

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة سعيدة - د. الطاهر مولاي -

UNIVERSITÉ DESAÏDA- Dr MOULAY TAHAR – Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil & Hydraulique



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du Diplôme de **MASTER en Génie Civil**

Spécialité : « Géotechnique »

THÈME

Étude d'expertise d'un tronçon dégradé de la RN 94 (PK75+000 - PK 100+000 sur un linéaire de 25 kms) Saïda

Présenté par :

M.ABED MEHIDIM. TOUHAMI BOUBAKAR

Membres du jury

F. M.DERFOUF
A. SEKKEL
L. BELOUADI

Maître de conférences A
Professeur
Maître de conférences A

Université Dr. Moulay Tahar de Saida
Université Dr. Moulay Tahar de Saida
Université Dr. Moulay Tahar de Saida

**Président
Examinateur
Encadrant**

Année Universitaire : 2024 – 2025

جامعة سعيدة - د. الطاهر مولاي -

UNIVERSITÉ DESAÏDA– Dr MOULAY TAHAR – Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil & Hydraulique



ÉTUDE D'EXPERTISE D'UN TRONÇON DÉGRADÉ DE LA RN 94 (PK75+000 - PK 100+000 SUR UN LINÉAIRE DE 25 KMS) SAÏDA

**M. ABED MEHIDI
TOUHAMI BOUBAKAR**

2024-2025

Remerciement

Remercîment

Nous vous remercions dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr BELOUADI LARBI, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant l'élaboration de ce mémoire.

Nous remercions nos familles respectives pour leur aide et leur soutien moral et leurs encouragements.

Nos remerciements s'adressent également à tous nos professeurs pour leur générosité et la grande patience dont ils ont su faire preuve.

ABED MEHIDI

TOUHAMI BOUBAKAR

D dédicace

Dédicace

C'est avec gratitude et sincérité que nous dédions ce modeste travail de fin d'étude à nos chers parents qui ont sacrifié leur vie pour notre réussite et nous ont éclairé le chemin par leurs conseils judicieux. Nous espérons qu'un jour, nous pourrons leurs rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour nous, que dieu leur prête bonheur et longue vie. Nous dédions aussi ce travail à nos frères et sœurs, nos familles, nos amis, nos enseignants et à tous ceux qui nous sont chers.

ABED MEHIDI

TOUHAMI BOUBAKAR

Résumé

Résumé :

Les routes jouent un rôle essentiel en reliant les communautés et les villes, agissant comme de véritables bouées de sauvetage. Elles sont un facteur clé du développement économique et social, facilitant la mobilité ainsi que le transport des biens et des services. Aujourd’hui, les infrastructures routières modernes sont indispensables pour répondre aux besoins croissants des sociétés et assurer un transport sûr et efficace. Pour cela, il est crucial d’intégrer les savoir-faire et les technologies contemporaines dans la conception de routes conformes aux normes de sécurité et de sûreté. Cette étude a pour objectif d’établir un diagnostic détaillé de l’état de la chaussée et les dégradations apparentes. Un examen basé sur des auscultations et levé visuel, des Mesures et des déflexions appuyées par une campagne géotechnique afin de proposer une solution adéquate de renforcement de la chaussée.

Pour parvenir, nous avons décidé de repartir notre travail en trois parties :

* Dans le premier chapitre, nous avons commencé par des généralités sur les routes, et Nous avons également abordé la description de la structure de la route, ses Composante, importance et familles de Structure.

*et deuxième chapitre présentation des différents dégradations qui affecte la structure chaussée et leurs causes probables.

* Quant au troisième chapitre, nous avons étudié le cas de la route nationale n° 94 du point kilométrique n°75+000 jusqu'à Point kilométrique n° 100+000 dans la Wilaya de Saïda dans cette section on enregistré des dégradation importante appariées sur le structure de la chaussée ce qui a causés difficultés pour les usagers de la route .

Mots clés : Expertise, chaussée, dégradations, diagnostic, campagne géotechnique,

Abstract

الملخص

تؤدي الطرق دوراً أساسياً في الربط بين المجتمعات والبلدان، فهي بمثابة شرائين الحياة وهي عامل رئيسي في التنمية الاقتصادية والاجتماعية، حيث تسهل التنقل ونقل البضائع والخدمات. واليوم، تُعد البنية التحتية الحديثة للطرق أمراً ضرورياً لتلبية احتياجات المجتمع المتزايدة وضمان النقل الآمن والفعال ولتحقيق ذلك، من الأهمية بمكان دمج المعرفة والتقييمات المعاصرة في تصميم الطرق التي تتوافق مع معايير السلامة والأمان. الهدف من هذه الدراسة هو وضع تشخيصي مفصل لحالة الطريق وأي تدهور واضح وكذا الفحص القائم على المسوحات البصرية والقياسات والانحرافات مدرومة بحملة جيوبندينغ من أجل اقتراح حل مناسب لتنمية الطريق.

لتحقيق ذلك ارتأينا إلى تقسيم عملنا إلى ثلاثة أقسام :

* بدأنا في الفصل الأول بعموميات حول الطرق كما تطرقنا من خلاله إلى وصف هيكل الطريق ودور كل مكون وأهميته وعرض مختلف هيكلات الطرق

* وفي الفصل الثاني الأضرار التي تصيب هيكل الطريق ومختلف الأسباب التي تؤدي إليها مع ذكر الحلول اللازمة لصيانة الطريق وعدم تفاقمها .

* أما الفصل الثالث فلما بدرأه حالة الطريق الوطني رقم 94 من النقطة الكيلومترية رقم 75+00 إلى النقطة الكيلومترية رقم 100+000 بولاية سعيدة وفي هذا القسم من الطريق تم تسجيل تدهور كبير في بنية الطريق مما يسبب صعوبات على مستعمليه الطريق.

الكلمات المفتاحية: الخبرة، الرصف، الأضرار، التشخيص، الحملة الجيوبندينغ، الحلول

Abstract

Abstract

Road Play an essential role connecting communities and towns, acting as a lifeline. Lifelines. They are a key factor in economic and social and social development, facilitating mobility and the transport of goods and services. Today, modern road infrastructure is to meet society's growing needs and ensure safe and efficient transport. Safe and efficient transport. To achieve this, it is crucial to integrate contemporary technologies into the design of roads that meet safety and security safety and security standards. The aim of this study is to establish a detailed diagnosis of the condition of the pavement and its deterioration of the road surface and any deterioration. An examination based on auscultations and visual surveys, measurements and deflections, supported by a geotechnical campaign, in order to propose an appropriate pavement reinforcement solution.

To achieve this, we decided to divide our work into three parts:

* In the first chapter, we began with general information about roads, and we also covered the Description of the road structure, its components, importance, and structure families.

*and the second chapter presents the various types of degradation affecting the roadway structure and their probable causes.

* As for the third chapter, we studied the case of National Road No. 94 from kilometer point No. 75+000 to kilometer point No. 100+000 in the Wilaya of Saïda. In this section, we recorded significant degradations in the roadway structure, which caused difficulties for road users.

Key words: Appraisal, pavement, damage, diagnosis, geotechnical campaign.

Table des matières

Résumé

الملخص

Abstract

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des symboles et notation

Introduction générale.....1

Chapitre -I: Généralités sur les chaussées

I.1- Introduction	3
I.2-Définition des chaussées.....	3
I.3-Les couches composant la chaussée.....	4
I.3.1- Le sol support.....	5
I. 3.2- La couche de forme.....	5
I.3.3- La couche d'assise.....	6
I.3.3.1- couche de fondation.....	6
I.3.3.2- couche de base.....	6
I.3.4-Couche de liaison.	7
I.3.5-La couche de surface	7
I.4-Les type de chaussées	7
I.4.1 - les chaussées souples.....	8
I.4.2 - Les chaussées bitumineuses épaisse.....	8
I.4.3- les Chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques.....	9
I.4.4- Les Chaussées à structure mixte	10
I.4.5 - Les Chaussées à structure inverse.	10
I.4.6 -les Chaussées en béton de ciment.....	11

Table des matières

I.4.7 : Chaussée semi-rigide	12
I.4.8 : Chaussée Rigide.....	13
I-5 : Caractéristiques de chaussée.....	15
I-6 : Conclusion	15

Chapitre II : Processus de dégradation des chaussées

II.1-Introduction	16
II.2- familles de dégradation des chaussées.....	16
II.2.1- Les Déformations.....	17
II.2.1.1-les affaissements.....	17
II.2.1.2- Les Flaches.....	18
II.2.1.3-Les Bourrelets (gonflement)	19
II.2.1.4 - Les Orniérages	20
II.2.1.5 - Tôles ondulées	22
II.2.2- les Fissurations	23
II.2.2.1-Les fissures longitudinales	23
II.2.2.2-Les fissures transversales	24
II.2.2.3-Les Faïençages à Mailles Fines.....	25
II.2.2.4-Les faïençages à Mailles Larges.....	27
II.2.2.5-Épaufrure.....	28
II.2.3- Les Arrachements.....	28
II.2.3.1-La pelade.....	28
II.2.3.2-L'indentation et le glaçage.....	30
II.2.3.3-Les nids de poule	30
II.2.3.4- Des enrobages	32
II.2.3.5- Le Plumage.....	32

Table des matières

II.2.3.6- Le Peignage.....	33
II.2.4- Les remontées de liant ou ressuage	34
II.2.4.1-Les remontées de fines	34
II.2.4.2-Le ressuage	35
II.3- Les Principales causes et mode des dégradations.....	36
II.3.1-Les chaussées souples.....	36
II.3.2-- Les chaussées bitumineuses.....	37
II.3.3-- Les chaussées semi-rigides.....	38
II.3.4- Les chaussées à structure mixte.....	39
II.3.5 - Les chaussées à structure inverse.....	40
II.4-Les facteurs d'influence.....	40
II.4.1-les facteurs extérieurs	41
II.4.1.1-Le trafic.....	41
II.4.1.2-les conditions climatiques.....	41
II.4.2-les facteurs de structure.....	43
II.4.3-Facteurs liés aux matériaux :	47
II.4.3.1-Tous matériaux.....	47
II.4.3.2-Matériaux non traités	48
II.4.3.3-Matériaux bitumineux.....	48
II.4.3.4- Matériaux traités aux liants hydrauliques.....	49
II.5 --Conclusion.....	50

Chapitre- III : ÉTUDE DE CAS

III.1-Introduction.....	51
III.2- Contexte du projet	51
III.3- Géométrie de la chaussée.....	53
III.4- Organigramme d'une étude de renforcement.....	57
III.5- Recueil des données et auscultations	58

Table des matières

III.5 .1- Relevé visuel des dégradations et dépendances de la chaussée.....	58
III.5 .2- Comptage du trafic et pesage d'essieux.....	61
III.5 .2.1- la réglementation sur les poids	62
III.5 .2.2- Résultats des pesages.....	64
III.5.2.3- Calcul trafic.....	65
III.5.2.4 - Hypothèses de calcul.....	66
III.5.3 - Auscultation et analyse des données des déflexions	67
III.5.4. Auscultation et analyse des données d'uni	69
III.5 .4.1 Indice de planéité internationale IRI «International Roughness Index» ...	70
III.5 .4.2 Description de l'appareil et principe de la mesure	70
III.5 .4.3 spécification relatives aux mesures.....	72
III.5.5- Détermination des épaisseurs à partir de carottage.....	73
III.5 .6 -Détermination et caractérisation des zones homogènes.....	75
III.5.7-Implantation et investigations géotechniques	75
III.5.7.1- Implantation des carottes	75
III.5.7.2- Essais de laboratoire sur les carottes.....	84
III.5.7.3- Recueil des donnés sur le sol et les matériaux non traités	85
III .6 - Diagnostic et modélisation	85
III.6.1- Méthode des épaisseurs équivalente (MET)	86
III.6.2- Modélisation (zoning)	87
III.6.2.1- La zone homogène n° 01 du PK 75+000 au PK 76+200.....	87
III.6.2.2- La zone homogène n° 02 du PK 76+200 au PK 79+000	89
(Entretien en 2022)	
III.6.2.3- La zone homogène n° 03 du PK 79+000 au PK 83+600.....	90

Table des matières

III.6.2.4 -La zone homogène n° 04 du PK 83+600 au PK 87+100	92
III.6.2.5 -La zone homogène n° 05 du PK 87+100 au PK 92+000	94
III.6.2.6 -La zone homogène n° 06 du PK 92+000 au PK 98+000	96
III.6.2.7 -La zone homogène n°07du PK 98+000 au PK 100+000.....	98
III.7- Conception et solution.....	99
III.7 .1- Les hypothèses de calcul	99
III.7 .2- Dimensionnement du nouveau corps de chaussée	100
III.8- Travaux préparatoires de la chaussée.....	102
III.9- Travaux de dépendance.....	104
III.9.1- Travaux sur accotements	107
III.9.1.1- Rechargement des accotements	107
III.9.1.2- Protection contre les infiltrations	107
III.9.2- Travaux de sécurité et signalisation horizontale	107
III.9.2.1- Glissière de sécurité	107
III.9.2.2- Signalisation horizontale	108
III.9.2.2.1- Les bandes discontinues	108
III.9.2.2.2- Les bandes continues	108
III.10- Conclusions et Recommandations.....	108
III.11- Calcul des quantités.....	110
III.12- les travaux de reconstruction.....	112
III.13- Conclusion générale.....	113
Référence bibliographique.....	114
Annexe.....	116

Liste des figures

Figure (I.1) : coupe transversale d'une chassée.....	4
Figure(I.2) : chaussée souple.....	8
Figure (I.3) : chaussée bitumineuses épaisse.....	9
Figure (I.4) : les Chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques.....	9
Figure (I.5) : Les Chaussées à structure mixte	10
Figure (I-6) : Les Chaussées à structure inverse.....	10
Figure (I-7) : Les Chaussées en béton de ciment.....	12
Figure (I-8) : structure type d'une chaussée semi-rigide.....	12
Figure (I-9) : structure type d'une chaussée rigide.....	13
Figure (II-1) : Affaissement.....	18
Figure (II-2) : Flache.....	19
Figure (II-3) : Les bourrelets (gonflement)	20
Figure (II-4) : Orniérage.....	21
Figure (II-5) : Tôle ondulée.....	22
Figure (II-6) : fissures Longitudinales.....	23
Figure (II-7) : Fissure Transversale.....	25
Figure (II-8) : Les Faïençages à Mailles Fines.....	26
Figure (II-9) : Les Faïençages à Mailles Larges.....	27
Figure (II-10) : Épaufrure.....	28
Figure (II-11) : La Pelade.....	29
Figure (II-12) : Le Nid de Poule.....	31
Figure (II-13) : des enrobages.....	32
Figure (II-14) : Le Plumage.....	33
Figure (II-15) : Le Peignage.....	33
Figure (II-16) : Les remontées.....	36
Figure (II-17) : Réparation des contraints dans une structure de chaussée.....	45
Figure (II-18) : Déformation sous charge.....	46
Figure (III.1) : vue aérienne, section de la RN94 du PK 75+000 au PK 100+000.....	52
Figure (III.2) : Mesures de la géométrie de la chaussée pk 75+000.....	55
Figure (III.5) : Mesures de la géométrie de la chaussée pk 78+400.....	55
Figure (III.4) : Mesures de la géométrie de la chaussée pk 85+700.....	55
Figure (III.3) : Mesures de la géométrie de la chaussée pk 89+000.....	56
Figure (III.6) : Mesures de la géométrie de la chaussée pk 91+800.....	56

Liste des figures

Figure (III.7) : Mesures de la géométrie de la chaussée pk 100+000.....	56
Figure (III. 8) : Organigramme synoptique de la démarche de renforcement.....	57
Figure (III.9) : RN 94 PK 75+700 fissures longitudinales.....	59
Figure (III.10) : RN94 PK 83+200 faïénçages à maille large.....	59
Figure (III.11) : RN94 PK 91 +800 faïénçages à maille large et maille fine.....	60
Figure (III.12) : RN 94 PK 94+000 faïençage à maille fine.....	60
Figure (III.13) : RN 94 PK 95+000 faïençage à maille fine.....	60
Figure (III.14) : RN 94 PK 98+000 faïençage à maille large.....	61
Figure (III.15) : RN Classes de pois total des camions (tonne)	64
Figure (III.16) : RN Classes de pois total des essieux (tonne)	64
Figure (III.17) : Répartition des surcharges par type de camion.....	65
Figure (III.18) : Zones homogènes de la mesure de déflexion par HWD de la RN94.....	68
Figure (III.19) : Mesures de déflexions par l'appareil HWD.....	69
Figure (III.20) : Road Surface Profilomètre RSP 5051 MARK IV du CTTP.	71
Figure (III.21) : Échelle de spécifications de la banque mondiale.....	72
Figure (III.22) : Schéma itinéraire d'implantation de la RN 94	75
Figure (III.23) : Implantation et réalisation de carottage de la RN 94.	83
Figure (III.24) : Transformation Odemark.....	86
Figure (III.25) : Calcule inverse de la plate-forme de la ZH01.....	88
Figure (III.26) : Calcule inverse de la plate-forme de la ZH02.....	90
Figure (III.27) : Calcule inverse de la plate-forme de la ZH03.....	92
Figure (III.28) : Calcule inverse de la plate-forme de la ZH04.	94
Figure (III.29) : Calcule inverse de la plate-forme de la ZH05.	96
Figure (III.30) : Calcule inverse de la plate-forme de la ZH06.....	97
Figure (III.31) : Calcule inverse de la plate-forme de la ZH07.....	99
Figure (III.32) : La conception de la section du PK 75+000 au PK 100+000.....	100
Figure (III.33) : Nouveau corps de chaussée au niveau du PK 75+000 au PK 100+000.....	101
Figure (III.34) : Nouveau corps de chaussée au niveau (PK 75+000 au PK 100+000)	102
Figure (III.35) : Ouvrage dalot pk 78+300 RN94.	105
Figure (III.36) : Ouvrage dalot pk 85+250 RN94.	106
Figure (III.37) : Ouvrage dalot pk 85+450 RN94.	106

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Comparaison entre les chaussées souple et rigide.....	14
Tableau III-1 : Géométrie de la RN94.....	53
Tableau III-2 : Récapitulation du trafic automatique et manuel de la RN94.....	65
Tableau III-3 : Calcul trafic prévisionnel de la RN94.....	66
Tableau III-4 : Les épaisseurs obtenues par le carottage dix (10) zones.....	73
Tableau III-5 : Les épaisseurs obtenues par le carottage quatre (04) grandes zones.....	73
Tableau III-6 : Résultats des essais sur les enrobés de la RN94.....	84
Tableau III-7 : Évaluation des carottes de la zone homogène n°01 vers Tiaret.....	87
Tableau III-8 : Évaluation globale de la zone homogène n°01 sens vers Tiaret.....	87
Tableau III-9 : Évaluation des carottes de la zone homogène n°01 sens vers Saida.....	87
Tableau III-10 : Évaluation globale de la zone homogène n°01 sens vers Saida.....	88
Tableau III-11 : Évaluation des carottes de la zone homogène n°02.....	89
Tableau III-12 : Évaluation globale de la zone homogène n°2.....	89
Tableau III-13 : Évaluation des carottes de la zone homogène n°03.....	90
Tableau III-14 : Évaluation globale ZH03.....	91
Tableau III-15 : Évaluation des carottes de la zone homogène n°04.....	92
Tableau III-16 : Évaluation globale ZH04.....	93
Tableau III-17 : Évaluation des carottes de la zone homogène n°05.....	94
Tableau III-18 : Évaluation globale ZH05.....	95
Tableau III-19 : Évaluation des carottes de la zone homogène n°06.	96
Tableau III-20 : Évaluation globale ZH06.....	97
Tableau III-21 : Évaluation des carottes de la zone homogène n°07.....	98
Tableau III-22 : Évaluation globale ZH07.....	99
Tableau III-23 : Lois de fatigue.....	100
Tableau III-24 : Travaux décaissement de la RN94	103
Tableau III-25: État des ouvrages transversaux de la RN94.....	104
Tableau III- 26 : Travaux des glissières de sécurité métallique de la RN94.....	108
Tableau III- 27 : Calcul quantité par profil de la RN 94.....	110
Tableau III- 28 : comptages de classification de véhicules (en annexe).....	116
Tableau III- 29 : Répartition par classe de poids total des camions (en annexe).....	116
Tableau III- 30 : Répartition par classe de poids des essieux. . (en annexe).....	117
Tableau III- 31 : Répartition des surcharges par type des camions.... (en annexe).....	118
Tableau III- 32 : Récapitulation du trafic automatique et manuel de la RN94. (en annexe)	119

Liste des tableaux

Tableau III- 33 : Réseau principal de niveau 1.....(en annexe).....	120
Tableau III- 34 : Structures disponibles dans le Catalogue... (en annexe).....	120
Tableau III- 35 : Détermination de la classe de trafic (TPLi) adoptées.... (en annexe).....	121
Tableau III- 36 : Synthèses des hypothèses sur la condition de calage..... (en annexe).....	121
Tableau III- 37 : Risques adoptés pour le réseau RP1. (en annexe).....	122
Tableau III- 38 : Chois des températures équivalentes... (en annexe).....	122
Tableau III- 39 : Devis Quantitative et estimatif (en annexe).....	123

Liste des symboles et notation

RN : Route Nationale

CW : chemin Wilaya

CC : chemin communaux

PK : point kilométrique

BBSG : béton bitumineux semi grenu

GB : Grave bitume

GNT : Grave non traitée

PF : plate-forme

PV : poids à vide.

