaisseur « équivalente » de la structure (m);

Cte = 14 pour un Défectographe 03, 10 pour un Défectographe 04 ou un Flash.

Dans le cas des structures bitumineuses épaisses constituées par différentes couches de matériaux bitumineux, le module E est la somme pondérée des modules estimes de chaque couche bitumineuse pour la détermination du module du sol Support (module du matériau neuf, divise par 2), pondère par l'épaisseur relative de la couche :

$$E = \frac{\sum E_i \times H_i}{\sum H_i}$$

Avec :

E_i :Module de la couche i ;

H_i: Épaisseur de la couche i ;

- L'épaisseur équivalente H est la somme des épaisseurs des couches bitumineuses

Tableau V.7a : Résultats de calcul de la Déflexion mesurée en zone 1

		Carotte global de la zone 01					
Matériau x	Module de référence (MPa)	Qualité de la carotte	Qualité de la parois	État des interfaces	Épaisseur (cm)	Déflexion caractéristique	Déflexion $\theta_{eq}(1/100)$
BB 01	4000	Fissuré	Lisse		5.88	89,4	78,7
BB 02	4000	Fissuré	Lisse	Collé	5.14		
GB 01	7000	Fissuré	Lisse	Collé	7.16		
GB 02	7000	Fissuré	Lisse	Collé	8.4		

Tableau V.7b : Résultats de calcul de la Déflexion mesurée en zone 2

		Carotte global de la zone 02					
Matériau x	Module de référence (MPa)	Qualité de la carotte	Qualité de la parois	État des interfaces	Épaisseur (cm)	Déflexion caractéristique	Déflexion $\theta_{eq}(1/100)$
BB 01	4000	Saine	Lisse		7.15	61,9	54,3
BB 02	4000	Saine	Lisse	Collé	7.15		
GB 01	7000	Saine	Lisse	Collé	7.25		

Tableau V.7c : Résultats de calcul de la Déflexion mesurée en zone 3

		Carotte global de la zone 03					
Matériau x	Module de référence (MPa)	Qualité de la carotte	Qualité de la parois	État des interfaces	Épaisseur (cm)	Déflexion caractéristique	Déflexion $\Theta_{eq}(1/100)$
BB 01	4000	Fissuré	Lisse		5.45	130,8	115
BB 02	4000	Fissuré	Lisse	Collé	3.38		
GB 01	7000	Fissuré	Lisse	Décollé	6		
GB 02	7000	Fissuré	Lisse	Collé	7.18		

Tableau V.7d : Résultats de calcul de la Déflexion mesurée en zone 4

		Carotte global de la zone 04					
Matériau x	Module de référence (MPa)	Qualité de la carotte	Qualité de la parois	État des interfaces	Épaisseur (cm)	Déflexion caractéristique	Déflexion $\Theta_{eq}(1/100)$
BB 01	4000	Fissuré	Lisse		7.33	78,4	70
BB 02	4000	Fissuré	Lisse	Collé	6.96		
GB 01	7000	Fissuré	Lisse	Collé	8.14		

Tableau V.7e : Résultats de calcul de la Déflexion mesurée en zone 5

		Carotte global de la zone 05					
--	--	------------------------------	--	--	--	--	--

Matériau x	Module de référence (MPa)	Qualité de la carotte	Qualité de la parois	État des interfaces	Épaisseur (cm)	Déflexion caractéristique	Déflexion $\Theta_{eq}(1/100)$
BB 01	4000	Saine	Lisse		7.36	72,38	65,36
BB 02	4000	Saine	Lisse	Décollé	7.16		
GB 01	7000	Fissuré	Lisse	Collé	7.6		

Tableau V.7f : Résultats de calcul de la Déflexion mesurée en zone 6

		Carotte global de la zone 06					
Matériau x	Module de référence (MPa)	Qualité de la carotte	Qualité de la parois	état des interfaces	Épaisseur (cm)	Déflexion caractéristique	Déflexion $\Theta_{eq}(1/100)$
BB 01	4000	Fissuré	Lisse		8.04	75,1	67,87
BB 02	4000	Fissuré	Lisse	Collé	6.76		
GB 01	7000	Fissuré	Lisse	Collé	7.27		

V.6 Détermination du module du sol par calcul inverse :

Le calcul inverse se fait pour déterminer le module de la plateforme, sachant qu'une itération appliquée de tel façon à assurer le calage entre la déflexion corrigée suite à la déflexion mesurée par le Déflexographe Lacroix avec la déflexion calculée par ALIZE, on adopte valeur de module pour les matériaux bitumineux en fonction de l'état de ces carottes :

- Pour les matériaux sains et médiocres, la vitesse de mesure de la déflexion modifie le module apparent du matériau. Par suite, la valeur de module du matériau bitumineux à retenir est multipliée par 0,5 si la vitesse de mesure de la déflexion est inférieure à 10 km/h, ou

0,75 si la vitesse de mesure de la déflexion est supérieure à 10 km/h, sans toutefois être inférieure a 2000 MPa.