PTAC : poids total autorisé en chargement.

PTRA : poids total roulant autorisé.

HWD : Heavy Weight Deflectometer

TJMA : trafics journaliers moyens annuels

ZH : Zones homogènes .

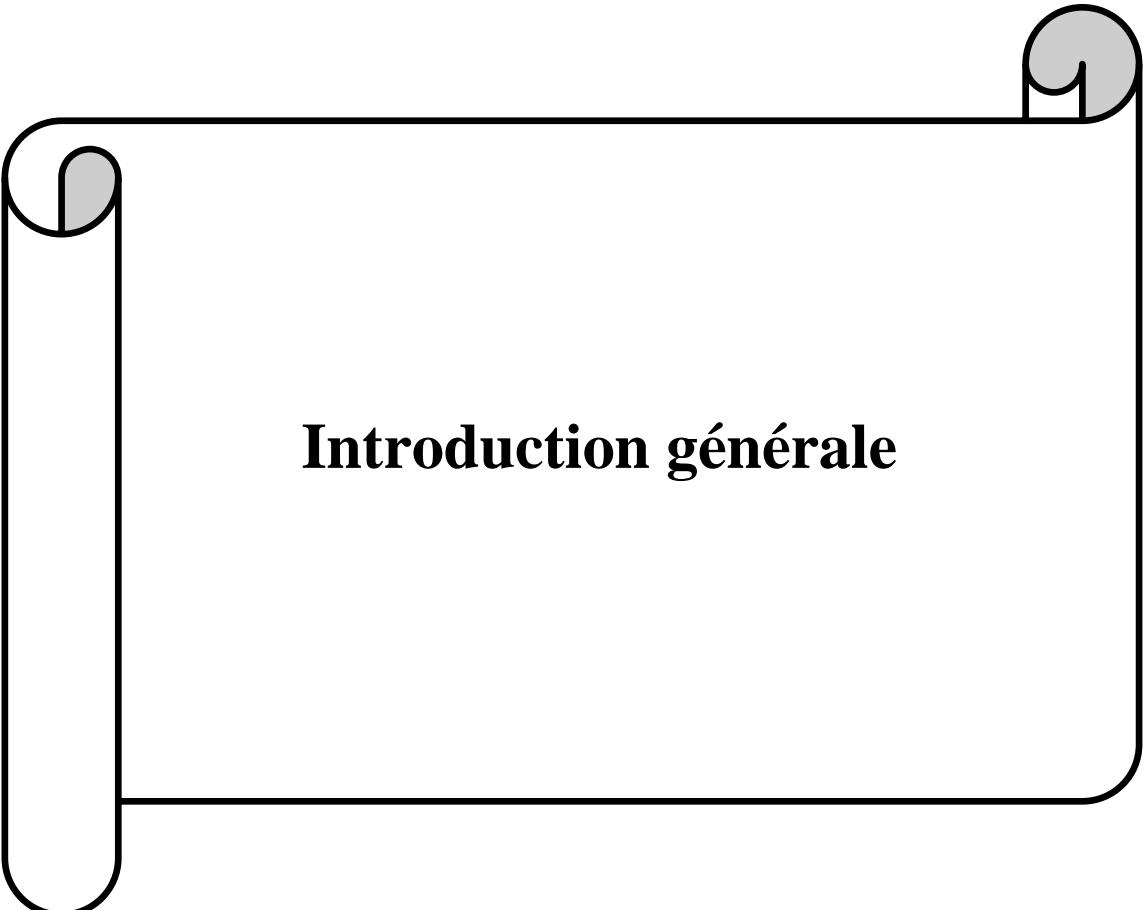
L: Lisse

F: Fissuré

S: Saine

C: Collé

D: Décollé



Introduction générale

Introduction générale

Le transport est un secteur important pour les États et reflète le degré de développement des pays. Toutes les activités quotidiennes en dépendent. Bien que souvent négligé, il demeure important et constitue un domaine scientifique émergent. Le transport englobe tous les types de déplacement, qu'il soit numérique (ondes, électricité ou énergie) ou physique (aérien, maritime, routier pour les clients ou les marchandises, ou par pipelines).

La route comme infrastructure de base est caractérisée par sa chaussée et constitue un moyen essentiel du transport terrestre. Toute dégradation affectant cette infrastructure peut entraîner des déséquilibres socio-économiques. Au cours de son exploitation, la chaussée est soumise à diverses actions, directes comme le trafic et indirectes comme la fatigue des matériaux, les intempéries ou les accidents. Ces actions génèrent des contraintes dans le corps de la chaussée, dont les applications répétées provoquent des dégradations superficielles apparentes. A la longue, ces dégradations peuvent s'aggraver, nécessitant une intervention de réfection ou de correction rapide. Cependant, l'entretien est crucial pour garantir le bon fonctionnement de tout moyen de transport. Quel que soit son coût, il offre un rendement indirect inestimable.

Le présent travail s'articule autour des maladies de la chaussée, la cause de la dégradation et les procédés d'expertise ainsi que les travaux d'entretien, de réfections ou de reconstruction.

Objectif de l'étude

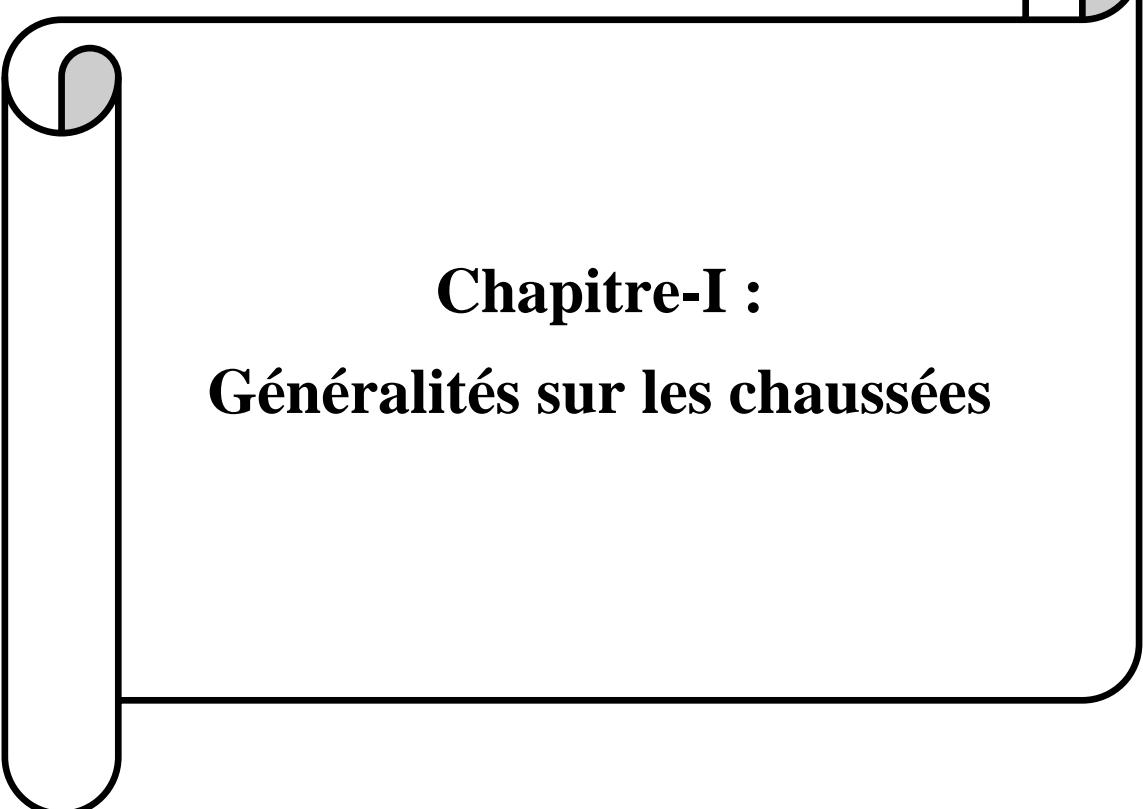
Cette étude a pour but le renforcement de l'axe objet de l'étude basé sur d'un diagnostic détaillé l'état de la chaussée, afin de proposer une solution adéquate de renforcement de la chaussée vis-à-vis du trafic, notamment le pourcentage des poids lourds. Les auscultations par relevé visuel, mesures de déflections ainsi qu'une campagne géotechnique ont été effectuées pour donner :

1. Une estimation de la portance de la chaussée, ainsi qu'une appréciation visuelle dévon état de dégradation.
2. Une évaluation des caractéristiques intrinsèques et de fabrication des matériaux constituant le corps de chaussée et le sol support
3. Une détermination des causes probables des dégradations constatées.

4. Une proposition des solutions techniques nécessaires à la remise en état de l'axe étudié

Le mémoire est structuré en trois parties, une étude théorique et une étude de cas pratique celle d'une expertise d'un tronçon d'une route nationale ayant connu des dégradations avancées.

1. Le premier chapitre intitulé notions générales sur es chaussées qui traite des différents types de chaussées et leurs caractéristiques techniques.
2. Le deuxième chapitre est consacré aux différents types de dégradations des chaussées et leurs causes probables.
3. Le troisième chapitre présente une étude de cas pratique basé sur l'étude de renforcement d'un tronçon dégradée (RN 94). Cette dernière est basée sur des investigations et d'un diagnostic détaillé afin de proposer une solution adéquate de renforcement de la chaussée en fonction du trafic routier, notamment le pourcentage des poids lourds. Les solutions d'entretien appropriées sont proposées selon l'approche française à l'aide du logiciel Alizé basée sur le modèle de Baumeister.



Chapitre-I :
Généralités sur les chaussées

I.1-Introduction :

Le réseau routier est un élément essentiel au développement d'un pays, celui-ci assure l'accès aux besoins élémentaires comme les soins, l'alimentation, l'éducation ou encore le travail. Il constitue le fondement de toute économie et est un moteur de développement : « la route du développement passe par le développement de la route » disait Rémy Prud'homme. [1]

La chaussée fait partie des infrastructures civiles qui regroupent toutes sortes d'utilités publiques, notamment : les réseaux d'égouts pluviaux et sanitaires, les réseaux d'aqueducs, les réseaux de distribution d'énergie, de gaz et d'électricité mais aussi les réseaux de communication (téléphonie et câblodistribution). [1]

La chaussée, telle que définie par Delort (1982) « la partie d'une voie de communication affectée à la circulation des véhicules » représente une infrastructure vitale à toute société sur les plans économique et social, (Grata loup, 2015) « la route naît de l'idée qu'il existe un autre, avec qui on peut échanger ». [1]

1.2-Définition des chaussées :[2]

Les chaussées sont des structures constituées de plusieurs couches surmontant un ensemble appelé plateforme ou support de la chaussée, constitué du sol support le plus souvent protégé par une couche de forme.

Sur le plan structural, les chaussées se présentent comme des structures multicouches disposées horizontalement et mises en œuvre sur un ensemble géologique appelé plate-forme. Celle-ci est constituée du sol du terrain naturel terrassé (sol support), surmonté au besoin d'une couche de forme. de bas en haut, le corps de chaussée comporte généralement les éléments suivants :

- la couche de fondation
- la couche de base
- la couche de surface

Il s'agit d'une succession de couches de matériaux dont la résistance géotechnique décroît généralement de la surface vers la profondeur.

On distingue deux types de chaussées : les chaussées revêtues (qui sont soit du type rigide, soit du type semi-rigide, soit du type chaussées souples) [2].

Elle a pour objet : [3].

- D'absorber les charges dues aux véhicules.
-

- De supporter le poinçonnement résultant du stationnement des véhicules.
- D'encaisser les variations journalières et saisonnières de température et d'hygrométrie.
- De rejeter les eaux de pluie vers l'extérieur.

I.3-Les couches composant la chaussée :

Une chaussée est constituée plusieurs couches mises en œuvre sur un sol terrassé appelé sol support. Le sol support est généralement surmonté d'une couche de forme.

Le corps de la chaussée proprement dit couches de forme, d'assise, de surface, de fondation, de base, d'usure, de liaison, de roulement est constitué de deux types de couche, les couches d'assise et la couche de surface.[4]

L'assise de la chaussée est généralement constituée de deux couches, la couche de fondation et la couche de base. Ces couches, généralement constituées de matériaux liés, permettent à la chaussée de résister mécaniquement aux charges induites par le trafic. [4]

Quant à la couche de surface, elle est constituée de la couche de roulement (ou d'usure) qui subit directement les agressions du trafic et du climat.

Une couche dite de liaison est parfois intégrée entre la couche de roulement et la couche de base de l'assise. Elle permet de spécialiser la couche de roulement au confort et à la sécurité des usagers. [4]

La couche de roulement et la couche de liaison constituent la couche de surface d'une chaussée. [4]

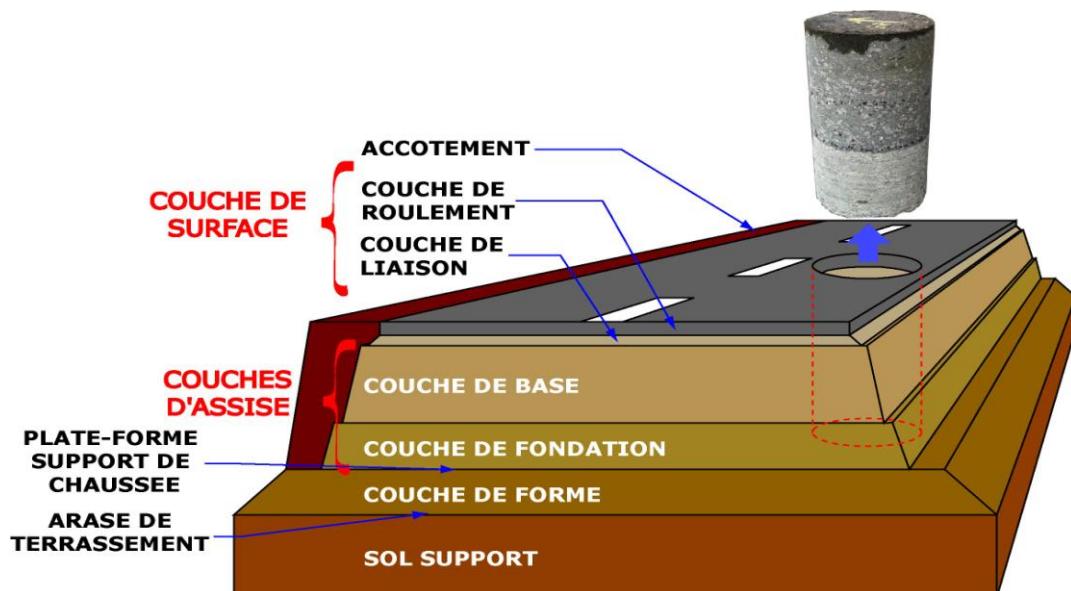


Figure I.1 : coupe transversale d'une chassée [5].

I.3.1- Le sol support : [6]

Le sol est un produit meuble résultant de la dégradation d'une roche mère, si cette dégradation est d'origine mécanique (température, vent, érosion), le matériau obtenu est une fraction granulaire grossière les minéraux obtenus sont identiques à la roche mère (la minéralogie demeure inchangée). On parle dans ce cas-là de matériaux graveleux par contre, si la dégradation est d'origine physico-chimique (action de l'eau ou de l'air), le matériau obtenu est une fraction fine argileuse (la minéralogie est modifiée). La fraction granulaire d'un sol (fraction grenue), présente un comportement régi par le frottement inter-granulaire.

Ce comportement est quasiment indépendant de la teneur en eau. Cette fraction granulaire possède une résistance au cisaillement mais ne présente, par contre aucune résistance en traction. De ce fait, elle apparaît plus ou moins vulnérable à l'érosion, perméable et non gélive, la portance est quasiment indépendante de la teneur en eau W. La fraction argileuse concerne les matériaux de diamètres inférieurs à 2 µm. Sa structure, cristalline, est formée d'un empilement de feuillets, chaque feuillet étant une superposition alternée de couches tétraédrique de silice et de couche octaédrique d'alumine. Les bords de ces feuillets sont chargés négativement. Le comportement de cette fraction est essentiellement régi par les forces d'attractions survenant entre les particules. La fraction argileuse possède une résistance au cisaillement due essentiellement à la cohésion C, ainsi qu'une résistance en traction liée à laquelle cependant diminue lorsque la teneur en eau augmente. Par ailleurs, cette fraction est imperméable, peu vulnérable à l'érosion, sujette au retrait et au gonflement. Peu de sols naturels ne sont constitués que de l'une ou de l'autre de ces fractions. Le comportement d'un sol, constitué alors en proportions variables de ces deux types de fractions, est bien souvent complexe et imprévisible. Aussi le géotechnicien doit-il avoir recours à des essais d'identification, qui permettent d'analyser les proportions des deux fractions et de classer les sols en familles, et essais de comportement, qui permettent de caler le comportement de chaque famille de sols. [6]

I. 3.2- La couche de forme : [6]

Celle-ci avec le sol support forment ce qu'on appelle une « plateforme support de chaussée », cette dernière sert comme son nom l'indique de support au corps de chaussée. Pendant les travaux, la couche de forme doit assurer la traficabilité quasi tous temps des engins approvisionnant les matériaux de la couche de fondation, permettre le compactage efficace de la couche de fondation, satisfaire les exigences de nivellement de la plate-forme support de

chaussée et assurer la protection de l'arase de terrassement vis-à-vis des agents climatiques dans l'attente de la réalisation de la chaussée. A long terme, elle doit permettre d'homogénéiser la portance du support pour concevoir des chaussées d'épaisseur constante, de maintenir dans le temps, en dépit des fluctuations de l'état hydrique des sols supports sensibles à l'eau, une portance minimale pouvant être estimée avec une précision suffisante au stade du dimensionnement de la structure de chaussée et d'améliorer la portance de la plate-forme pour optimiser le coût de l'ensemble « couche de forme - structure de chaussée ». [6]

I.3.3- La couche d'assise :

La couche d'assise est généralement constituée d'une couche de fondation sur montée d'une couche de base. Elles apportent à la structure de chaussée l'essentiel de sa rigidité et répartissent (par diffusion latérale) les sollicitations, induites par le trafic, sur la plate-forme support afin de maintenir les déformations à ce niveau dans les limites admissibles. [6]

I.3.3.1-Couche de fondation :

Complètement en matériaux non traités (en Algérie) elle substitue en partie le rôle du sol support, en permettant l'homogénéisation des contraintes transmises par le trafic. Assurer une bonne unie et bonne portance de la chaussée finie, et aussi, Elle a le même rôle que celui de la couche de base, Épaisse généralement de 20 à 40 centimètres, généralement constituée par des graves concassés.

I.3.3.2-la Couches de base :

Épaisse généralement de 10 à 20 centimètres, elle doit être construite avec beaucoup de soin, car c'est à l'intérieur de laquelle les pressions élevées dues aux charges s'atténuent suffisamment pour être supportées soit par le terrain, soit presque toujours par une ou plusieurs couches de fondation beaucoup plus grossières. Pour cela l'emploi d'un matériau compactable pour la réalisation d'une couche de base doit faire l'objet d'un contrôle particulier. Cette couche qui est protégée superficiellement par la couche de surface est généralement constituée par des graves concassés. [7]

I.3.4-Couche de liaison : entre la couche de roulement et les couches d'assise joue un rôle transitoire avec les couches inférieures les plus rigides

- La couche de liaison entre les couches d'assises et la couche de roulement en enrobes semi-denses en béton bitumineux [7].

I.3.5-La couche de surface : [7]

- La couche de roulement qui est la couche supérieur de la chaussée sur laquelle s'exerce directement les agressions conjuguées de trafic et de climat. Elle est en enrobés denses en bétons bitumineux

Dans une chaussée, la couche de surface joue un rôle important, de son choix dépendront les choix au niveau des couches inférieurs. Elle sert de protection pour les couches de base, résiste au cisaillement et absorbent les efforts horizontaux. Cette couche est constituée de :

La qualité d'usage de la chaussée dépend en majeur partie des caractéristiques de surface de la couche de roulement, donc de sa nature et de son état. Par l'étanchéité qu'elle apporte, elle contribue à la pérennité de la chaussée. Les fonctions qu'assure cette couche font que son choix doit résulter de la prise en considération des paramètres suivants :

- La sécurité et les confort des usagers en relation avec les caractéristiques de surface.
- Le maintien de l'intégrité de la structure par la protection des couches d'assises à l'égard d'infiltration des eaux pluviales
- L'impact sur l'environnement. [7]

I.4-Les types de chaussées :

Le réseau routier et autoroutier est composé de plusieurs types de structures de chaussée. Pour chaque type de structure, des exemples sont donnés dans le guide technique sur la conception et le dimensionnement des structures de chaussée, ainsi que dans le catalogue des structures types de chaussées neuves [8].

Types de chaussées	Destinations
Chaussées souples	Routes à faible et moyenne intensité de trafic
Chaussées semi-rigides	Routes à trafic plus important, zones industrielles.
Chaussées rigides	Autoroutes, voies à fort trafic, pistes d'aéroports.

I.4.1 : les chaussées souples :

Ces structures comportent une couverture bitumineuse relativement mince (inférieure à 15 cm), parfois réduite à un enduit pour les chaussées à très faible trafic, reposant sur une ou plusieurs couches de matériaux granulaires non traités. L'épaisseur globale de la chaussée est généralement comprise entre 30 et 60 cm [8].

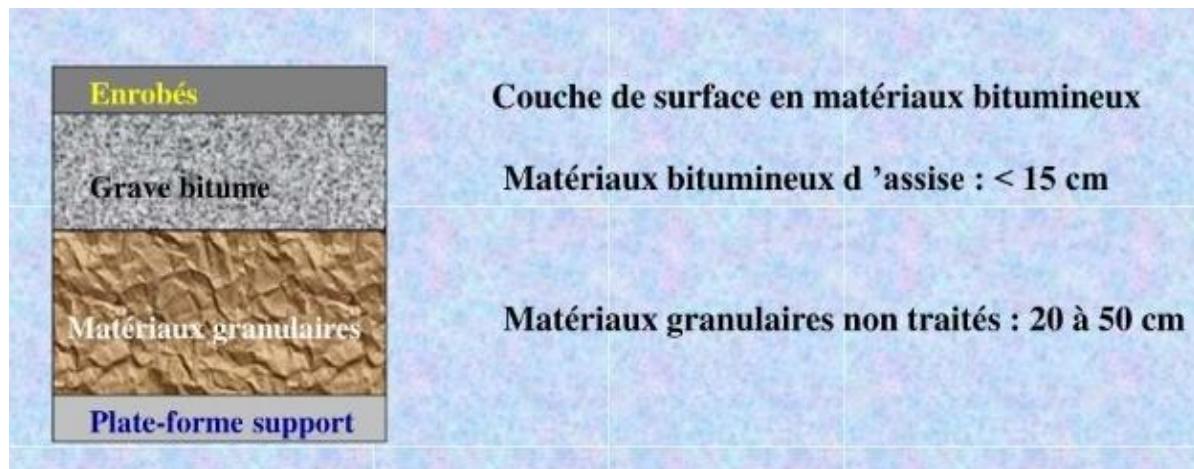


Figure I.2 : chaussée souple [9].

Leurs avantages sont :

-L'intérêt économique certain qu'elles présentent pour des sols supports de bonne qualité, pour les prolongements et abords de piste et pour les infrastructures dédiées à l'aviation légère, compte tenu des épaisseurs de chaussée relativement faibles correspondant à ces différents cas.

Leurs Inconvénients sont : [3]

- E faible de 100 à 500 Mpa.
- Faible rigidité.
- Épaisseur élevée.

I.4.2-les chaussées bitumineuses épaisses :

Ces structures se composent d'une couche de roulement bitumineuse sur un corps de chaussée en matériaux traités aux liants hydrocarbonés, fait d'une ou deux couches (base et fondation). L'épaisseur des couches d'assise est le plus souvent comprise entre 15 et 40cm. Cela permet de répartir les contraintes verticales et de réduire les efforts au niveau du sol support [8].

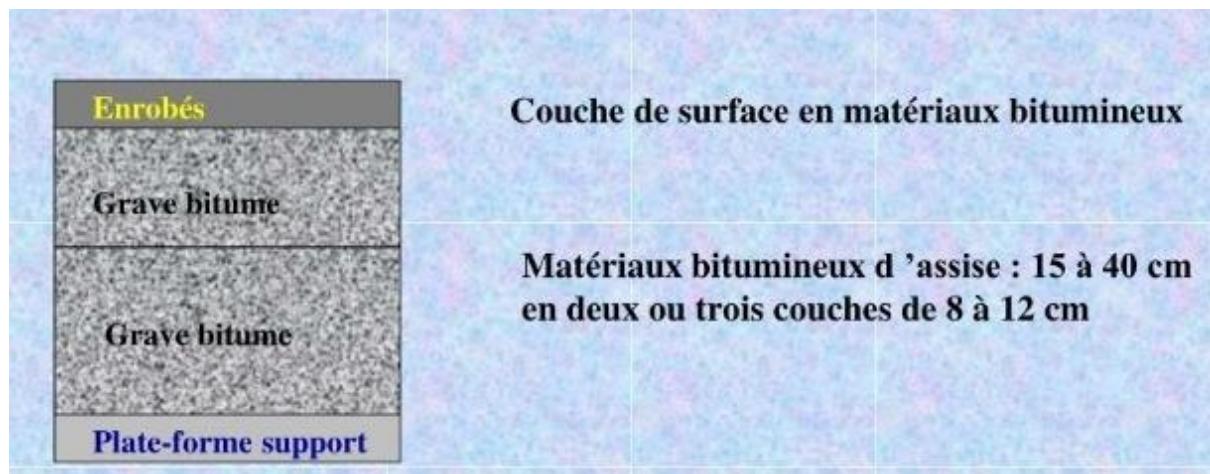


Figure I.3 : chaussée bitumineuses épaisses [9].

1.4.3- les Chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques :

Elle comporte une couche de roulement bitumineuse (6 à 12cm), sur une assise en matériau traité aux liants hydrauliques disposée en une ou deux couches (15 à 50cm) d'épaisseur. Dont l'épaisseur totale est l'ordre de 20 à 50cm , présentant un fort risque de retraits thermique , des fissures peuvent apparaître et remonter jusqu'à la couche de surface, entraînant une perte d'étanchéité [9].

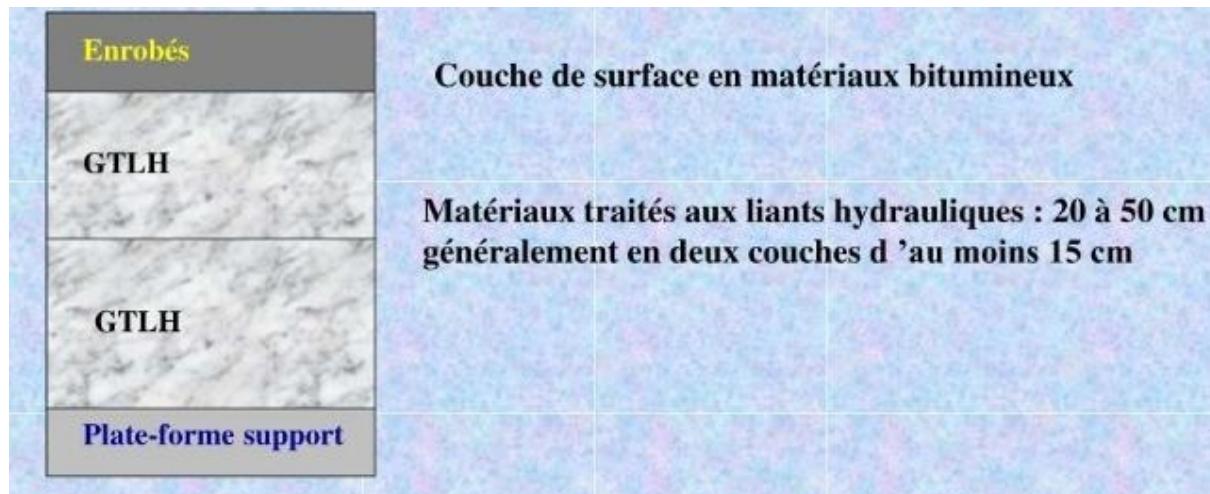


Figure I- 4 : les Chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques [9].

Avantages : [3]

- E plus élevé : E de 1000 à 15000 Mpa
- Dosage en liant faible (3 à 6%)

Inconvénients : [3]

- Module dépend de la température à 40°C 1/10 du module à 10°C

I.4.4-les Chaussées à structure mixte :

Ces structures comportent une couche de roulement et une couche de base en matériaux bitumineux (épaisseur de la base : 10 à 20 cm) sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques (20 à 40 cm). Les structures qualifiées de mixtes sont telles que le rapport de l'épaisseur de matériaux bitumineux à l'épaisseur totale de chaussée soit de l'ordre de $\frac{1}{2}$ et permet de diffusé les efforts et donc les atténuer dans le sol support [8].

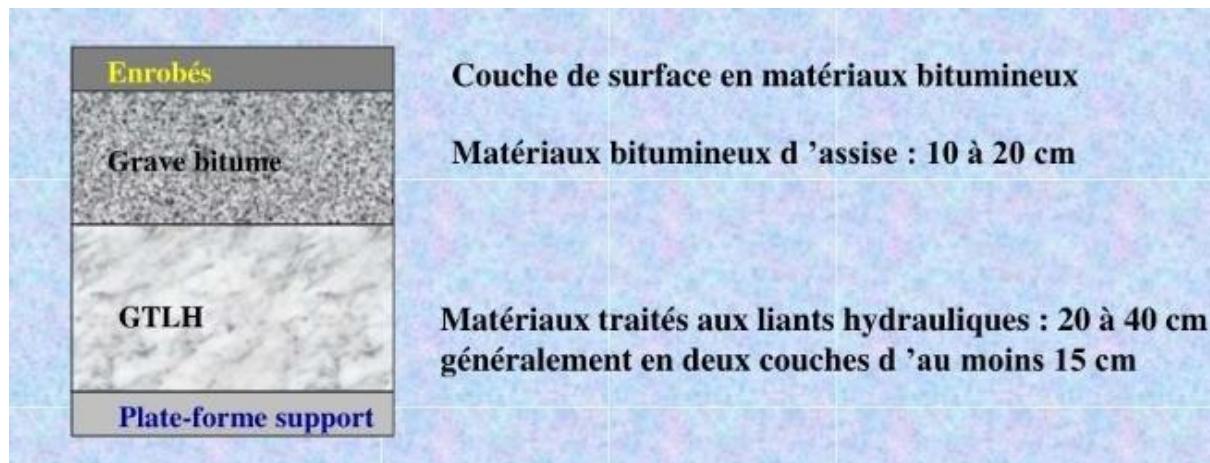


Figure 1-5 : Les Chaussées à structure mixte [9].

I.4.5 - Les Chaussées à structure inverse :

Ces structures sont formées de couches bitumineuses, d'une quinzaine de centimètres d'épaisseur totale, sur une couche en grave non traitée (d'environ 12 cm) reposant elle-même sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques. L'épaisseur totale atteint 60 à 80 cm, ces trois couches ayant toutes un rôle spécifique : [8].

la couche de surface en matériaux bitumineuse, assure l'étanchéité et l'uni de l'ensemble, la couche granulaire absorbe les fissures de la couche de fondation, empêchant ainsi leur remontée et enfin, la couche de fondation, en matériaux traités aux liants hydrauliques, permet de répartir les contraintes sur le sol [12].

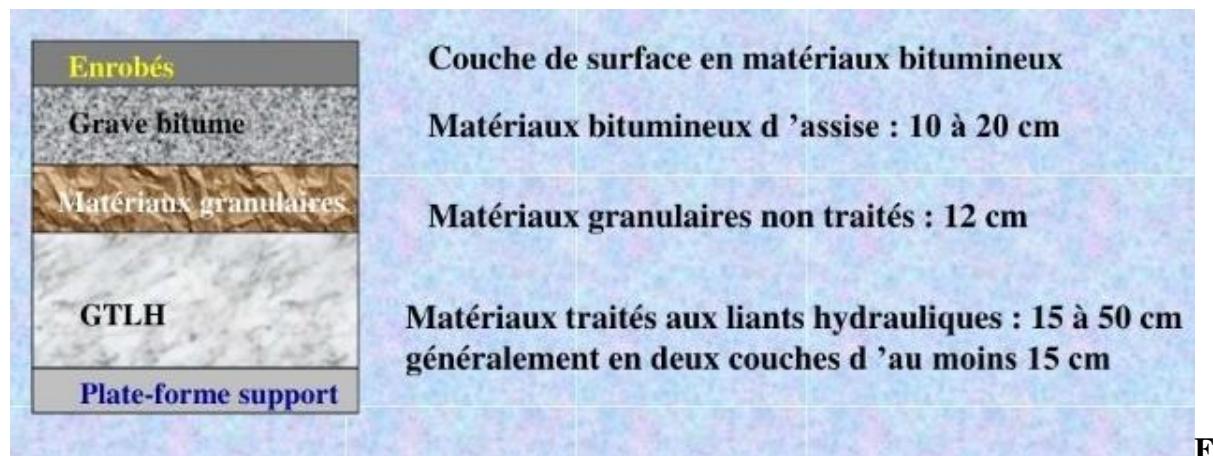
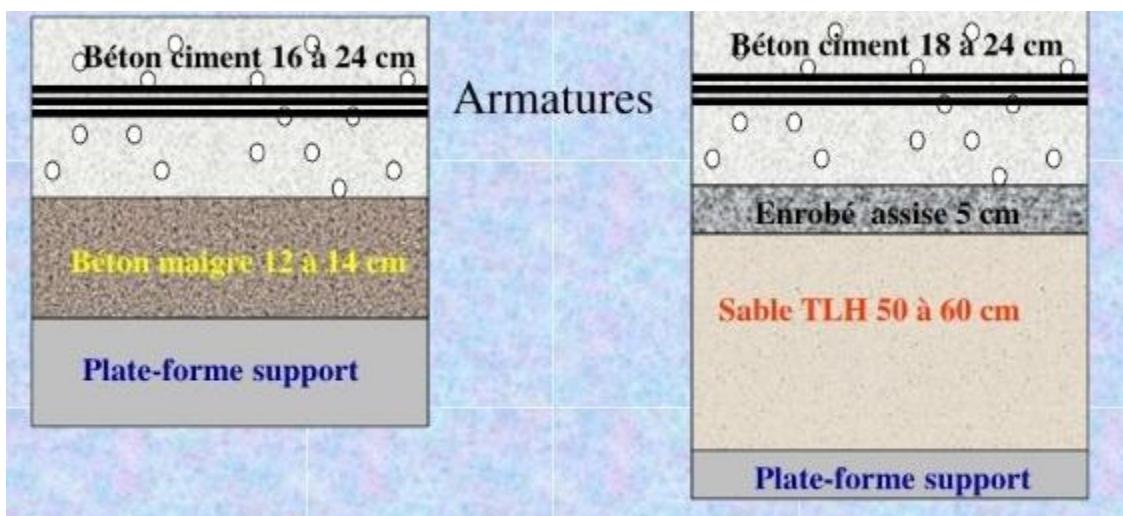


Figure 1-6 : Les Chaussées à structure inverse [9].

I.4.6 -les Chaussées en béton de ciment :

Hydrauliques, en béton de Ces structures comportent une couche de béton de ciment de 20 à 28 cm d'épaisseur éventuellement recouverte d'une couche de roulement mince en matériaux bitumineux. La couche de béton repose soit sur une couche de fondation (qui peut être en matériaux traités au liant ciment, ou drainante non traitée), soit directement sur le support de chaussée avec, dans ce cas, interposition fréquente d'une couche bitumineuse. La dalle de béton peut être continue avec un renforcement longitudinal (béton armé continu), ou discontinue avec ou sans éléments de liaison aux joints [8].



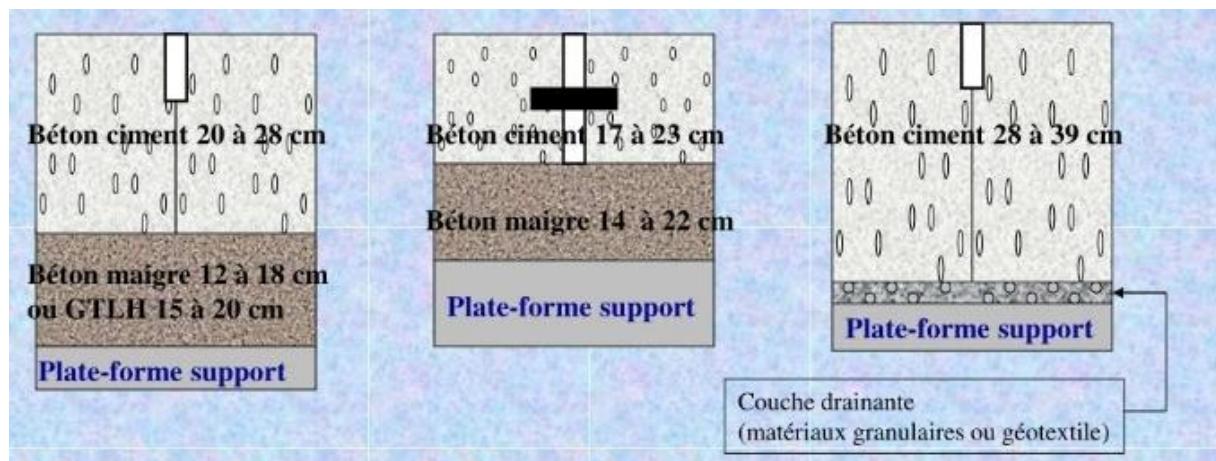


Figure I-7 : Les Chaussées en béton de ciment [9].