- Pour les matériaux fissurés, fragmentés et désagrégés, le caractère dégradé du matériau l'emporte sur la vitesse de mesure de la déformée. Par suite, la valeur de module du matériau bitumineux à retenir est celle du Tableau suivant :

Tableau V.8 :Modules des matériaux bitumineux en fonction de la qualité de la carotte

		Qualité de la carotte				
		Saine	Médiocre	Fissurée	Fragmentée	Désagrégée
Qualité des parois du trou de carottage	Lisses	Eref	0,7× Eref	2000Mpa	Non rencontre	Non rencontre
	Granulats arraches	Non rencontre	0,7× Eref	2000Mpa	1000Mpa	500Mpa

Le module du sol est alors déterminé par calcul inverse à partir de la valeur de la déflexion caractéristique de la section témoin, et conséquemment celui des couches granulaires sus-jacentes.

Tableau V.9. Calcule inverse du sol-support de la zone 1

Alizé-Lcpc - Résultats (Structure : données écran, Charge de référence)

épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,059	2000,0 collé	0,350	0,000	81,9	0,388	-20,3	0,660
			0,059	32,0	0,325	139,6	0,594
0,051	2000,0 collé	0,350	0,059	32,0	0,325	139,6	0,594
			0,110	-25,0	0,115	158,0	0,423
0,072	2000,0 collé	0,350	0,110	-25,0	0,115	158,0	0,423
			0,182	-89,3	-0,162	143,9	0,196
0,084	2000,0 collé	0,350	0,182	-89,3	-0,162	143,9	0,196
			0,266	-213,1	-0,548	206,0	0,060
0,100	256,0 collé	0,350	0,266	-213,1	-0,045	333,4	0,060
			0,366	-243,6	-0,071	310,3	0,034
0,100	128,0 collé	0,350	0,366	-243,6	-0,026	393,1	0,034
			0,466	-258,5	-0,036	370,3	0,024
0,100	64,0 collé	0,350	0,466	-258,5	-0,011	486,8	0,024
			0,566	-253,7	-0,014	440,2	0,019
6,000	32,0 collé	0,350	0,566	-253,7	-0,002	625,0	0,019
			6,566	0,0	0,000	17,9	0,001
infini	10000,0	0,250	6,566	0,0	0,000	0,1	0,001

variante 1: Durée= 00:00sec

Grandeurs affichées

- tableau 1
- tableau 2
- tableau 3
- tableau 4
- tableau 5
- tableau 6
- tableau 7
- tableau 8

Déflexion =78,6 mm/100
entre-jumelage

Rdc = 312,8 m

Imprimer Enregistrer

➤ Le résultat du calcul de toutes les zones est donné dans le tableau suivant :

Tableau V.10 : Résultats du calcul Inverse fournis par le logiciel ALIZE

Zone	Déflexion mesure	structure	Épaisseur(m)	Module(MPA)
ZONE 01	78,6	BB1	0,0588	2000
		BB2	0,0514	2000
		GB1	0,0716	2000
		GB2	0,084	2000
		GNT	0,1	256
			0,1	128
			0,1	64
Sol support	6	32		
ZONE 02	54,3	BB1	0,0715	2000
		BB2	0,0715	2000
		GB	0,0725	3500
		GNT	0,1	400
			0,1	240
			0,1	120
		Sol support	6	60
ZONE 03	114,9	BB1	00543	2000
		BB2	00338	2000
		GB1	006	2000
		GB2	00718	2000
		GNT	01	272
			01	135
			01	68
Sol support	6	34		
ZONE 04	70,1	BB1	0,0733	2000
		BB2	0,0696	2000
		GB1	0,0814	2000
		GNT	0,1	344
			0,1	172
			0,1	86
		Sol support	6	43
		BB1	0,0736	2000

ZONE 05		BB2	0,0716	2000
		GB1	0,0756	2000
		GNT	0,1	400
			0,1	256
			0,1	128
		Sol support	6	64
ZONE 06	67,8	BB1	0,0804	2000
		BB2	0,0676	2000
		GB1	0,0727	2000
		GNT	0,1	368
			0,1	184
			0,1	92
		Sol support	6	46

V.7 Déterminations des dommages subis :

V.7.1. Notion de dommage :