I.4.7 : Chaussée semi-rigide :

La chaussée semi-rigide est un type de structure de chaussée dans laquelle une couche de base semi-rigide, généralement constituée d'une base de ciment ou d'une base stabilisée au ciment, est recouverte d'une couche supérieure flexible de mélange de bitume (Zheng, 2012) [1]

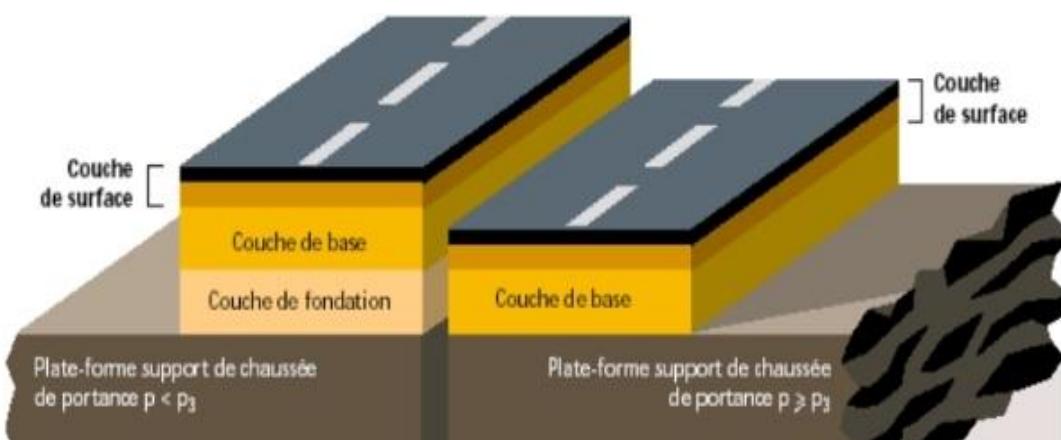


Figure I-8 : structure type d'une chaussée semi-rigide [14].

Avantages : [3]

- E encore plus élevé : E de 25000 Mpa (grave-ciment).
- Caractéristiques mécaniques élevées.

Inconvénients : [3]

- Fissures possibles.
- Courbe de fatigue plate qui ne nécessite aucune erreur de dimensionnement et pas de surcharges.

I.4.8 : Chaussée Rigide :

La surface de la chaussée rigide est beaucoup plus rigide que la surface de la chaussée en bitume. Elle est habituellement construite directement sur la couche de base. Bien que le béton des chaussées rigides soit construit de plusieurs manières différentes, ces types de systèmes de chaussées contiennent des éléments de renforcement tels que des treillis métalliques ou des barres déformées dans le béton [1].

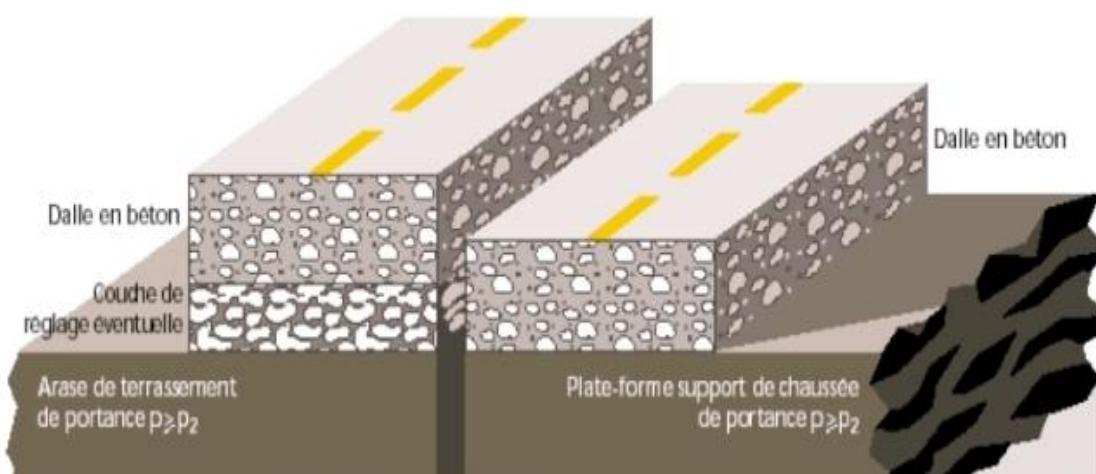


Figure I-9 : structure type d'une chaussée rigide [14].

Avantages : [3]

- E Très élevé : E de 35000 à 40000 Mpa.
- Réduction de l'épaisseur.
- Durabilité élevée.

Inconvénients : [3]

- Fissures possibles.
- Courbe de fatigue relativement plate.

- Taux de liants élevé : de 12 à 15 %.
- Pas d'utilisation en pente.

Une comparaison, entre les chaussées souple et les chaussées rigide, est présentée dans le tableau :

Tableau I-1 : Comparaison entre les chaussées souple et rigide Adapté par (Coenen 2017) [1].

Chaussée souple	Chaussée rigide
Se compose d'une série de couches de matériaux de haute qualité	Se compose d'une dalle de béton ou de ciment, et possède une résistance à la flexion relativement élevée.
Reflète les déformations de la couche de fondation et des couches subséquentes sur la surface.	Tolère les déformations localisées.
Stabilité liée au frottement et cohésion des particules.	Sa résistance structurelle est assurée par la dalle de chaussée elle-même par son action de faisceau.
Conception fortement influencée par la résistance de la plate-forme.	La résistance à la flexion du béton est un facteur majeur de conception.
Répartition de la charge à travers les couches de composants.	Répartition de la charge sur une large zone de fondation en raison de sa rigidité et de son coefficient d'élasticité
Les variations de température dues au changement des conditions atmosphériques induisent de faibles contraintes dans les chaussées flexibles.	Les changements de température induisent de fortes contraintes dans les chaussées rigides.
Les déformations causées par les charges de roues lourdes sont récupérables dans une certaine mesure.	Toute déformation excessive due à des charges de roues plus lourdes que prévu est définitive, c'est-à-dire que les tassements sont permanents.

I-5 : Caractéristiques de chaussée :

- qualité requises pour la Construction routière :

Ne sont prises en compte et contrôlées que les caractéristiques intrinsèques qui intéressent :

- la construction Routière.

Exemple : Nature Pétrographique.

-Résistance aux chocs due au passage de l'essieu.

-Résistance à l'Attrition.

Attrition = usure relative des grains qui bougent et frottent les uns par rapport aux autres.

Le Phénomène d'attrition est amplifié par la présence d'eau ⇒ Imperméabilisation des chaussées en surface.

-Bon Contact avec le pneu.

Objectif : éviter le phénomène d'Aquaplaning.

-Adhérence.

Macro texture : Création en couche de surface d'aspérités en forme de canaux que permettent l'évacuation des Eaux.

Micro texture : Utilisation de la rugosité Intrinsèques du granulat. Attention à l'usure trop rapide des gravillons en surface = polissage.

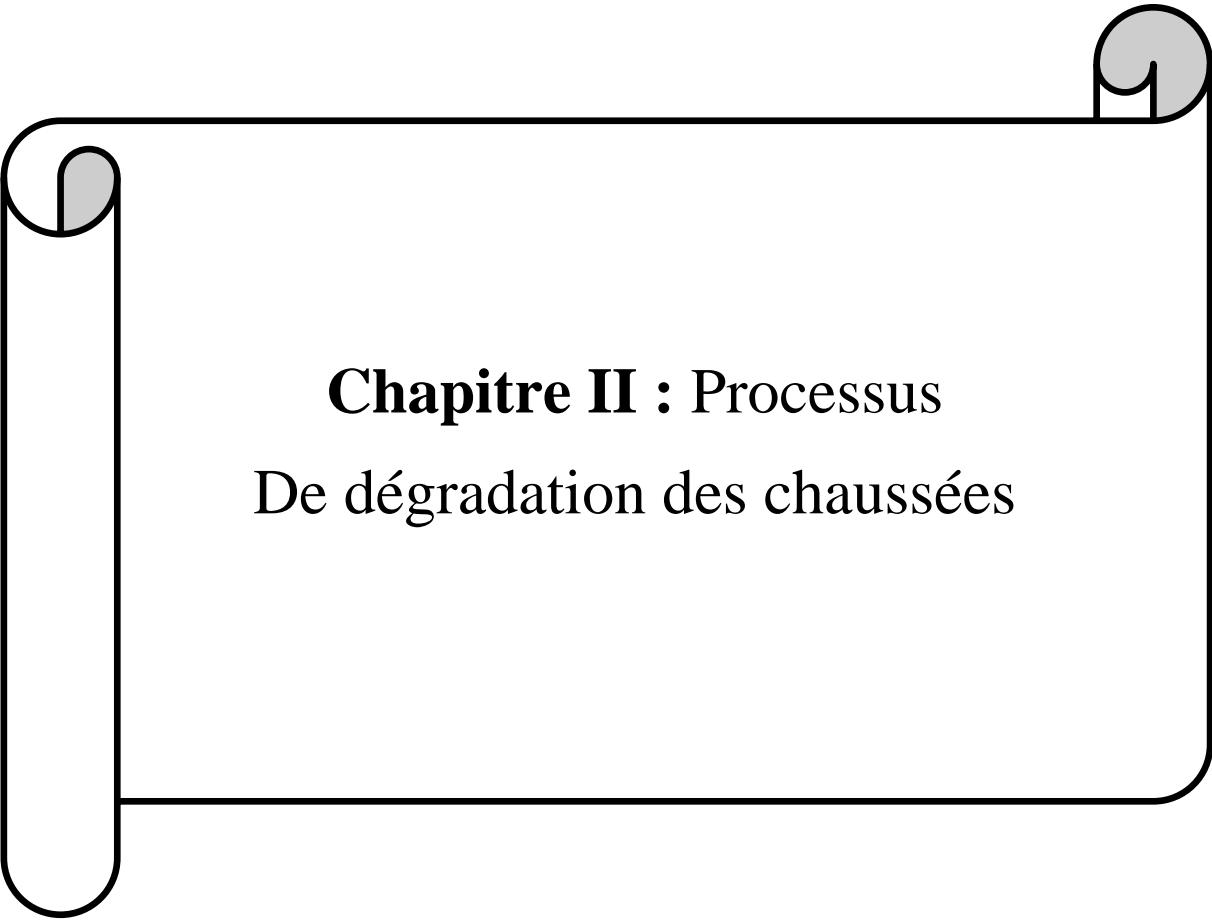
-Nature minéralogique : Important pour les bétons : teneur en sulfates, sulfures et chlorures (Fissuration et corrosion des Armatures)

-Présence de matière organique. [16]

I-6 : Conclusion :

La structure d'une chaussée est en général composée de trois groupes de couches superposées: les couches d'assises, la plate-forme support, et les couches de surface.

Les couches d'assises sont constituées d'une couche de base et d'une couche de fondation souvent réalisées en matériaux granulaires non liés ; elles constituent le corps de chaussée et servent à répartir les chargements mécaniques induits par le trafic et les transmettre à la plate-forme support. Les couches de surface comprennent essentiellement la couche de roulement, qui a pour rôle de protéger les couches d'assises des infiltrations et d'améliorer la qualité de la surface de la chaussée, elles peuvent être constituées par des couches d'enrobés ou une simple couche d'enduit.



Chapitre II : Processus

De dégradation des chaussées

II.1-Introduction :

L'évaluation des chaussées repose sur une série de mesures et d'observations visuelles qui permettent d'établir la condition de la structure, de diagnostiquer les causes des dégradations apparentes et de cibler les solutions de réhabilitation les plus appropriées. Lorsqu'il s'agit de mesures telles que les caractéristiques géométriques ou physiques de la chaussée, il est plus facile de fixer des critères qui servent de base à l'évaluation et à la réhabilitation. Lorsqu'il s'agit d'observations visant à caractériser des dégradations de surface et l'état de la chaussée, l'établissement de tels critères devient plus difficile.

Afin de réduire cette difficulté, il est nécessaire de formaliser la caractérisation des défauts de surface des chaussées et d'en faire la synthèse dans un guide accessible au personnel concerné par cette activité : ce guide, basé notamment sur une série de photos et de croquis, permet de catégoriser les dégradations de surface sur des chaussées et d'obtenir une façon d'en mesurer l'étendue et la sévérité de manière objective, cohérente et harmonisée aux procédures actuelles.

Le tout vise à améliorer les communications et à faciliter les comparaisons en uniformisant les dénominations et les types de mesures des dégradations. Chacune des dégradations est décrite de façon générale et fait l'objet d'une fiche présentant la liste des causes les plus probables de la dégradation, la description des trois niveaux de sévérité (faible, moyen et majeur) et une proposition d'unités de mesure pour les relevés en mode réseau. [16].

II.2- familles de dégradation des chaussées :

L'ensemble du trafic participe à l'usure de surface de la chaussée. Le passage répété des millions de fois par les véhicules et plus particulièrement par les poids lourds polissent les agrégats de surfaces (diminution de l'adhérence de la chaussée) et arrachent des micros particules de la chaussée. De plus, par temps de pluie, l'eau peut se glisser dans les interstices entre agrégats et bitume et agir sous la pression des pneus (l'eau étant incompressible) comme un coin pour déchausser les agrégats.

Les UV contribuent à changer les caractéristiques du bitume. Le bitume devient plus dur sous l'effet des UV étant plus dur, le bitume devient plus cassant, favorisant l'apparition de fissures.

Les variations thermiques saisonnières provoquent alternativement dilatation et retrait. Les variations diurnes et nocturnes ont la même action. Cela impacte la viabilité de la chaussée et à la longue contribuent aux déformations de chaussées.

Le trafic des poids lourds engendre une sollicitation de la structure par fatigue. L'impact mécanique du passage des poids lourds est primordial par rapport aux véhicules dit légers (13 tonnes maximum par essieu pour les poids lourds, une remorque de poids lourds pouvant comporter 3 essieux et le tracteur autant, contre 2 essieux de 1 tonne environ chacun pour un véhicule léger).

Lorsque la nature des matériaux constitutifs du corps de chaussée est inadaptée et ou lorsque ces matériaux sont mis en œuvre dans des épaisseurs insuffisantes, l'ensemble des agressions que subit une route va causer des dégradations dans des délais beaucoup plus courts.

- il est important de définir les différents types de désordres pouvant affecter une structure de chaussée, on distingue quatre groupes (familles) sont :

II.2 .1 - Les Déformation :

II.2.1.1-Les Affaissements :

•Description :

Ce sont des dépressions très prononcées et souvent assez étendues, localisées soit en rive (Affaissements de rives) ou en pleine largeur de la chaussée (Affaissements hors rives). Ces derniers prennent le nom de flaches lorsqu'ils présentent une forme circulaire.

Tassement vertical de la chaussée sur l'axe de la route ou sur le bord de la chaussée, son évolution peut engendrer d'autres dégradations telles que les fissures et les faïençages [15]

• Causes probables :

- Sous-dimensionnement des couches inférieures.
- Chaussée non calée sur les rives.
- Tassement des couches inférieures.
- Niveau trop élevé de la nappe phréatique.
- Mauvais drainage superficiel.
- l'eau pénètre dans le corps de chaussée.
- Pollution du corps de chaussée. [15]

•Évolutions possibles :

L'une des premières conséquences des affaissements est la rétention d'eau pouvant entraîner une diminution de l'adhérence. TI s'en suit une infiltration d'eau dans le corps de chaussée puis un dés enrobage des granulats. La flache aboutit enfin à un faïençage évoluant vers un nid de poule par départ de matériaux. La dégradation peut aboutir à une rupture de la chaussée en saison des pluies. [17]

• Remèdes :

Les principales solutions préconisées sont :

- le déflachage (pour les affaissements de moins de 5 cm)
- la réfection localisée du corps de chaussée (pour les affaissements de fortes hauteurs). [17]

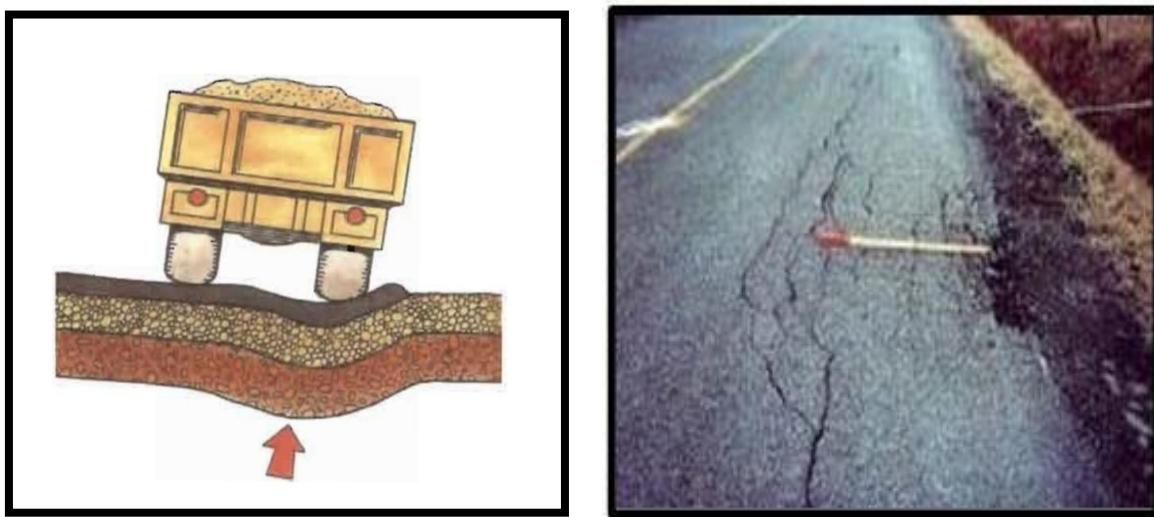


Figure II-1 : Affaissement [16]

II.2.1.2- Les Flaches :**• Description :**

C'est une dépression de forme arrondie provenant d'un point faible du corps de chaussée. Son développement est très rapide, il peut conduire à d'autres désordres tels que le faïençage et le nid de poule. [15]

•Causes probables :

- Affaissement localisé provenant d'un point faible du corps de chaussée (compacité insuffisante des couches de chaussées).