Une même couche de chaussée supporte au cours de sa durée de vie des niveaux de sollicitations divers, lui causant des dommages élémentaires distincts. Par exemple, les poids lourds qui circulent sur une chaussée sont de géométrie et de charge à l'essieu variables, et une même couche de chaussée voit son niveau de sollicitation diminuer après un rechargement sous charge constante. L'addition de ces dommages élémentaires divers accumulés en raison de conditions de chargement variables se fait à l'aide d'une loi de cumul des dommages. On utilise couramment celle de Miner [27] :

$$D_{\text{total cumulé}} = \sum D_{\text{cumulé}} = \sum \frac{N_{\text{Esubie}} * CAM}{N_{\text{E}} \text{durée de vie}}$$

Ou :

$D_{\text{total cumulé}}$: Dommage total accumulé par la couche considérée, sollicitée à différents scénarios i ou i représente le numéro correspondant à des conditions de chargement spécifiques (i varie de 1 à s). Par analogie au comportement d'une couche sous conditions de chargement constante, la ruine théorique de la couche est atteinte lorsque son dommage total cumulé vaut 1 (ou 100 %).

V.7.2. Loi de cumul des dommages :

Une même couche de chaussée supporte au cours de sa durée de vie des niveaux de sollicitations divers, lui causant des dommages élémentaires distincts. Par exemple, les poids lourds qui circulent sur une chaussée sont de géométrie et de charge à l'essieu variables, et une même couche de chaussée voit son niveau de sollicitation diminuer après un rechargement sous charge constante. L'addition de ces dommages élémentaires divers accumulés en raison de conditions de chargement variables se fait à l'aide d'une loi de cumul des dommages. On utilise couramment

celle de Miner :

$$D_{\text{total cumulé}} = \sum D_{\text{cumulé}} = \sum \frac{N_{\text{Esubie}} * C_{\text{AM}}}{N_{\text{E}} \text{durée de vie}}$$

Ou :

$D_{\text{total cumulé}}$: Dommage total accumulé par la couche considérée, sollicitée à différents scénarios i ou i représente le numéro correspondant à des conditions de chargement spécifiques (i varie de 1 à s).

Par analogie au comportement d'une couche sous conditions de chargement constante, la ruine théorique de la couche est atteinte lorsque son dommage total cumulé vaut 1 (ou 100 %).

Tableau V.11 : Calcul de ϵ_t à l'aide d'ALIZE pour la zone 1

Alizé-Lcpc - Résultats (Structure : données écran, Charge de référence)

variante 1: Durée= 00:00sec

épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,060	4000,0 collé	0,350	0,000	127,6	0,978	-107,7	0,660
			0,060	46,9	0,448	21,1	0,535
0,100	7000,0 collé	0,350	0,060	46,9	0,773	-14,7	0,535
			0,160	-192,7	-1,859	182,6	0,079
0,100	256,0 collé	0,350	0,160	-192,7	-0,029	367,2	0,079
			0,260	-270,4	-0,074	354,4	0,044
0,100	128,0 collé	0,350	0,260	-270,4	-0,025	461,9	0,044
			0,360	-311,0	-0,041	455,7	0,032
0,100	64,0 collé	0,350	0,360	-311,0	-0,012	609,3	0,032
			0,460	-317,3	-0,017	560,2	0,025
6,000	32,0 collé	0,350	0,460	-317,3	-0,002	803,5	0,025
			6,460	0,0	0,001	18,6	0,001
infini	10000,0	0,350	6,460	0,0	0,000	0,1	0,001

Grandeurs affichées

- tableau 1
- tableau 2
- tableau 3
- tableau 4
- tableau 5
- tableau 6
- tableau 7
- tableau 8

Déflexion = 92,8 mm/100
entre-jumelage

Rdc = 308,6 m

Imprimer Enregistrer

Voir Chargt. Fermer

Tableau V.12. Introduction des données qui serviront au calcul de NE

Figure V.4 : Valeur de NE

Le tableau suivant représente les différents scénarios qu'a subit la RN36 ainsi que les résultats fournis par ALIZE (Tableau V.13).

Tableau V.13: les différents scénarios et résultats d'endommagement des zones

Zone homogène	années	Structures	et	Ne	ne	Dcum	D tot %	D fin %			
Zone 01	2009/2012	6 BB	192,7	4,92E+0	2,6E+06	426,016	497,96	100			
		10 GB		5		26					
	2012/2016	5,14 BB	143,3	3,73E+0	2,90E+0	62,1983			914		
		7,16 GB1									
		8,4 GB2									
	2016/2018	5,88 BB1	106,1	2,92E+0	1,69E+0	4,63013			699		
		5,14 BB2									
		7,16 GB2									
		8,4 GB2									
	2018/2019	5,88 BB1	106,1	2,92E+0	1,87E+0	5,12328			767		
		5,14 BB2									
7,16 GB2											
8,4 GB2											
	2009/2012	6 BB	149,9	2,75E+0	4,60E+0	21,0285					
		10 GB		7		714					
		7,15 BB1									

Zone 02	2012/2018	7,15 BB2	114,3	1,75E+0	4,60E+0	21,0287	106,07 3493	100
		7,25 GB		7	6	14		
	2018/2019	7,15 BB1	114,3	1,75E+0	1,87E+0	8,54857		
		7,15 BB2		7	6	143		
7,25 GB								
Zone 03	2009/2012	6 BB	187,8	5,87E+0	2,62E+0	357,069	687?21 471	100
		10 GB		5	6	847		
	2012/2016	3,38 BB	179,1	8,12E+0	2,90E+0	285,714		
		6 GB1		5	6	286		
		7,18 GB2						
	2016/2018	5,45 BB1	132,4	6,41E+0	1,69E+0	21,0920		
		3,38 BB2		6	6	437		
		6 GB1						
7,18 GB2								
2018/2019	5,45 BB1	132,4	6,41E+0	1,87E+0	23,3385			
	3,38 BB2		6	6	335			
	6 GB1							
	7,18 GB2							

Zone 04	2009/2012	6 BB	169,2	1,20E+0	2,62E+0	174,666	219,67 5362	100		
		10 GB		6	6	667				
	2012/2018	7,33 BB1	121,5	1,15E+0	4,60E+0	32				
		6,96 BB2		7	6					
		8,14 GB								
	2018/2019	7,33 BB1	121,5	1,15E+0	1,87E+0	13?0086				
		6,96 BB2		7	6	957				
		8,14 GB								
Zone 05	2009/2012	6 BB	147,3	3,09E+0	3,20E+0	82,8478	266,87 122	100		
		10 GB		6	6	964				
	2012/2018	7,36 BB1	145,1	3,43E+0	5,61E+0	130,845				
		7,16 BB2		6	6	481				
		7,56 GB								
	2018/2019	7,36 BB1	145,1	3,43E+0	2,28E+0	53,1778				
		7,16 BB2		6	6	426				
		7,56 GB								

Zonz 06	2009/2012	6 BB	225,6	1,67E+0	3,20E+0	1532,93	1585,0 9942	100		
		10 GB		5	6	413				
	2012/2018	8,04 BB1	120,6	1,21E+0	5,61E+0	37,0909			091	
		6,76 BB2								
		7,27 BB2								
	2018/2019	8,04 BB1	120,6	1,21E+0	2,28E+0	15,0743			802	
		6,76 BB2								
		7,27 BB2								

V.8.modelisation de la structure :

Le programme de calcul ALIZE 1.5 qui est fonde sur l'hypothèse de Burmister, permet de déterminer les contraintes et déformations (ϵ_t , ϵ_z) aux différents niveaux de la structure.

Le schéma ci-dessous donne un aperçu global sur la modélisation propre du type de la structure du renforcement (Figure V.5).

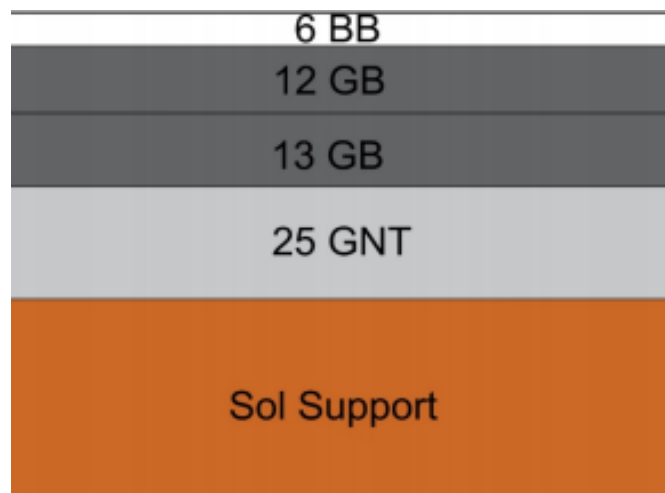


Figure V.5:Aperçu global sur la modalisation propre du type de la structure

V.8.1.les étapes de modélisation de la structure selon ALIZE :

Les étapes qui vont suivre sont les mêmes pour toute les zones homogènes c'est pour cela qu'on généralisée avec la zone 1.