- Pollution du corps de chaussée.
- Drainage inexistant. [15]

•**Évolutions possibles :**

- Formation de Bourrelets de Fissures et faïençage.
- Rupture de la chaussée en saison de pluie. [17]

•**Remèdes :**

Déflachage ou réfection localisée suivant la profondeur de l'affaissement. [17]

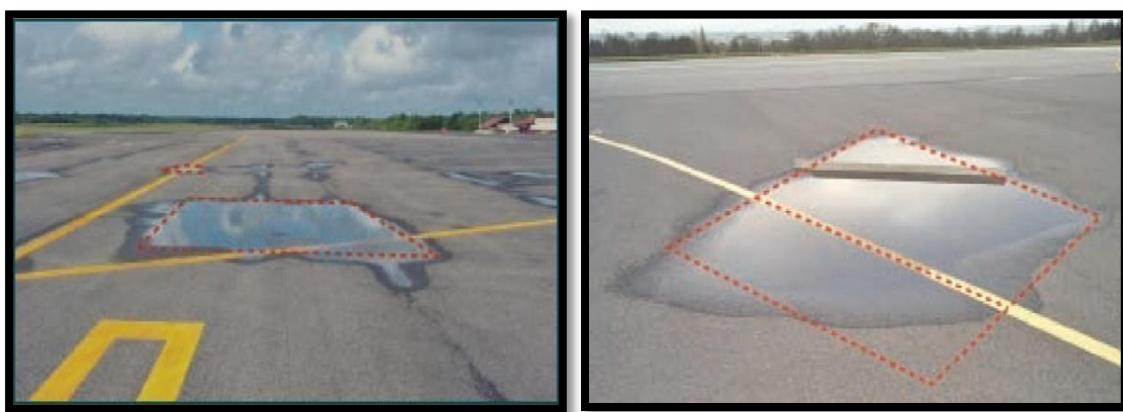


Figure II-2 : Flache [17]

II.2.1.3-Les Bourrelets (*gonflement*) :

•**Description :**

Gonflement apparaissant à la surface de la chaussée. [15]

•**Causes probables :**

- Fluage du revêtement.
- Température élevée dans l'enrobé.
- Zone de décélération brutale.
- Fatigue de la chaussée due au passage de véhicules trop lourds pour la structure de la chaussée
- Défaut de compactage à la construction.
- Entrée d'eau entraînant une diminution de la portance du corps de chaussée.
- Matériaux de mauvaise qualité.
- Qualité inadéquate du revêtement bitumineux.

- Manque de liaison entre le revêtement bitumineux et la couche sous-jacente, [15]

- **Évolutions possibles :**

- L'évolution du bourrelet est en rapport avec celle de l'orniérage.

Ainsi, ils sont fréquemment accompagnés d'extrusion de matériaux mous sous l'effet de la déformation et d'une destruction progressive de la chaussée.

- il peut aussi en résulter une fissuration et ou arrachement de la couche de surface.

- Un défaut d'uni est aussi souvent constaté.

- flashage ou réfection localisée suivant la profondeur de l'affaissement[17]

- **Remèdes :**

Comme pour les flaches, les solutions préconisées sont:

- le déflachage (pour les bourrelets de faibles hauteurs)

- la réfection localisée (pour les bourrelets de fortes hauteurs). [17]



Figure II-3 : Les bourrelets (gonflement) [17]

II.2.1.4 - Les Orniérages :

• **Description :** Déformation permanente qui se développe sous le passage des roues des véhicules. Cette déformation affecte généralement le profil transversal sur toute la longueur du tronçon. Dans le cas extrême la chaussée présente un profil en W, il met en péril la sécurité des usagers, car il canalise la circulation. [15]

•Leurs Causes probables :

- Sous-dimensionnement des couches inférieures.
- Niveau de la nappe phréatique trop élevé.
- Stabilité insuffisante des enrobés.
- Granularité incorrecte.
- Bitume trop mou pour la région ou température élevée dans l'enrobé.
- Sur compactage sous l'action d'une circulation lourd canalisée
- Contamination de la couche de base. [15]

•Leurs Évolutions possibles :

Les ornières sont parfois accompagnées de fissures qui sont d'autant plus ouvertes que le défaut est profond. En effet, si l'eau pénètre dans le corps de la chaussée, l'ornièrage va s'accélérer et risque d'entrainer une fissuration et une rupture de la chaussée. [17]

•Leurs Remèdes :

Les principales techniques d'entretien sont le reprofilage dans les ornières avec des matériaux bitumineux (ornièrage inférieur à 5 cm) et le rechargement (ornièrage supérieur à 5 cm)

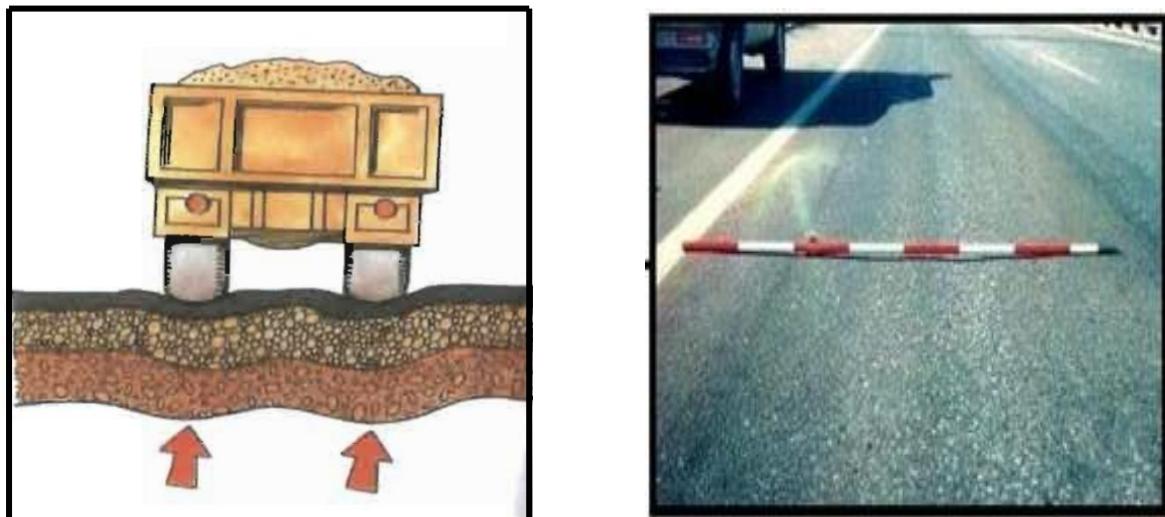


Figure II-4 : Ornièrage [17]

II.2.1.5 - Tôles ondulées :**•Description :**

Ondulations Perpendiculaires à L'axe de la chaussée elles se développent sous l'effet de la circulation.

Ce défaut est la principale source d'inconfort et est extrêmement dommageable pour les véhicules. [15]

•Causes probables :

- action mécanique sur le revêtement.
- Couche de base granulaire instable sous le revêtement mince. [15]

•Évolutions possibles :

- formation de bourrelets transversaux.
- fissurations. [17]

•Remèdes :

Enduit superficiel ou Tapis en Enrobé [17]

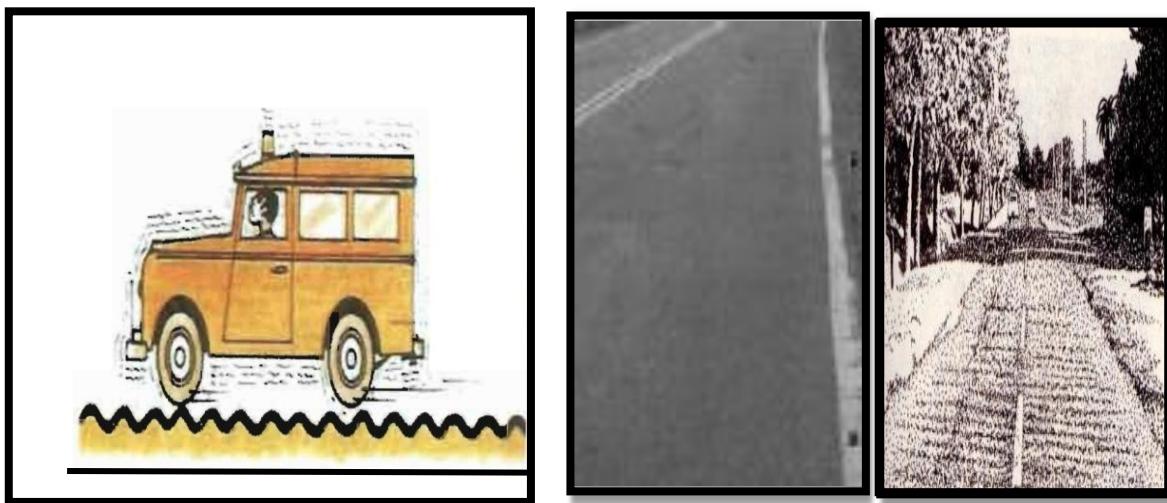


Figure II-5 : Tôle ondulée [17]

II.2.2- les Fissurations :**II.2.2.1-Les fissures longitudinales :****•Description :**

Cassures du revêtement qui Affectent la surface et le corps de chaussée selon différentes formes.

Leurs évolutions entraîneront les faïençages et les nids de poule. [15]

•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.
- Chaussée non calée sur les rives.
- Efforts horizontaux importants (zones de freinages).
- Instabilité d'une chaussée établie sur un mauvais remblai. [15]

•Remèdes :

Les solutions préconisées sont : l'imperméabilisation localisée du revêtement ou colmatage des fissures (pour les fissures superficielles et les fissures du corps de chaussée) et la réfection localisée du corps de chaussée (en cas de graves fissurations sur le corps de la chaussée). L'application d'un enduit superficiel ou de tapis d'enrobé est aussi une alternative. [17]



Figure II-6 : fissures Longitudinales [16]

II.2.2.2-Les fissures transversales :**•Description :**

Cassure du revêtement suivant une ligne avec ou sans rupture du corps de chaussée. Ce sont des cassures sensiblement perpendiculaires à l'axe de la chaussée, isolées ou périodiques, d'espacement variable, intéressant tout ou partie de la largeur de la chaussée. Suivant la cause et le mode d'apparition, on les distinguera en fissures de retrait, fissures de joints et en fissures de fatigue. [15]

•Causes probables:

- Le retrait dû à la prise de l'assise traitée aux liants hydrauliques sous l'effet des variations de température la fissure remonte au travers de la couche de surface.
- Un défaut de mise en œuvre de la couche de roulement (par exemple un mauvais collage entre bandes lors d'une reprise d'épandage pour les fissures de joint).
- Le vieillissement du liant ou une sensibilité du bitume aux variations thermiques.
- La fatigue avancée de la chaussée due à la répétition des efforts ou un sous dimensionnement d'une ou de plusieurs couches.
- La diminution de portance du sol support (drainage déficient, défaut d'étanchéité de la surface). [15]

•Évolutions possibles :

Les fissures transversales apparaissent soit directement en pleine largeur, soit au droit du passage des roues des véhicules pour s'étendre sur la totalité du profil en travers. Elles peuvent par conséquent augmenter avec le temps. D'abord fines, ces fissures peuvent se ramifier avec épaufrément des lèvres et évoluer vers les faïençages, les flaches et les départs de matériaux conduisant ainsi à une destruction généralisée ou localisée de la chaussée. [17]

•Remèdes :

Les solutions préconisées sont : l'imperméabilisation localisée du revêtement ou colmatage des fissures (pour les fissures superficielles et les fissures du corps de chaussée) et la réfection localisée du corps de chaussée (en cas de graves fissurations sur le corps de la chaussée). L'application d'un enduit superficiel ou de tapis d'enrobé est aussi une alternative.

- L'imperméabilisation localisée est une technique qui permet de réparer les fissures. Le traitement consiste à un balayage et une délimitation de la zone à imperméabiliser, puis à un

épandage du liant (bitume fluidifié à chaud ou une émulsion de bitume) sur la surface. Enfin, on répand les granulats constitués de sable grossier (jusqu'à 6mm) sur toute la surface à traiter.

-Le colmatage de fissures est une technique utilisée pour la réparation des fissures rapprochées ou isolées. Pour les fissures rapprochées, le traitement consiste à un balayage et une délimitation de la zone à traiter, puis à un répandage d'âge du coulis bitumineux sur la surface à traiter. Le coulis est obtenu en mélangeant une émulsion de bitume avec du sable grossier (jusqu'à 6mm). Quant aux fissures isolées, le traitement consiste à un balayage de la zone à traiter, puis à un épandage du liant (bitume fluidifié à chaud) à l'aide d'une lance de pulvérisation ou d'un arrosoir en suivant la fissure. Enfin, on répand le sable sur la bande du liant. [17]



Figure II-7 : Fissure Transversale [16]

II.2.2.3-Les Faïençages à Mailles Fines :

•Description :

Il s'agit d'un ensemble de fissures entrelacées ou maillées, moins larges au niveau de la surface de roulement [15]

•Causes probables :

- Contamination du corps de chaussée par de l'argile
- Mauvais accrochage de la couche de roulement sur la couche de base.

- Fatigue du revêtement (vieillissement du liant).
- Sous dimensionnement des couches de chaussées.
- Perméabilité de la couche de base (remonté d'eau). [15]

•**Évolutions possibles :**

Si aucune opération d'entretien n'est effectuée, on assistera à une augmentation des zones faïencées devenant plus serrées. Le faïençage évolue alors vers un départ de matériaux (entrant la formation de pelades ou encore de nids de poule) et/ou la chute de portance due à la pénétration de l'eau dans le corps de chaussée. [17]

•**Remèdes :**

Dans le cas où le corps de chaussée n'est pas affecté, les solutions préconisées sont la réfection localisée ou la réalisation d'un enduit superficiel qui permet de rétablir l'imperméabilité de la couche de surface .On peut aussi procéder au décapage de la couche de roulement et à la mise en œuvre d'une couche d'enrobé à chaud (après couche d'accrochage).

Dans le cas contraire, il faut se résigner à une reprise de la partie concernée. [17]



Figure II-8 : Les Faïençages à Mailles Fines [16]

II.2.2.4- Les faïençages à Mailles Larges :**•Description :**

Il s'agit d'un ensemble de fissures entrelacées ou maillées, plus ou moins larges au niveau de la surface de roulement. Les mailles peuvent apparaître sous forme circulaire ou polygonale communément appelée « peau de crocodile » [15]

•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 (remonté d'eau). [15]

•Remèdes :

Dans le cas où le corps de chaussée n'est pas affecté, les solutions préconisées sont la réfection localisée ou la réalisation d'un enduit superficiel qui permet de rétablir l'imperméabilité de la couche de surface .On peut aussi procéder au décappage de la couche de roulement et à la mise en œuvre d'une couche d'enrobé à chaud (après couche d'accrochage). Dans le cas contraire, il faut se résigner à une reprise de la partie concernée. [17]



Figure II-9 : Les Faïençages à Mailles Larges [16]

II.2.2.5- Épaufure :

•Description :

Cassure du revêtement en bord de chaussée [15]

•Causes probables :

- Mauvais drainage superficiel.
- Attaque de l'accotement par les eaux de rousse-élément créant des vides sous le revêtement.
- Dune empiétant sur la chaussée d'où passage de roues fréquent en rive et sur accotement en sable. [15]

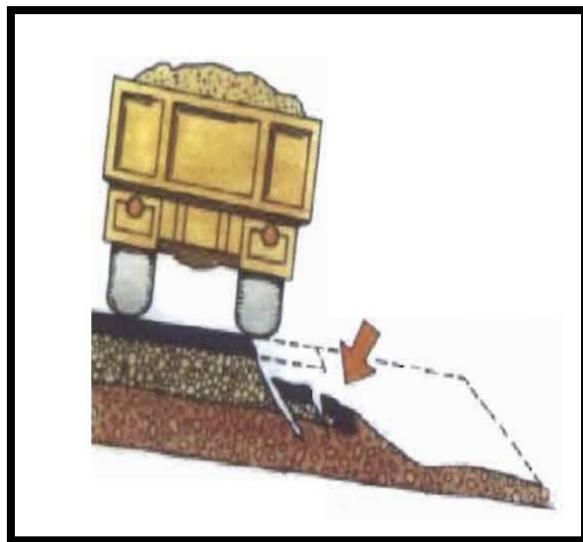


Figure II-10 : Épaufure [17]

II.2.3- Les Arrachements :

II.2.3 .1-La pelade :

•Description :

Décollement de la couche de roulement par plaques plus ou moins grandes. [15]

•Causes probables :

- Défaut d'accrochage de la couche de roulement (nettoyage insuffisant avant la mise en œuvre, mauvaise exécution, présence d'eau à l'interface) ;

- Absence ou insuffisance de la couche d'accrochage ;
- Épaisseur insuffisante de la couche de surface ;
- Chaussée fortement sollicitée par le trafic. [15]

•Évolutions possibles :

La pelade évolue vers un arrachement progressif de la couche de surface. Elle s'accompagne aussi d'une altération de l'étanchéité et de l'uni. Elle aboutit enfin vers des nids de poule si elle n'est pas traitée à temps. [17]

•Remèdes :

Lorsque les surfaces concernées ne sont pas importantes, l'entretien consiste en un bouchage aux enrobés adaptés, précédé d'une couche d'accrochage à l'émulsion. Cependant, si la dégradation se généralise, on procédera par reprofilage en enrobé à chaud avec toujours une couche d'accrochage. Une autre solution consiste en l'application d'enduits superficiels.