- Calcul et Introduction des données :

Les inputs du logiciel sont:

- Le module de rigidité E
- Le coefficient de poisson ν
- L'épaisseur de la couche

a) le calcul des inputs pour chaque couche

1) le sol-support :

$E=32 \text{ MPa}$; $\nu=0,25$;

L'épaisseur est supposé infiniment rigide

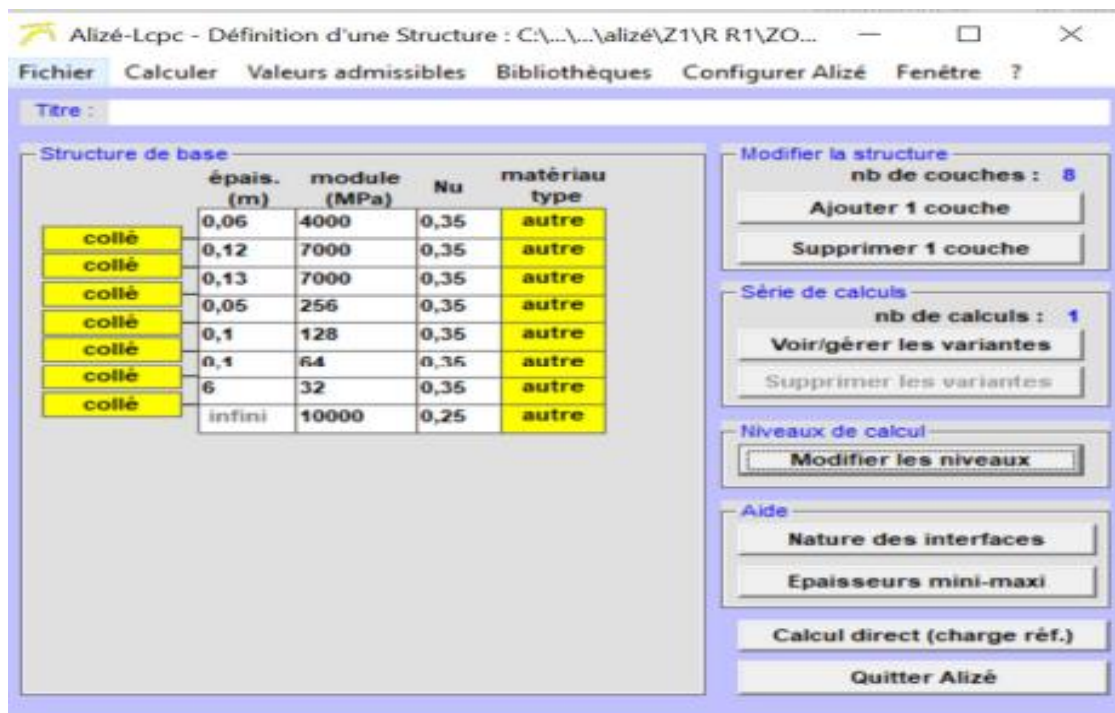
2) La couche de base : (Grave non-traite)

$E1 = 64 \text{ Mpa}$; $E2 = 128 \text{ Mpa}$; $E3 = 256 \text{ Mpa}$

$h1 = 10 \text{ cm}$; $h2 = 10 \text{ cm}$; $h3 = 5 \text{ cm}$.

$\nu=0,35$

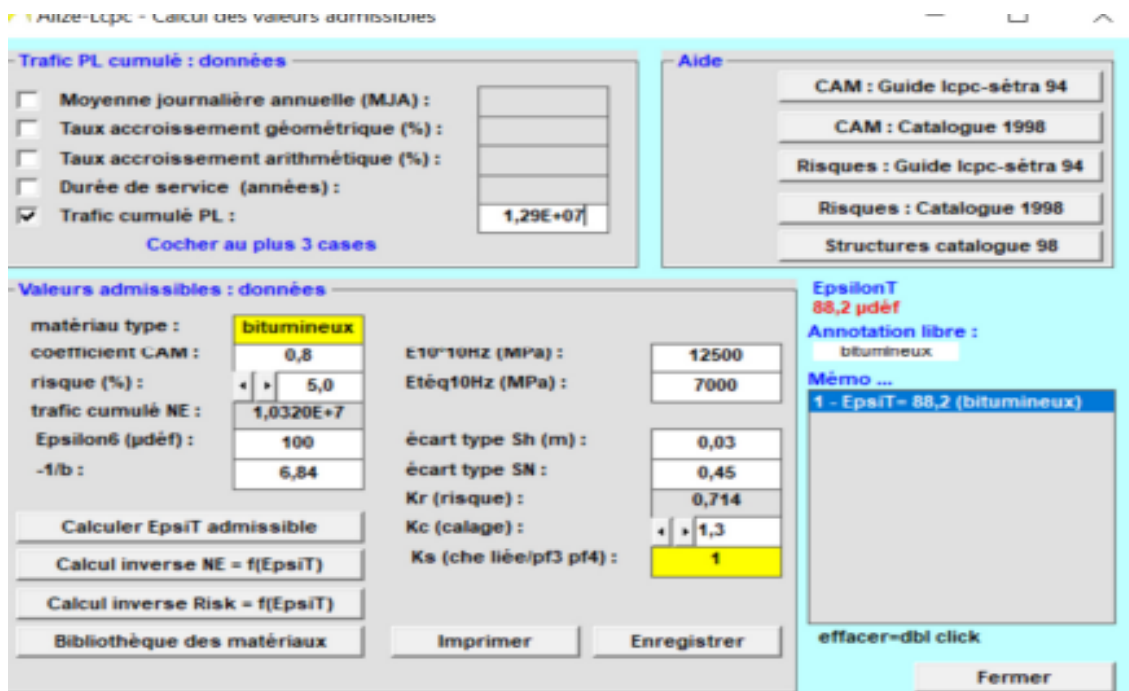
Tableau V.14 : Introduction des données de la Zone 1