L'application d'enduits superficiels permet de redonner à la chaussée son étanchéité ainsi qu'une amélioration de l'uni de surface. La mise en œuvre doit alors respecter la succession suivante d'opérations :

- répandage d'une couche de liant.
- répandage d'une ou de deux couches de granulats.
- compactage de l'ensemble. Enfin notons que la technique des emplois partiels exposée précédemment est aussi utilisable. [17]



Figure II-11 : La Pelade [16]

II.2.3.2-L'indentation et le glaçage :**• Description :**

Usure du revêtement qui le rend lisse et glissant (chute de la rugosité de la chaussée). [15]

• Causes probables :

- Dureté insuffisante des granulats du revêtement.
- Pertes superficielles de granulats.
- Surdosage en liant de l'enrobé.
- Qualité du liant inadaptée au trafic ou au climat.
- Compactage à une température très élevée.
- Action mécanique due au trafic. [15]

• Évolutions possibles :

Le phénomène évolue vers une accentuation de l'usure des gravillons résultant en une chaussée de plus en plus glissante par temps humides. On assiste à une extension du désordre dans les bandes de roulement, voire l'apparition d'ornières accompagnées de bourrelets transversaux et longitudinaux. [17]

• Remèdes : Les techniques d'entretien les plus utilisées sont la réalisation d'un enduit superficiel ou d'un tapis en enrobés [17]

II.2.3.3-Les nids de poule :**Description :**

Ce sont des désagrégations localisées du revêtement sur toute son épaisseur formant des trous de forme généralement arrondie, au contour bien défini, de tailles et de profondeurs variables. Ils représentent le stade final d'un faïencage, d'une flache, d'un plumage ou d'une pelade. Plus qu'une gêne, ils constituent souvent en fait un danger sérieux pour la circulation et présentent un réel inconvénient pour l'assainissement. [15]

• Causes probables :

- Défaut localisé de la couche de roulement ou de base lors de la fabrication ou de la mise en œuvre des matériaux

- Épaisseur insuffisante du revêtement
- Forte perméabilité de la couche de roulement
- Désagrégation et départ de matériaux dus à une mauvaise qualité de la chaussée
- Très souvent, ils correspondent au stade ultime d'autres dégradations (faïençage, flache, dés enrobage, pelades...). [17]

• **Évolution :**

Les nids de poule évoluent vers une augmentation en taille et en nombre des trous et vers la ruine totale de la chaussée. On note aussi une infiltration massive d'eau dans le corps de chaussée. C'est pourquoi, les zones détruites doivent être traitées le plus rapidement possible. [17]

• **Évolutions possibles :**

La technique d'entretien la plus connue est le bouchage de nids de poule. En plus, quand les nids de poule atteignent certains niveaux de gravité, la réfection localisée du corps de chaussée est plus préconisée. Le bouchage de nids de poule consiste à rendre à la chaussée son état initial en rebouchant les nids de poule dès la constatation de leur apparition. Il procède par découpage (bords verticaux), élimination des parties non liées (ce qui implique décapage et nettoyage), accrochage (épandage d'émulsion), remplissage, compactage (intense) et enfin traitement de la surface. [17]

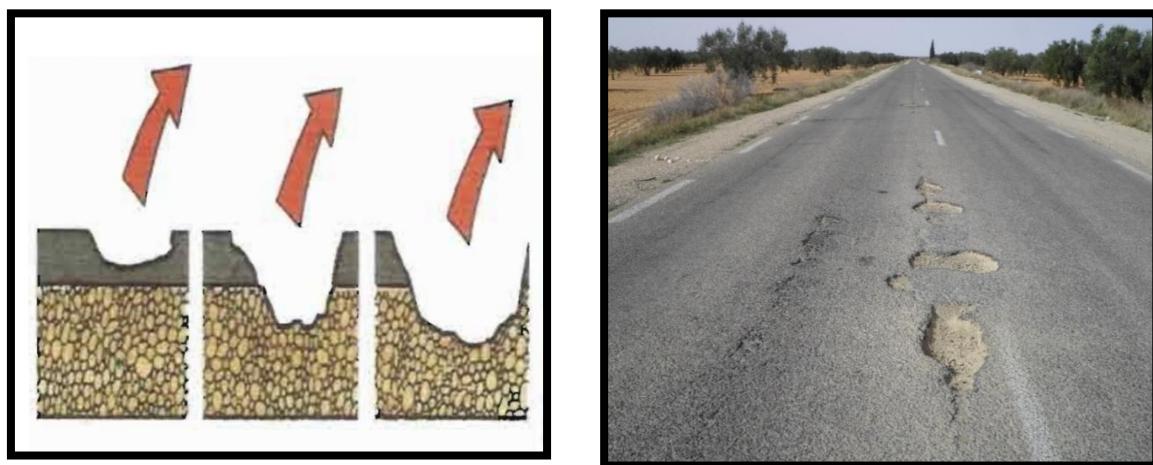


Figure II-12 : Le Nid de Poule [17]

II.2.3.4- Des enrobages :

Description :

Disparition de pellicule de liant enveloppant les granulats de la surface de la couche de roulement [15]

•Causes probables :

- Action de l'eau.
- Attaque du liant par l'argile.
- Action mécaniques diverses.
- Mauvaise adhésion des gravillons au film de liant[15]



Figure II-13 : des enrobages [16]

II.2.3.5- Le Plumage :

Description :

Arrachement progressif des gravillons du revêtement rendant la Chaussée plus *glissante* et de plus en plus perméable. Il peut être localisé au niveau des tracés des roues des véhicules [15]

•Causes probables :

- Mauvaise adhésion des gravillons au film de liant..
- Mauvais épandages du liant.
- Granulats pollués
- sous dosage en liant [15]



Figure II-14 : Le Plumage [16]

II.2.3.6- Le Peignage :

Description :

Départ des gravillons suivant des bandes longitudinales [15]

•Causes probables :

- Mauvaise adhésion des gravillons au film de liant..
- Mauvais épandages du liant.
- Granulats pollués
- sous dosage en liant. [15]



Figure II-15 : Le Peignage [117]

II.2.4- Les remontées de liant ou ressage :**II.2.4.1-Les remontées de fines :****•Description :**

TI s'agit de l'éjection de matériaux (eau, boue...) provenant du corps de chaussée et remontant à travers les points faibles de la couche de roulement (fissures, enrobé poreux). [15]

•Causes probables :

- Pénétration et cheminement de l'eau entre les couches de chaussée.
- Mauvais drainage du corps de chaussée.
- Manque de cohésion et sensibilité à l'eau du support.
- Défaut d'interface propice à la circulation de l'eau. [15]

•Évolutions possibles :

Les remontées peuvent induire un manque d'adhérence au niveau de l'interface chaussée-pneumatiques par la présence de zones humides à la surface. Elles évoluent vers une destruction progressive de la chaussée sous l'action de l'eau, à une désagrégation des matériaux du corps de chaussée par suite de sa désorganisation et à un dés enrobage des granulats. A long terme, des nids de poule peuvent apparaître à la surface de la chaussée à cause de la baisse de portance de l'assise. [17]

•Remèdes :

La solution préconisée est le drainage de la chaussée. Une autre solution consiste à identifier l'origine de l'eau et de procéder au nettoyage de la zone concernée et on appliquera par suite une couche d'accrochage. Enfin, on procédera à la mise en place de l'enrobé. [17]

Aussi, il serait bon de vérifier le niveau de la nappe lors de la construction pour prévoir les éventuelles remontées.

II.2.4.2-Le ressusage :**•Description :**

Le ressusage est caractérisé par une remontée localisée de liant à la Surface de roulement donnant un aspect noir et brillant.

La. Présence de ce défaut constitue un danger de glissement et de dérapage les véhicules. [15]

•Causes probables :

- Surdosage (mauvaise formulation) du liant de la couche de roulement.
- Bitume trop mou (liant mal adapté) .
- Remontée du liant présent en dessous de la couche d'usure (ancien enduit par exemple) .
- Section soumise à un fort ensoleillement pour la viscosité du liant.
- Choix inapproprié des granulats
- Excès de compactage
- Température élevée dans le revêtement.
- Liant inadapté (bitume ou cut-back trop mou) . [15]

•Évolutions possibles :

Le ressusage se manifeste d'abord par l'apparition des traces de roues sur la chaussée en période de chaleur. Il évolue vers un décollement et un arrachement de la couche de surface sous l'effet de la circulation. Il s'en suit un amorçage de nids de poule. Il y'a lieu de noter que la chaussée devient glissante par temps humide. [17]

•Remèdes :

Les solutions préconisées sont l'application d'un enduit superficiel ou un sablage suivi d'un cylindrage léger. Le sablage est une technique qui permet de réparer les surfaces présentant un ressusage. Le traitement consiste à un épandage d'un sable grossier (jusqu'à 6mm) sur la surface et à l'étaler à l'aide d'un balai pour que la surface soit recouverte de manière uniforme, Le cylindrage consiste alors à compacter légèrement la surface ainsi recouverte. [17]

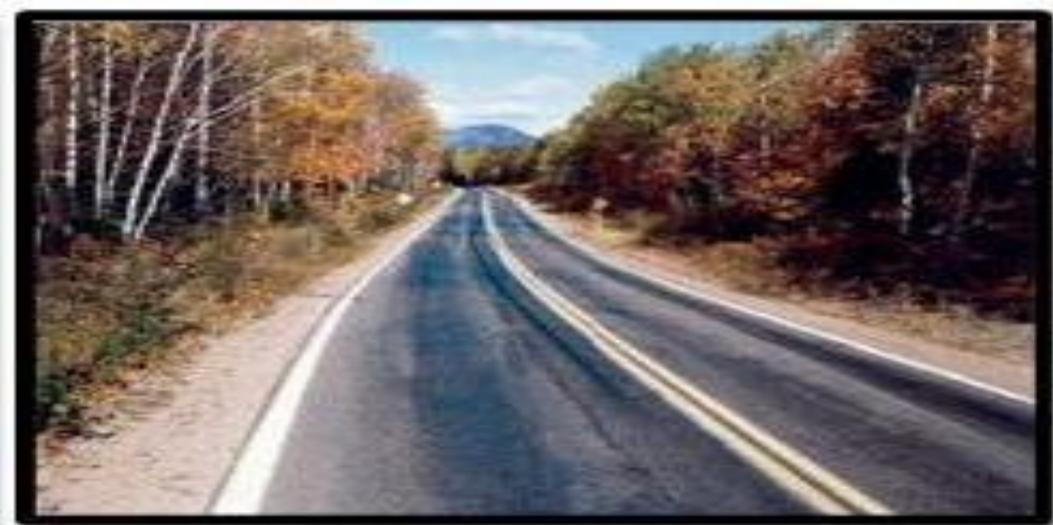


Figure II-16 : Les remontées [16]

II.3-Les Principales causes et mode de dégradation :

Les chaussées évoluent et se dégradent essentiellement sous l'effet du trafic lourd et des conditions climatiques. La rapidité de cette évolution et les désordres qui apparaissent sont également liés à la nature et à l'épaisseur des matériaux utilisés et à leurs conditions de fabrication et de mise en œuvre. Certains désordres consécutifs à l'instabilité du support de la chaussée (remblais ou terrain naturel) peuvent apparaître indépendamment du trafic et du climat [17].

II.3.1-Les chaussées souples :

Une chaussée souple est constituée par une assise non traitée et avec moins de 12 cm d'enrobé bitumineux. Du fait de la faible rigidité de la couche granulaire d'assise, ce type de chaussée est particulièrement sensible aux variations hydriques des matériaux non traités et du sol support. Son comportement repose donc essentiellement sur la portance des couches d'assise et toute augmentation de la teneur en eau de ces matériaux va fragiliser la structure (fossés sur les bas-côtés, infiltration par des fissures ...). Une fois que l'eau peut s'infiltrer dans la structure, les dégradations ne peuvent que s'accélérer (épaufures puis départ de matériaux et nid de poule) [19].

-Mode de dégradation :

L'évolution Caractéristique des chaussées souples traditionnelles comporte donc :

L'apparition de déformation permanentes flèche affaissements de rive et ornière a grand rayon qui croissent en gravité (amplitude verticale) et en étendue.

L'apparition d'une fissuration longitudinale dans les bandes de roulement se ramifie se

Dé double et en période de dégel, l'augmentation très rapide.

Des déformations permanentes peuvent conduire à la ruine de ce type de chaussée si des mesures de rétractation de trafic poids lourds ne sont pas prises. Évolué vers un faïençage à Mailles fines.

La fissuration favorise les infiltrations d'eau qui amplifient la réduction de portance du support en période pluvieuse, donc aggravent les déformations permanentes

ces infiltrations d'eau accélèrent également l'évolution de la fissuration en provoquant l'épaufture des bords de fissure, des arrachements puis des nids de poule [9].

II.3.2-- Les chaussées bitumineuses :

Une chaussée bitumineuse est constituée d'une assise en au moins deux couches de matériaux bitumineux avec une épaisseur totale d'au moins 12 cm. La bonne rigidité des enrobés bitumineux permet d'atténuer fortement la transmission des contraintes, en reprenant les efforts par traction-flexion.

La qualité de la structure réside donc dans le bon collage des interfaces entre chaque couche de manière à transmettre les efforts à la base de la couche la plus profonde.

Dans le cas où ces interfaces sont défectueuses (mal collées), chaque couche est plus sollicitée en traction, ce qui peut générer des ruptures par fatigue [19].

L'endommagement de ce type de structure bitumineuse est donc généralement constitué Successivement par :

-Un fluage de surface avec orniérage.

- Un arrachement des gravillons.

-L'apparition de fissures.

- L'aggravation des désordres du haut vers le bas au fur et à mesure de l'accentuation des Fissures [19].

-Mode de dégradation :

L'évolution caractéristique des chaussées bitumineuses épaisses comporte donc, en dehors des phénomènes spécifiques à l'usure et au vieillissement de leur couche déroulements, les phases suivantes :

L'apparition dans les bandes de roulement d'une fissuration longitudinale qui se ramifie, se dédouble évolue vers un faïençage de plus en plus fin.

L'apparition de déformations permanentes dans conditions exceptionnelle (dégel en particulier).

Pour la première phase qui constitue le processus normal de dégradation des chaussées Bitumineuses épaisses, la fissuration favorise les infiltrations d'eau. Ces infiltrations Provoquent l'épaufure des bordes de fissure et accélèrent le des-enrobage des matériaux bitumineux. Elles sont donc à l'origine d'aggravation du faïençage puis des arrachements et des nids de poule [9].

II.3.3- Les chaussées semi-rigides :

Une chaussée semi-rigide a son assise traitée au liant hydraulique (MTLH), ce qui permet d'atténuer fortement les contraintes verticales générées dans le corps de chaussée.

Comme pour les chaussées bitumineuses, la qualité des chaussées semi-rigides est basée sur le bon collage des interfaces entre chaque couche. Néanmoins, le retrait de la couche MTLH (retrait thermique ou retrait de prise hydraulique) génère une fissuration transversale qui peut remonter assez rapidement en surface au travers de la couche de roulement.

Dans le cas de couches de surface bitumineuses peu épaisses et perméable la pénétration de l'eau à travers la couche de roulement aggrave l'effet du trafic (contraintes normales et de cisaillement). Celui-ci entraîne un feuillettage en haut de l'assise traitée qui est suivi de remontées de fines puis de faïençage souvent de forme circulaire, de flaches et enfin de nids de poule[9].

La faible capacité de déformation de ces assises les rend très sensibles aux mouvements, même faibles, de leur support qui conduiront à la fissuration de l'assise (tassements d'élargissement ou d'épaulement, retrait hydrique du sol, glissement...).

Enfin, certains liants, activant de prise ou granulats peuvent conduire à la formation de composants gonflant en présence d'eau et entraînant des gonfles à la surface de la chaussée [9].

II.3.4- Les chaussées à structure mixte :

Une chaussée à structure mixte a son assise constituée de deux couches :

- une couche de fondation en MTLH.
- une couche de base en matériaux bitumineux. La couche de base en matériaux bitumineux permet de ralentir la remontée de fissures de retrait de l'assise traitée au liant hydraulique en atténuant également le gradient thermique.

Le mode de dégradation de cette structure est assez proche de celui des structures semi-rigides, avec - fissuration transversale de la couche MTLH au fil du temps.

- remontée de fissuration dans les couches bitumineuses.
- pénétration d'eau et dégradation de l'assise traitée au liant hydraulique [19].

-Mode de dégradation :

L'évolution caractéristique des chaussées à structure mixte emprunte à la fois à l'évolution des chaussées à assises traitées aux liants hydrauliques et à celle des chaussées bitumineuses épaisses.

Les fissures transversales remontées à la surface des chaussées se dégradent sous l'effet de la pénétration de l'eau si elles ne sont pas colmatées.

La diminution de la qualité du collage entre les couches bitumineuses et les couches de matériaux traités aux liants hydrauliques entraîne une ramification et un dédoublement de la fissuration transversale ; cette évolution peut conduire à la dégradation de la partie supérieure de la couche de fondation qui s'accompagne de remontées de boue , d'une fissuration en delta en bord de chaussée et d'arrachements.

L'attrition des lèvres de fissures diminue l'engrènement entre les dalles et dégrade donc les transferts de charge ; cette dégradation entraîne un accroissement des efforts de traction-flexion à la base de la couche de fondation ainsi qu'une augmentation des contraintes verticales sur le support de l'assise.

Par ailleurs, la répétition des contraintes de traction-flexion dans la couche de fondation, voire dans la couche de base, entraîne l'apparition d'une fissuration longitudinale dans les bandes de roulement qui évolue vers le faïençage [9].

II.3.5 - Les chaussées à structure inverse :

Chaussées dont l'assise est constituée de Matériaux Traités aux Liants Hydrauliques, recouvert par une couche intermédiaire en Grave Non Traitée de faible épaisseur(12 cm) et d'une couche de base en matériaux bitumineux [19].

-Mode de dégradation :

Le développement des chaussées à structure inverse est récent et les observations des dégradations peu nom brousses.

L'évolution caractéristique de ce type de chaussée devrait être voisine de celle des chaussées à Structure mixte. Elle devrait s'en distinguer par une moindre remontée de la fissuration transversale qui se elle se produit devrait rester fine.

Ce type de chaussée pourrait également subir un léger orniérage provenant d'une déformation du le grave.

La pénétration et l'accumulation de l'eau dans le grave non traitée accélérera le processus d'endommagement [9].

II.4-Les facteurs d'influence :

Avant d'aborder les stratégies d'entretien, il faut examiner les causes de détériorations des chaussées. Parallèlement aux techniques de maintenance, il existe diverses méthodes de préservation de la chaussée qui contribueront à améliorer la durée de vie de la chaussée et à en retarder la défaillance. Afin de comprendre tous les problèmes relatifs à l'état des routes et avant d'introduire de potentielles solutions, il convient de présenter les éléments de dégradation.

Les structures de chaussée sont conçues pour répondre aux objectifs définis par le Maître d'Ouvrage. Elles vont se dégrader sous l'action de différents facteurs qui peuvent être classés en trois catégories :

-Extérieurs à la chaussée.

- Liés à la structure elle-même, à ses défauts de conception et de réalisation.
- Liés aux matériaux constitutifs [18].

II.4.1-les facteurs extérieurs :**II.4.1.1-Le trafic :**

Le trafic est le premier des facteurs extérieurs provoquant la ruine des chaussées. Il agit d'une part en sollicitant les couches traitées en traction/extension par flexion et en poinçonnant les couches non liées (sol support et GNT), provoquant respectivement fissures et déformations permanentes.

Il peut également susciter l'orniérage par fluage des couches de surface bitumineuses. Les facteurs extérieurs suivants pouvant intervenir à ce niveau sont : une température durablement élevée (période de canicule), une vitesse de sollicitation lente (rampe) ou une zone de fort cisaillement (virage, présence de feux ou stop).

Le trafic exerce également une augmentation de pression dans les fissures où l'eau s'est infiltrée. Par suite, cette eau sous pression attaque les éventuels points faibles des matériaux et de la structure, à savoir décolle les interfaces entre couches, entraîne les fines produites par L'attrition (au niveau de la fissure ou des interfaces), déchausse les granulats [18].

II.4.1.2-les conditions climatiques :

Les conditions climatiques influent sur le comportement des structures, de façon directe ou induite :

- la pluviométrie influe sur la teneur en eau des sols support et sur leur portance, sur la rigidité des matériaux non traités et sur la dégradation des discontinuités de la structure (fissures, interfaces). L'influence de ce facteur est amplifiée par le profil de la route (remblai, déblai), la nature et la largeur des accotements, l'état du dispositif de drainage et l'état de surface de la chaussée (déjà dégradé ou intact).
- les températures estivales augmentent la sensibilité à l'orniérage ou au ressuage des couches de surface.
- les températures hivernales augmentent la fragilité des couches bitumineuses et les sollicitations au voisinage des discontinuités dans les structures rigides et à assise traitée aux liants hydrauliques.
- les variations journalières de température influent sur le fonctionnement des structures, notamment en modifiant la cambrure des dalles rigides et leur mode de fonctionnement, ainsi que sur la susceptibilité des matériaux bitumineux dans le cas où une trop grande amplitude

journalière de température fragilise le matériau à basse température (pas d'accommodation possible).

- les variations saisonnières de température influent elles-aussi sur le fonctionnement de la structure, en agissant sur la rigidité des matériaux pour les structures à couches bitumineuses et sur les conditions d'engrènement pour les structures à couches traitées aux liants hydrauliques.

- l'ensoleillement et l'exposition aux intempéries provoquent un vieillissement des matériaux, qui se traduit par un durcissement des liants bitumineux et une fragilisation des liaisons granulats/liants.

- le gel peut, lorsqu'il est intense, provoquer le soulèvement de la structure (principalement sous nos latitudes si ses couches non traitées sont gorgées d'eau) et une dégradation de certains matériaux après de nombreux cycles de gel.

- plus dommageable, le dégel induit une dégradation accélérée de la structure par chute de portance du sol support (cas des sols fins, des craies ...) des périodes de grande sécheresse entraînent la dessiccation des sols (surtout ceux présentant des indices de plasticité élevés) et l'apparition de fissures de retrait en surface des chaussées [18].

- **Le climat** : Les contraintes thermiques ne sont pas assez élevées pour générer de la fissuration, mais il est concevable d'imaginer que les variations journalières de température peuvent créer des variations de contraintes qui vont engendrer de la fatigue. Les tests de fatigue à petits nombres de cycles, montrent qu'il existe deux phases dans la compréhension du phénomène :

- Propriétés rhéologiques des mélanges.
- Résistance en fatigue.