V.8.2 Introduction des données dans le logiciel et choisir la charge de référence :

Après l'introduction des données dans le logiciel, ce dernier il faut configurer par une charge de référence (jumelage standard français=65KN). Les interfaces entre les couches sont considérées comme collées (GB/BB) (Tableau V.15).

Tableau V.15 : Configuration des charges et calcul de la valeur Admissible



V.8.3 Calcul des contraintes et déformations avant et après le renforcement :

Le calcul se fait par les étapes suivantes:

- Introduire la structure de renforcement obtenue.
- Le bouton calcul déclenche les contraintes et déformations aux interfaces des couches.
- Les nouvelles déformations verticales obtenues après le renforcement doivent être inférieures aux celles obtenues analytiquement.

Tableau V.16 : .Calcul des contraintes et déformations avant et après le renforcement

épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,060	4000,0	0,350	0,000	55,2	0,417	13,3	0,660
	collé		0,060	29,3	0,332	58,6	0,609
0,120	7000,0	0,350	0,180	29,3	0,562	17,9	0,609
	collé		0,180	-18,9	-0,081	38,2	0,227
0,130	7000,0	0,350	0,310	-18,9	-0,081	38,2	0,227
	collé		0,310	-85,4	0,838	79,8	0,019
0,050	256,0	0,350	0,360	-85,4	-0,021	123,9	0,019
	collé		0,360	-97,4	-0,028	130,7	0,016
0,100	128,0	0,350	0,460	-97,4	-0,010	168,8	0,016
	collé		0,460	-108,2	-0,014	167,0	0,012
0,100	64,0	0,350	0,560	-108,2	-0,004	225,7	0,012
	collé		0,560	-111,0	-0,005	213,1	0,010
6,000	32,0	0,350	6,560	-111,0	0,000	312,5	0,010
	collé		6,560	0,0	0,000	17,0	0,001
infini	10000,0	0,250	6,560	0,0	0,000	0,1	0,001

- Les résultats après modélisation de la structure de chaussées des zones homogènes selon ALIZE sont récapitulés dans les tableaux suivants :

Tableau V.17 : Résultats des calculs de renforcement de toutes les zones homogènes

- **Zone 1:**

Structure	Épaisseur ancienne (m)	Épaisseur Renforcement (m)	Module	Eps T (udef)	Eps T adm (udef)
BB1	0,059	0	0	85,4	88,1
BB2	0,051	0,06	4000		
GB1	0,072	0,12	7000		
GB2	0,084	0,13	7000		
GNT	0,1	0,05	256		
	0,1	0,1	128		
	0,1	0,1	64		
Épaisseur Sol	0,566	0,56			
Sol support	Infini	Infini	32		

- **Zone 2 :**

Structure	Épaisseur ancienne (m)	Épaisseur Renforcement (m)	Module	Eps T (udef)	Eps T adm (udef)
BB1	0,072	0	0	76,3	88,1
BB2	0.072	0,06	4000		
GB1	0	0,12	7000		
GB2	0,073	0,13	7000		
GNT	0,1	0	0		
	0,1	0,1	240		
	0,1	0,1	120		
Épaisseur Sol	0,517	0,51			
Sol support	Infini	Infini	60		

• **Zone 3:**

Structure	Épaisseur ancienne (m)	Épaisseur Renforcement (m)	Module	Eps T (udef)	Eps T adm (udef)
BB1	0,055	0	0	85,4	88,1
BB2	0.034	0,06	4000		
GB1	0,06	0,12	7000		
GB2	0,072	0,13	7000		
GNT	0,1	0,05	272		
	0,1	0,06	136		
	0,1	0,1	68		
Épaisseur Sol	0,521	0,52			
Sol support	Infini	Infini	34		

• **Zone 4:**

Structure	Épaisseur ancienne (m)	Épaisseur Renforcement (m)	Module	Eps T (udef)	Eps T adm (udef)
BB1	0,073	0	0	80,4	88,1
BB2	0.07	0,06	4000		
GB1	0,082	0,12	7000		
GB2	0	0,13	7000		
GNT	0,1	0,05	344		
	0,1	0,065	172		
	0,1	0,1	86		
Épaisseur Sol	0,525	0,525			
Sol support	Infini	Infini	43		

• **Zone 5:**

Structure	Épaisseur ancienne (m)	Épaisseur Renforcement (m)	Module	Eps T (udef)	Eps T adm (udef)
BB1	0,074	0	0	71,5	85,6
BB2	0.072	0,06	4000		
GB1	0,076	0,13	7000		
GB2	0	0,13	7000		
GNT	0,1	0	0		
	0,1	0,1	256		
	0,1	0,1	128		
Épaisseur Sol	0,522	0,52			
Sol support	Infini	Infini	64		

- **Zone 6 :**

Structure	Épaisseur ancienne (m)	Épaisseur Renforcement (m)	Module	Eps T (udef)	Eps T adm (udef)
BB1	0,08	0	0	77,7	85,6
BB2	0,068	0,06	4000		
GB	0,073	0,13	7000		
GNT	0,1	0,13	7000		
	0,1	0,1	184		
	0,1	0,1	92		
Épaisseur Sol	0,521	0,52			
Sol support	Infini	Infini	46		

V.9 Analyse et commentaire :

D'après les résultats obtenus, il est observé que les déformations horizontales et sont inférieures aux valeurs admissibles. Cela signifie que les structures proposées sont dimensionnées de manière adéquate pour résister aux charges appliquées. Les déformations horizontales font référence aux déplacements latéraux ou aux contraintes horizontales subies par les structures.

Ces résultats démontrent que les structures proposées ont un bon comportement face aux efforts tangentiels. Cela signifie qu'elles sont capables de résister aux forces horizontales qui leur sont appliquées. De plus, ces structures assurent également la fonction de support global de la chaussée, en reprenant la quasi-totalité des contraintes horizontales. Ainsi, le sol de support

n'est pas soumis à des contraintes supérieures à sa limite admissible, ce qui est essentiel pour garantir sa stabilité et sa durabilité.

En conclusion, les structures proposées sont conformes aux critères de dimensionnement et de renforcement. Elles offrent un comportement satisfaisant vis-à-vis des efforts tangentiels et assurent la redistribution efficace des contraintes horizontales dans l'ensemble du corps de chaussée, préservant ainsi l'intégrité du sol de support.

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Les chaussées souples sont généralement affectées par le trafic lourd et les charges cycliques/répétitives en plus des conditions climatiques parfois extrêmes. Ce qui nous poussé à choisir un sujet traitant un aperçu sur les chaussées souples et les types de dégradation, ainsi que le dimensionnement d'une chaussée souple d'un tronçon, très affectée par le trafic routier et ce par le logiciel "Alize 1.5", durant un stage à l'Organisme de Contrôle des Travaux Publics (CTTP).

Cette étude nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- Les dégradations des chaussées sont inévitables vue les conditions climatiques et le trafic intense subit ;
- Définir la liaison entre les différentes couches de la chaussée, la présence de fissures ou de défauts dans le revêtement.
- Analyser les dégradations spécifiques observées, par des méthodes d'auscultation, auprès du CTTP, en faisant une enquête approfondie, montrant les principales causes, telles : le trafic excessif (notamment des véhicules du poids lourds, les efforts verticaux et tangentiels dus à ce trafic, les conditions climatiques défavorables)
- Comme la région où se trouve le tronçon était soumis à des conditions climatiques extrêmes, notamment des précipitations abondantes et des variations de température importantes. L'eau a pénétré dans la chaussée, provoquant la détérioration des couches de revêtement et le ramollissement des matériaux.
- Il s'est avéré que des malfaçons été commises lors de la conception et de la mise en œuvre de la chaussée. Cela inclut un sous-dimensionnement par rapport au trafic prévu et aux caractéristiques du sol support.
- Pour remédier à ces défauts, nous avons proposé plusieurs solutions :
 - Renforcement de la chaussée : Cela peut impliquer le renforcement des couches existantes en ajoutant de nouvelles couches ou en utilisant des matériaux de meilleure qualité. L'objectif est d'augmenter la capacité de la chaussée à résister aux charges du trafic.
 - Contrôle du trafic : Des mesures visant à réduire la charge de trafic sur la chaussée peuvent être mises en place. Cela peut inclure des restrictions de poids pour les

véhicules lourds, la mise en place de déviations ou la modification des itinéraires pour réduire la charge sur le tronçon étudié.

- Faire un dimensionnement adéquat en appliquant des méthodes de calcul et analyse plus performantes, comme ‘Alize 1.5’.
- La maîtrise d’un logiciel de calcul avec la prise de tous les hypothèses de calcul et les données nécessaires (résultats d’auscultation et d’expertise, etc.), est demandé (voir obligatoire).