La résistance en fatigue du mélange est fonction de la teneur en liant (si on augmente la teneur en liant alors la résistance en fatigue évolue dans le même sens). L'âge a également une grande influence, plus le matériau est âgé et plus sa résistance en fatigue s'en trouve diminuée. Les premières hypothèses de fatigue thermiques sont apparues dans les années 70 (Selon Gerritsen et Jongennel).

Les fluctuations journalières et saisonnières, en tous points de la structure, sont donc non négligeables ; il apparaît nécessaire de prendre en compte ces effets au niveau du dimensionnement. Mais le nombre de paramètres qui influence la température interne de

l'ouvrage et sa répartition reste élevé ; certains paramètres sont accessibles par les données météorologiques et d'autres sont plus flous et difficiles à apprécier.

Dans des climats rudes (ou avec de fortes amplitudes thermiques journalières), une chute brutale de la température peut suffire à engendrer dans l'enrobé des contraintes thermiques dépassant la limite de rupture de ce dernier et ainsi provoquer une fissuration.

Dans les climats dits "plus modérés" de tels phénomènes ne sont pas courants et nombreux d'auteurs avancent l'hypothèse de l'existence d'un phénomène de fatigue thermique.

L'influence de la température sur les matériaux bitumineux reste un domaine qui est encore beaucoup discuté (Behr et Trouillet). La présence d'eau en grande quantité et le cycle gel dégel

et quand ce phénomène apparaît-il entraîne une diminution des résistances mécaniques ce qui accélère la destruction de la structure. Les eaux de pluie peuvent diminuer la durée de vie souhaitée d'une chaussée. L'infiltration des eaux de pluie augmente la teneur en eau du sol support, ce qui entraîne la chute de sa portance. Ces défauts endommagent l'uni des chaussées et la portance de leurs couches. Pour la région sud les précipitations sont faibles, par contre on rencontre les pluies saisonnières qu'il faut prendre en considération. Un problème d'environnement typique de la zone désertique est celui posé par le sable. En effet, les vents de sable érodent la couche de roulement [18].

II.4.2-les facteurs de structure :

L'épaisseur de la structure est déterminée afin que la chaussée assure la circulation d'un trafic poids lourds sur un sol support donné pendant une certaine durée.

Des travaux réalisés selon les règles de l'art intègrent des variations « usuelles » d'épaisseur qui sont prises en compte dans le calcul de l'épaisseur nominale.

Toute sous- épaisseur, ponctuelle ou étendue, induit dès l'origine un excès de sollicitation dans la zone sous-dimensionnée, qui se traduit à plus ou moins long terme par l'apparition prématuée de fissures ou de faïençage. Ces sous- épaisseurs sont d'autant plus dommageables que le matériau est rigide.

Les cas les plus fréquents de sous-épaisseurs se rencontrent en traverse d'agglomération, sur giratoire, ou sur plate-forme mal nivellée.

Les conditions de collage entre couches sont également déterminantes sur la durabilité des structures. Celles-ci sont calculées en adoptant des hypothèses de collage représentatives des conditions habituellement rencontrées : par exemple, les couches bitumineuses sont supposées

collées sur leur support. Tout défaut de collage entre deux couches supposées solidaires conduit à une sollicitation excessive de chacune des couches de la structure, et donc à leur ruine prématurée. Il n'est pas rare, sur chaussées souples et bitumineuses épaisses sous fort trafic, de rencontrer des fissures longitudinales voire du faïençage dans les bandes de roulement et de mettre en évidence le décollement de la seule couche de surface par carottage. Un défaut d'accrochage peut résulter de l'absence ou d'un mauvais dosage de la couche d'accrochage, des conditions météorologiques lors de la mise en œuvre (averses) ou de la présence d'une pollution sur la couche sous-jacente avant mise en œuvre.

Les structures rigides et à assise traitée aux liants hydrauliques génèrent quelques jours à quelques mois après leur mise en œuvre des fissures par retrait hydraulique des matériaux traités. Ces fissures ou joints doivent être étanchés et entretenus périodiquement, afin que l'eau ne pénètre dans la structure et n'altère les conditions d'engrènement et d'interface, sous l'effet conjugué du trafic lourd. Les travaux de type élargissements constituent souvent des points faibles de la structure.

Des comportements différentiels entre ancienne chaussée et élargissement peuvent être observés, résultant :

- des matériaux utilisés pour ces élargissements qui ne sont pas nécessairement de même nature que ceux du corps de chaussée
- du sol support remanié lors des terrassements des élargissements
- des difficultés de mise en œuvre en faible largeur. Le joint entre élargissement et chaussée ancienne, réalisé à froid, a tendance à s'ouvrir rapidement, puis à s'épauffer, d'autant plus qu'il est placé en bande de roulement et que des dispositions constructives de type redans n'ont pas été adoptées lors des travaux. (cf. § Conception des structures des élargissements).
- Les tranchées réalisées dans les chaussées pour les interventions sur réseaux enterrés causent les mêmes types de désordres que les élargissements [18].

- Le sol support : La nature de sol support intervient dans la dégradation des chaussées, les mouvements ou une perte de portance locale du sol sur lequel la structure repose, peuvent aussi mener à une fissuration, qui va se propager dans les différentes couches de la structure. Les mouvements du sol impliquent ici différents phénomènes : perte de portance due à une augmentation de la teneur en eau du sol mal drainé, mauvais compactage de la plate-forme, glissement de terrain (spécialement près des routes où le profil n'est pas naturel), retrait dû à

une importante perte d'eau suite à une saison sèche, gel qui atteint le sol support... Les structures des chaussées reposent sur un ensemble dénommé « plateforme support de chaussée » constitué du sol naturel terrassé, éventuellement traité, surmonté en cas de besoin d'une couche de forme. Les plates-formes sont définies à partir :

- De la nature et de l'état du sol
- De la nature et de l'épaisseur de la couche de forme. Une des fonctions premières de la chaussée est de diminuer les contraintes induites par le trafic au niveau du sol support. Ce dernier, serait en effet incapable de supporter seul les contraintes induites par le passage répété de charges roulantes [18].

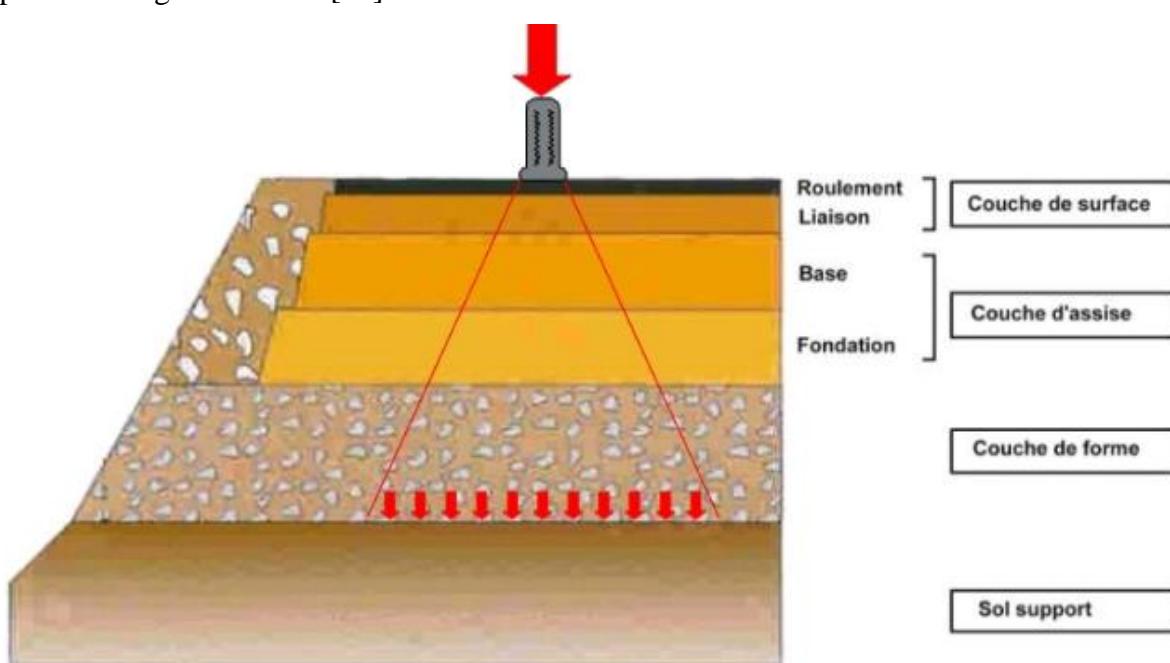


Figure II-17 : Répartition des contraints dans une structure de chaussée [18].

- **Les charges :** Les chaussées noires, ou souples, sont soumises à la fissuration par fatigue de la couche de base, avec une propagation de la fissure dans la couche de roulement sous l'action du trafic. Sous le passage de la charge roulante, ces fissures se développent en maillage large.

Dans les pays aux climats hivernaux rigoureux (ou des pays avec de fortes amplitudes thermiques), il se peut que la chute de température crée des contraintes de traction supérieures à la limite de résistance du béton bitumineux, d'où l'apparition de fissures en surface.

Ce phénomène est d'autant plus probable que le bitume utilisé est dur ou bien sensible au vieillissement.

Les matériaux bitumineux sont employés principalement dans les couches de surface et d'assises. Ils subissent l'action conjuguée du trafic routier (agression mécanique) et du climat (température, gel).

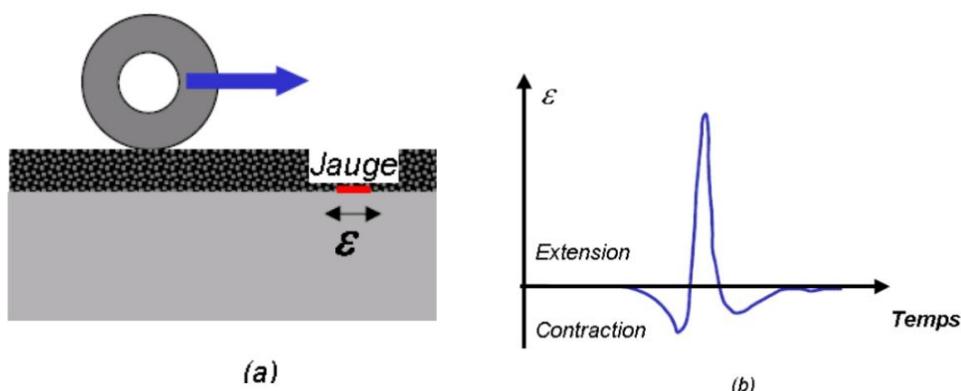
A chaque passage d'essieu de véhicule lourd, les enrobés bitumineux sont soumis à des sollicitations de courte durée. Ainsi, la chaussée, qui se comporte comme un matériau rigide, reposant sur un support déformable, est soumise à des efforts de flexion.

Des contraintes de traction apparaissent alors à la base de la chaussée et sont répétées à chaque passage de roues. Ces charges ne provoquent pas la rupture immédiate, mais leur répétition peut engendrer à terme de la fissuration par fatigue.

Les approches pour expliquer la fatigue des enrobés bitumineux sont variées du fait de la complexité du comportement de ces matériaux.

Les études existantes sont fortement influencées par un nombre conséquent de paramètres liés au matériau.

Le passage d'une charge roulante engendre des contraintes normales et de cisaillement dans toutes les directions des couches de la chaussée. Les couches bitumineuses, d'une structure non fissurée, subissent essentiellement le phénomène de fatigue causé par les cycles de traction/compression dans la direction parallèle à l'axe de roulement. La figure montre la déformation longitudinale à la base de la couche d'assise au passage d'une roue [18].



Déformation longitudinale à la base d'une couche de chaussée

- (a) Schéma du passage de la charge roulante et point de mesure
- (b) Déformation longitudinale résultante

A l'approche de la charge, le point de mesure est soumis à une contraction puis à une extension quand la charge est suffisamment proche. De plus, les phases d'extension et de contraction sont asymétriques et ceci est d'autant plus vrai que la température est élevée.

C'est la répétition de ces sollicitations, à chaque passage de roue, qui est à l'origine de la fatigue à la base des couches, dans le sens longitudinal.

L'agression mécanique des charges roulantes provoquent des écrasements et des flexions dans la structure de chaussée. Leur répétition est à l'origine de phénomènes :

-d'orniérage (causé par les compressions successives des matériaux bitumineux, mais aussi Par les déformations des couches non liées éventuelles).

- de fatigue par l'accumulation de micro-dégradations créées par les tractions transversales répétées qui peuvent entraîner la ruine du matériau.

-de fissuration qui peuvent apparaître et se propager dans la chaussée.

- Dans un cas moins général, avant fissuration de la couche de base dans les structures semi-rigides, le béton bitumineux de la couche de roulement travaille en compression par flexion du fait de la grande rigidité des couches traitées aux liants hydrauliques.

Dès lors que la couche de base en grave traitée aux liants hydrauliques est fissurée, des sollicitations de cisaillement à la base de la couche en matériau bitumineux apparaissent. Le rapport des modules entre la grave traitée et le béton bitumineux (rapport variant en fonction de la température mais à 15 °C et 10 Hz, il est de l'ordre de 5), ce cisaillement devient la sollicitation dominante pour ce type de structures (Uge, Gravois et Lemaire, 1976) [18].

II.4.3-Facteurs liés aux matériaux :

II.4.3.1-Tous matériaux :

La rigidité d'un matériau de chaussée dépend de son taux de compactage. Tous les matériaux requièrent un niveau de compactage minimal, garantissant une rigidité et un comportement en fatigue. Tout défaut de compactage affecte la rigidité du matériau, et par suite suscite une augmentation de la sollicitation induite au passage des charges lourdes.

La durée de vie de la chaussée s'en voit réduite. un matériau non adapté au trafic (squelette non optimisé, teneur en liant ou en sable trop élevée, susceptibilité thermique du liant bitumineux trop forte), peut également être un facteur à l'origine de l'orniérage des chaussées [20].

II.4.3.2-Matériaux non traités :

Une teneur en eau trop élevée altère les performances mécaniques de ces matériaux, aussi bien en rigidité qu'en résistance à la déformation permanente. Cette teneur en eau augmente lorsque les couches supérieures ne sont plus imperméables (forte fissuration par exemple), qu'une alimentation en eau peut se faire par un terreplein central et/ou que le dispositif de drainage ne fonctionne pas (problème d'altimétrie, de colmatage des exutoires).

La teneur en fines et la propreté (MB) sont également des facteurs déterminants, en ce sens qu'elles contribuent à la rétention d'eau libre et adsorbée et au mouvement d'eau libre (par capillarité), rendant de ce fait le matériau sensible au gel.

Cette instabilité conduit généralement à une fissuration des couches supérieures et à l'orniérage [18].

II.4.3.3-Matériaux bitumineux :

La teneur en liant, dont l'optimum a été déterminé lors de l'étude de formulation du mélange, est également un facteur déterminant un sous dosage conduit à :

- Une réduction des performances en fatigue (donc à une moindre durabilité des matériaux)
- Une moindre maniabilité du mélange (donc à une plus grande difficulté à atteindre la Compacité requise) ; une plus grande sensibilité à l'eau (dé cohéssonnement de la liaison liant/granulats) ;
- Dans une moindre mesure, une perte de rigidité du mélange.
- Un surdosage en liant a peu de conséquence pour les couches d'assise, mais est plus pénalisant pour les couches de surface où il conduit à :
 - Une plus grande sensibilité à l'orniérage et au ressuage.
 - Un état de surface plus fermé (donc une moindre macro texture) défavorable à l'adhérence sur chaussée humide.

Un manque de fines important conduit à une plus grande sensibilité du mélange à l'orniérage.

La surchauffe des mélanges bitumineux à la fabrication en centrale entraîne un vieillissement prématûre du liant et conduit généralement aux dés enrobage et à la fissuration des couches de surface.

Le sur-compactage des couches de surface induit un risque accru d'orniérage, et un manque de macro texture.

Le sous-compactage des matériaux bitumineux peut également conduire, en plus d'un affaiblissement des caractéristiques mécaniques (module et fatigue), à un risque d'orniérage par post-compactage [20].

L'emploi de bitumes durs, qui s'est développé ces dernières années pour améliorer la résistance à l'orniérage des couches de roulement et rigidifier les couches d'assises, conduit généralement à une plus grande sensibilité des matériaux aux basses températures, ce qui peut poser problème dans les zones à forts écarts thermiques. Cela se traduit alors par l'apparition en surface de la chaussée de fissures orientées de façon aléatoire, dans et hors bandes de roulement, initiées par le haut de la couche de roulement. Cette fissuration peut être aggravée dans les bandes de roulement sous l'effet du trafic lourd [20].

II.4.3.4- Matériaux traités aux liants hydrauliques :

Un sous-dosage en liant hydraulique (ou en eau) conduit à une moindre performance du mélange, aussi bien en rigidité qu'en résistance en traction. Cette réduction des performances mécaniques conduit à une réduction importante de la durée de vie.

Un surdosage en liant hydraulique rend le matériau plus rigide et plus résistant à la traction mais l'expérience montre que :

- le délai de maniabilité est réduit.
- la prise hydraulique s'effectue plus rapidement, ce qui a pour conséquence d'augmenter la fissuration de retrait.
- la rigidité croît plus vite que la résistance en traction, ce qui a pour effet de fragiliser le matériau, de le rendre moins durable et plus sensible aux surcharges.
- Le surdosage en eau conduit à une diminution des performances mécaniques, tandis qu'un Sous-dosage réduit le délai de maniabilité.

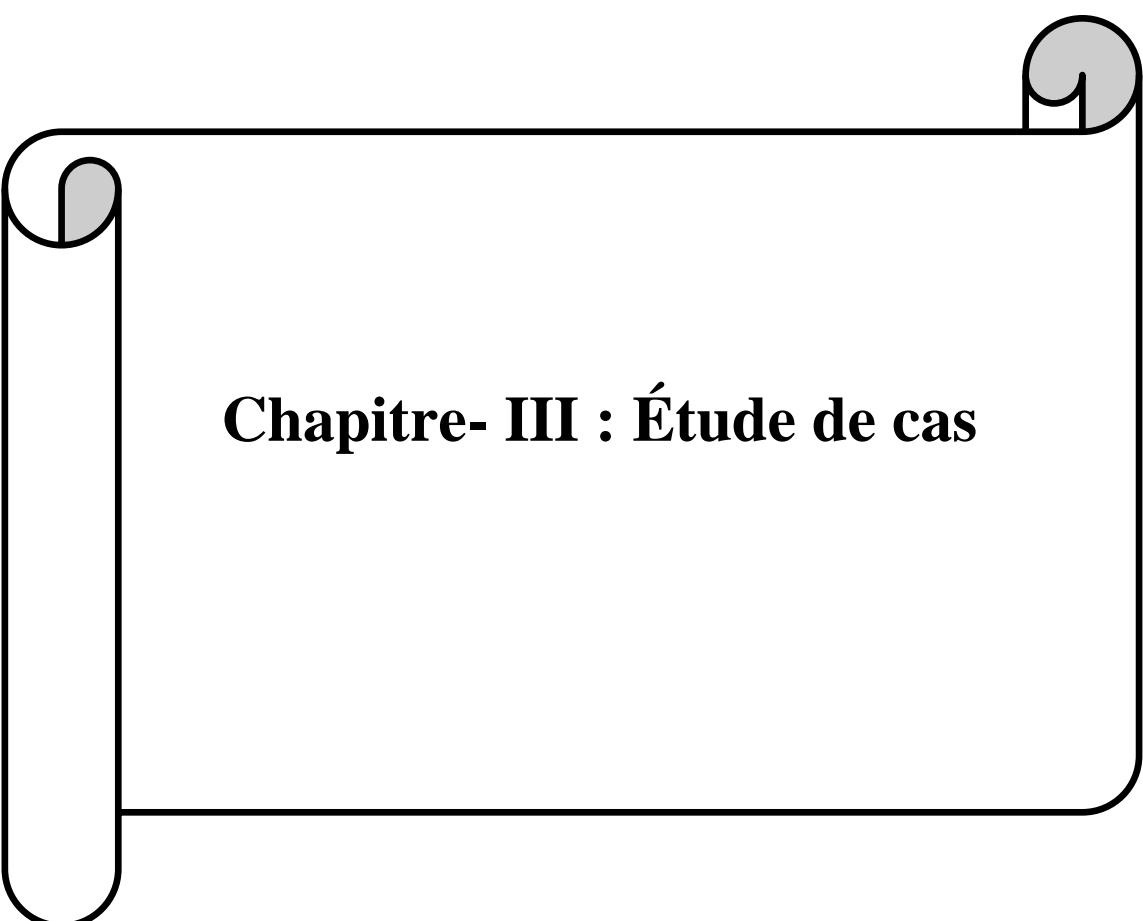
-Les conditions de mise en œuvre sont déterminantes sur la durabilité de ces matériaux :

- la dessiccation de la partie supérieure de la couche doit être évitée par mise en œuvre de couche de cure.
- le sur-compactage et/ou l'apport de couche en faible épaisseur peuvent provoquer le feuilletage de la partie supérieure de la couche.
- Les travaux en arrière-saison et en hiver sont à proscrire (risque de gel).