Nous recommandons pour futurs travaux de recherche et de maîtrise en mémoire de Masters, des analyses plus poussées avec des campagnes expérimentales au laboratoire et/ou in situ, avec la prise en compte d’un calcul numérique par la méthode des éléments finis (MEF) ou autres.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- [01] Alexis .D-(Juin 2011) Étude sur les facteurs influençant la qualité et la représentativité des essais au Défectomètre portable-Projet de Fin d'Études.
- [02] CTTTP ,Guide conception renforcements 2016
- [03] Mordor Intelligence (2021), Report: “Composite materials market- Growth, Trends, Covid19 Impact and Forecast (2022-2027)” (In French), Nanakramguda Rd, Financial District, Gachibowli, Hyderabad, Telangana – 500008, India.
- [04] Kechidi M. (2020), Le marché des matériaux composites - Tendances et perspectives des aéro-composites, Nacelles Brèves/ Short Stories.
- [05] Abdessemed M. (2011), Étude expérimentale et modélisation du comportement des poutres en béton armé renforcées par des matériaux composites - Cas des ponts, Thèse de doctorat, École Nationale Polytechnique Alger.
- [06] Abdessemed M., Kenai S., Bali A., Kibboua A. (2011), Dynamic analysis of a bridge repaired by CFRP: Experimental and numerical modelling, Construction and Building Materials, Vol. 25, Issue 3, pp: 1270-1276,
- [07] Iijima S. (1991), Synthesis of Carbon Nanotubes. Nature, 354, pp :56-58.
- [8] Peyronne.T, (octobre, 1991), cours de routes dimensionnement des chaussée, 2ème édition presses de l'école nationale des ponts et chaussées.
- [9] Mebarki.G, (Avril, 2016), cours du module mécanique des milieux granulaires (méthode CBR), l'Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [10] **Meziani Faroudja** « Amélioration des caractéristiques mécaniques d'une couche de chaussée souple par des matériaux composites.» Thèse de magistère en génie civil (option géotechnique et environnement) UMMTO 2008.
- [11] **Kalli Fatma Zohra** « Cours de routes de l'ENSTP » OPU, Alger 2011
- [12] Mirech.A, (2013) « Utilisation des géo-synthétique en géotechnique routière », Mémoire de Master, Guelma.
- [13] D. Duhamel, V.H. Nguyen, A. Chabot et P. Tamagny , 1-5 septembre 2003 ,«16ème Congrès Français de Mécanique.» Nice
- [14] CTTTP. Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves.
- [15] LC **B40** (Normes techniques d'Aménagement des routes et trafic et capacité des routes).
- [16] PC. Laboratoire central des ponts et des chaussées.

- [17] **CTAAL** (Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison)
- [18] A Arulrajah, J Piratheepan, MM Disfani (2013), Geotechnical and geoenvironmental properties of recycled construction and demolition materials in pavement subbase applications, *Journal of Materials in Engineering*.
- [19] EG Babadiya, EO Igwe (2021), A geotechnical investigation on the failure of road pavements in Abakaliki, southeastern Nigeria, - *Journal of Mining and Geology*.
- [20] H. Havard, F. Laviron, J.P. Puech, J.P. Magnan et M. Rat (1995), Organisation de la reconnaissance géotechnique des tracés routiers, *Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées* , N°195, France.
- [21] Centre de Génie Parasismique/CGS (1996), Travaux de sondages et d'essais de sols, Document Technique Règlementaire/ DTR BE 1.1, 21 pages Ministère de l'Habitat, Algérie.
- [22] **Burmister D M.**; The theory of the stress and displacements in layered systems and applications of design of airport runway; *Proceeding of the Highway Research Board*; 23. 1943 ; pp. 126–148.
- [23] **(LCPC, 1997) LCPC**. Conception et dimensionnement des structures de chaussées. Guide Technique, LCPC-SETRA, 1997
- [24] **CTTP**, contrôle technique travaux publique (juillet 2011), Étude de renforcement des chaussées
- [25] **Guide de Réhabilitassions des routes** (fascicule 1) (1996); « Fascicule I –Méthodologie » direction des routes
- [26] **PASCALE. P, ALEXA. B, SYLVAIN. J GUY. D-** (2006-2008). Auscultation non destructive de chaussées municipales par analyse de bassins de Déflexion-Université de LAVAL (2006-2008)
- [27] **CTTP** ,Guide conception renforcements 2016
- [28].XP P94-011. L'état de sol selon le pourcentage de l'indice de plasticité
- [29].XP P94-011. L'état de sol selon le pourcentage de l'indice de consistance