Une délai minimal doit être respecté avant remise sous circulation [20].

II.5 : Conclusion :

Les routes sont des infrastructures de base stratégiques et jouent un rôle important. Cependant, elles sont exposées à des déformations et dégradations pouvant affecter leur qualité et sécurité. Ce chapitre a abordé la plupart des déformations qui peuvent affecter la route dont les causes les plus importantes sont les charges excessives des véhicules lourds exerçant une grande pression sur la structure de la chaussée outre des facteurs climatiques défavorables tels que le gel, la chaleur et la contraction des matériaux. Le manque d'entretien régulier peut aggraver la dégradation et la détérioration rapide de la route. Compte tenu de l'augmentation du trafic, l'usure naturelle et les conditions climatiques, les routes nécessitent un entretien régulier et parfois une réhabilitation complète pour garantir leur rendement, leur durabilité et la sécurité des usagers. Pour réduire la déformation, les routes doivent être conçues selon des normes d'ingénierie appropriées et des matériaux de haute qualité. La modernisation de la route incluant le renforcement des chaussées, l'élargissement des voies et l'amélioration des infrastructures, contribue à une meilleure fluidité du trafic et à la réduction des accidents.



Chapitre- III : Étude de cas

III.1-Introduction

L'étude d'expertise de la RN 94 du PK 75+000 au PK 100+000 sur un linéaire de 25 kms se base sur les investigations suivantes :

- Un relevé visuel de l'état de la chaussée et ses dépendances
- Des auscultations par mesure de déflexions à l'aide de l'appareil HWD
- Des auscultations par mesure d'uni
- Une compagnie de comptage du trafic et pesage d'essieux
- Des carottages sous chaussée.

III.2- Contexte du projet :

Le projet (Figure III.1) suit un tracé qui débute au niveau du PK 75+000 sortie de Saida vers Tiaret et se termine au niveau de région de Tiffrit (intersection WC08) au PK 100+000, sur un linéaire de 25 Kms.

Cet itinéraire se caractérise par :

- Une géométrie d'une route bidirectionnelle à deux voies de circulation plus des accotements de part et d'autre ;
 - Une température équivalente de 20°C (Zone climatique II) ;
 - Une zone très humide avec une pluviométrie > 350 et < 600 mm/an.

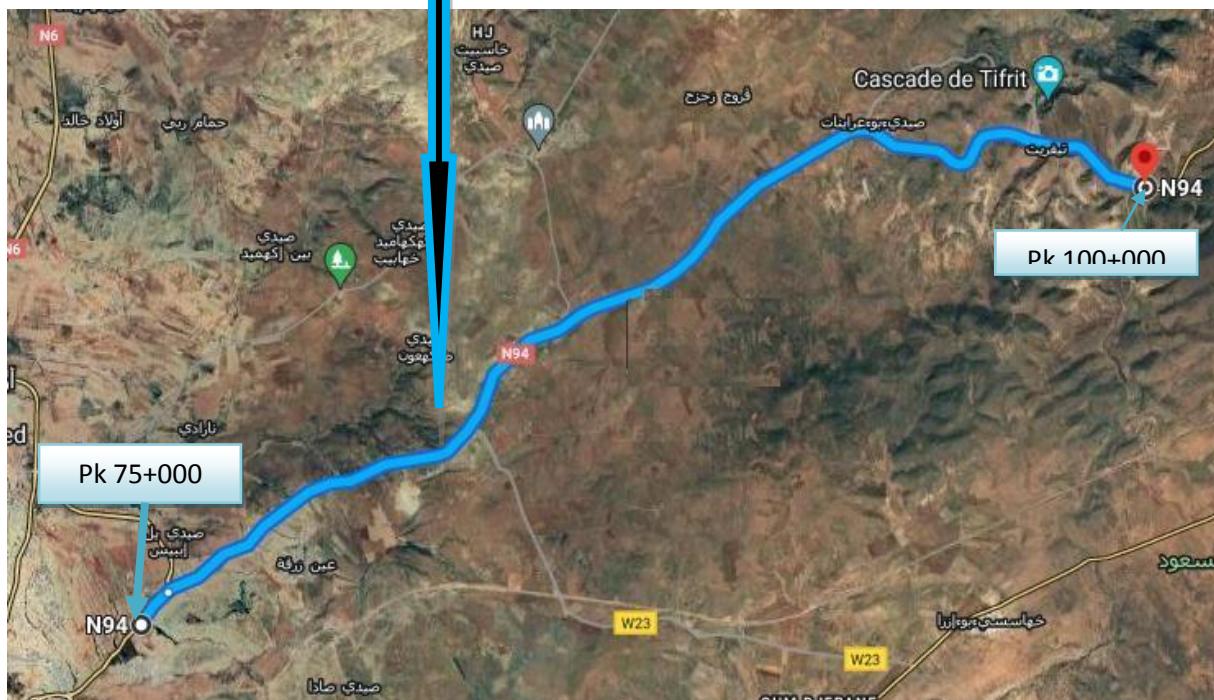
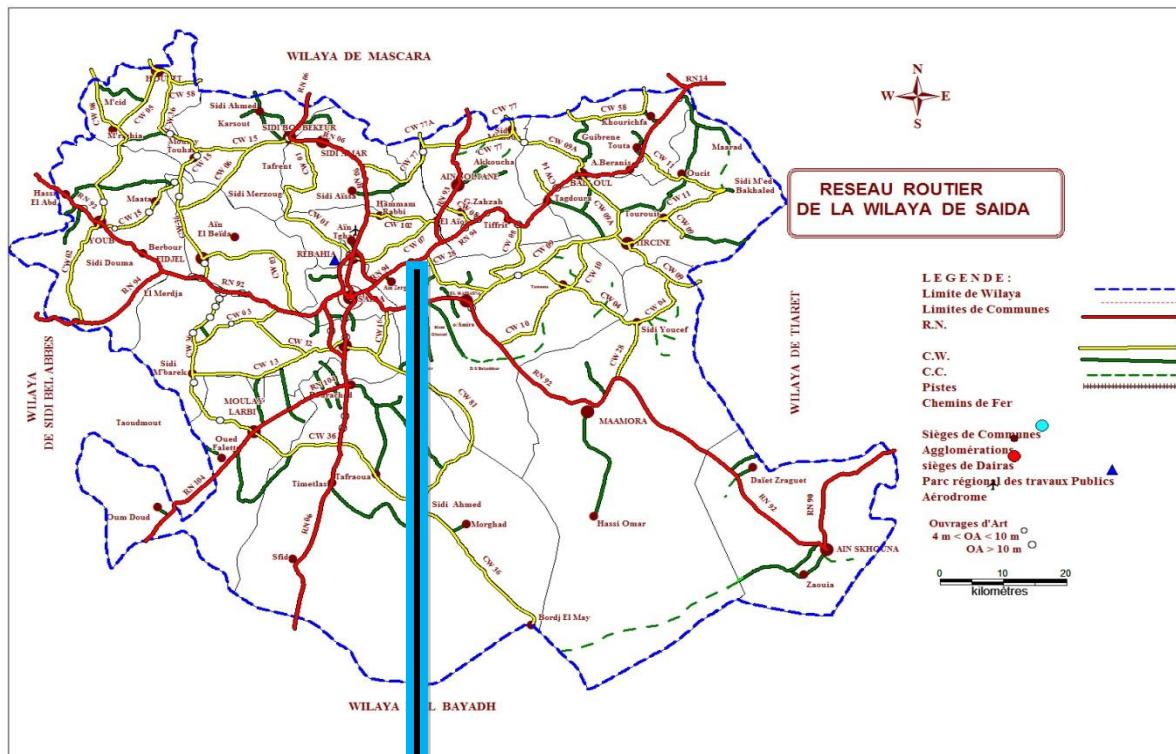


Figure III.1 : vue aérienne, section de la RN94 du PK 75+000 au PK 100+000.

III.3- Géométrie de la chaussée :

Le relief est généralement montagneux avec un profil mixte remblai-déblai qui présent une forte sinuosité.

Tableau III-1 : Géométrie de la RN94.

Localisation	Accot G (m)	Chaussée (m)	Accot D (m)	R	S	D	Inter PK (m)	Remarques
075+000 - 076+000	2,5	15,5	2,5	Montagneux	Forte	Forte	1000	Dédoublement Entretien en BB 2022
076+000 - 076+200	2,5	15,5	2,5				200	
076+200 - 077+000	2,5	7,3	2,5				800	
077+000 - 078+000	2,5	7,3	2,5				1000	
078+000 - 079+000	2,5	7,4	2,5				1000	
079+000 - 079+950	1,7	7,4	2,5				950	
079+950 - 081+000	1,7	7,5	1,7				1050	
081+000 - 082+000	2	7,3	2,5				1000	
082+000 - 082+900	1,6	7	1,6				900	
082+900 - 084+000	1,6	7,5	2,5				1100	
084+000 - 084+800	2,5	7,4	2,5				800	
084+800 - 086+000	2	7,6	2				1200	
086+000 - 087+100	2	7,4	2				1100	
087+100 - 088+000	1,5	7,2	2				900	
088+000 - 089+000	1,5	7	2				1000	
089+000 -	1	7	1,7				1000	

090+000								
090+000 - 091+000	1,2	7	1,5				1000	
091+000 - 092+000	2,2	7	2				1000	
092+000 - 092+750	2,5	7,5	2,3				750	
092+750 - 093+500	2	7,3	2,2				750	
093+500 - 094+400	2,5	7,8	2,5				900	
094+400 - 095+000	2,5	7,8	2,5				600	
095+000 - 096+000	2,5	7,8	2,5				1000	
096+000 - 096+700	2	8,9	1,8				700	
096+700 - 097+400	2	8	2				700	
097+400 - 098+000	2	8	2				600	
098+000 - 099+000	2	7,8	2				1000	
099+000 - 100+000	2	7,6	1,8				1000	Agglomération Tiffrit Entretien en BB 2022
					Total (ml)	25000		



Figure III.2 : Mesures de la géométrie de la chaussée pk 75+000.



Figure III.3 : Mesures de la géométrie de la chaussée pk 78+400.



Figure III.4 : Mesures de la géométrie de la chaussée pk 85+700

* Un compteur ou cyclométrie désigne un petit appareil qui indique notamment la distance parcourue.



Figure III.5 : Mesures de la géométrie de la chaussée pk 89+000.



Figure III.6 : Mesures de la géométrie de la chaussée pk 91+800.



Figure III.7 : Mesures de la géométrie de la chaussée pk 100+000.

III.4- Organigramme d'une étude de renforcement : [25].

Un organigramme synoptique représenté dans la figure ci-après explique la démarche détaillée de l'étude de renforcement.

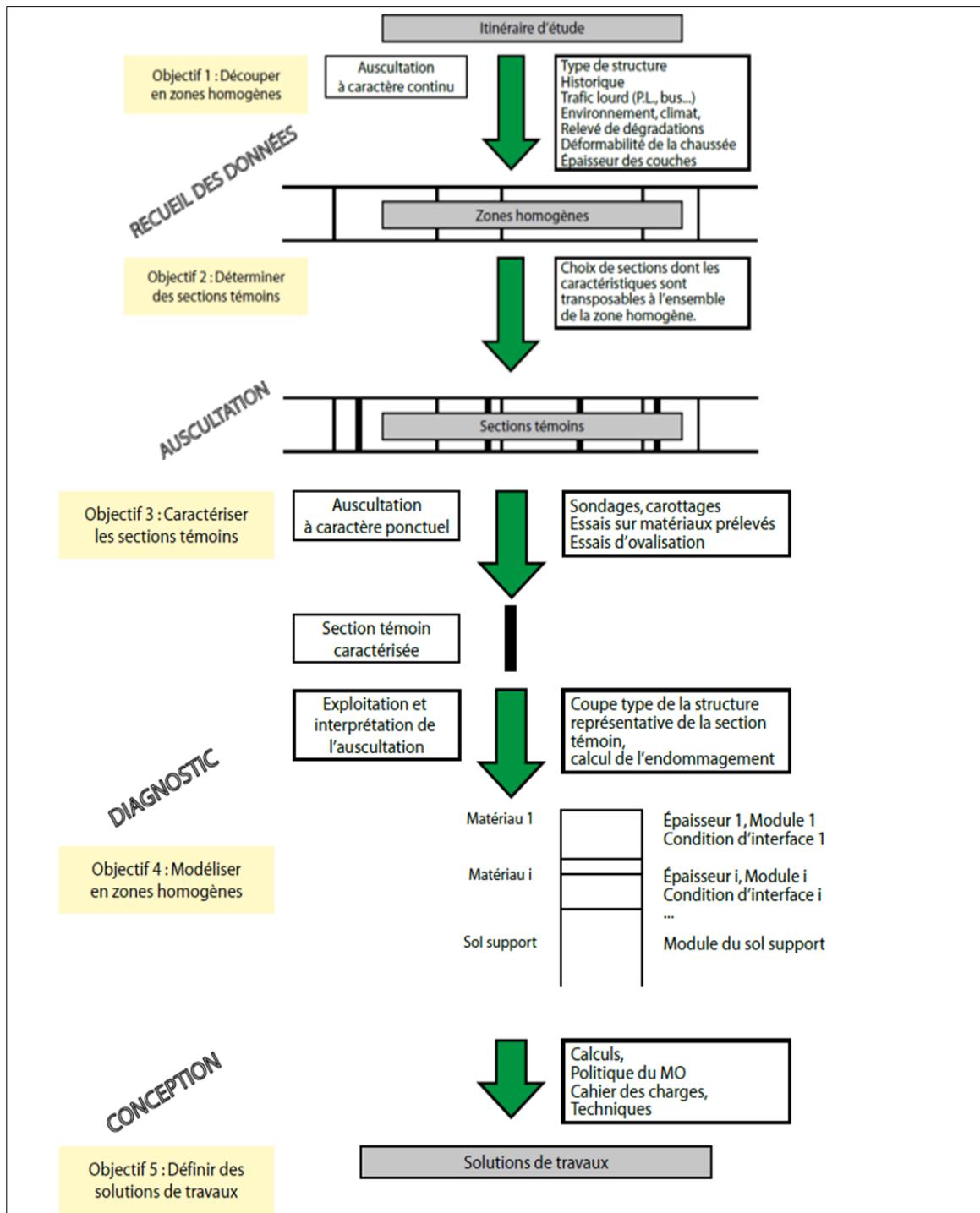


Figure III. 8 : Organigramme synoptique de la démarche de renforcement.

III.5- Recueil des données et auscultations :

La campagne d’auscultation de la chaussée menée sur la RN 94 du PK 75+000 au PK 100+000 a porté sur :

- * Un relevé visuel des dégradations pour connaître l'état de surface de la chaussée
- * Un relevé visuel des dépendances afin de savoir l'état structural et fonctionnel des Ouvrages
- * Des mesures de déflexion à l'aide de l'appareil HWD pour estimer la portance de la structure existante
- * Des mesures d'uni pour estimer l'état de la planéité de la chaussée
- * Une compagnie du trafic et enquête de pesage d'essieux des poids lourds afin de déterminer les épaisseurs de renforcement de la chaussée d'une part, et les surcharges des poids lourds d'autre part ;
- * Des carottages sous chaussée pour l'évaluation de l'état des couches bitumineuses (état des interfaces, la composition et les épaisseurs moyennes des couches bitumineuses).

III.5 .1- Relevé visuel des dégradations et dépendances de la chaussée :

Le relevé des dégradations de surface constitue un élément indispensable de cette auscultation, c'est une opération incontestable et importante malgré les évolutions des méthodes de mesures et l'émergence de nouvelles techniques d'investigation.

Pour une appréciation objective de ce paramètre et améliorer la fiabilité et la précision des informations issues des inspections visuelles, une formalisation du relevé de dégradations de surface a été réalisée en se référant au Guide de réhabilitation élaboré par le CTTP en 1996.

Une investigation a été menée en procédant à l’auscultation visuelle détaillée des données géométriques, de dépendance et des dégradations de la chaussée au niveau de la RN 94 du PK 75+000 au PK 100+000. A l’issue de cette opération, les dégradations relevées sont regroupées en deux (02) familles à savoir :

La famille de fissuration de type faïençage à maille fine et large, fissures de joint, fissures longitudinales et transversales ;

Et de la famille de déformation de type affaissement.

Le diagnostic établit à partir du relevé visuel de l'axe étudié, a conduit à estimer les pourcentages de l'état de surface de la chaussée comme suit :

*Bon sur **23 %** du linéaire ;

*Et mauvais sur **77 %** du linéaire.



Figure III.9 : RN 94 PK 75+700 fissures longitudinales



Figure III.10 : RN94 PK 83+200 faïençages à maille large



Figure III.11 : RN94 PK 91 +800 faïençages à maille large et maille fine



Figure III.12 : RN 94 PK 94+000 faïençage à maille fine



Figure III.13 : RN 94 PK 95+000 faïençage à maille fine



Figure III.14 : RN 94 PK 98+000 faïençage à maille large

Le pré découpage à partir de relevé visuel de dégradation a généré quatre (04) zones homogènes illustrées par les photos ci-dessous :

- 1^{ère} zone du PK 75+000 au PK 76+200 en deux sens ; .(fissures longitudinales)
- 2^{ème} zone du PK 76+200 au PK 79+000 ; (Fissure transversale)
- 3^{ème} zone du PK 79+000 au PK 98+000 ;(faïençage à maille fine)
- 4^{ème} zone du PK 98+000 au PK 100+000 ;(faïençage à maille large)

III.5 .2- Comptage du trafic et pesage d'essieux :

L'étude du trafic est basée sur les trafics journaliers moyens annuels (TJMA) et le nombre des poids lourds déterminés par la campagne de comptage menée en mois de Février 2023 par le CTTP.

La problématique des surcharges des poids lourds est un facteur principal de dégradation prématuée des infrastructures routières. Le contrôle des poids des véhicules de transport routier est effectué pour trois raisons :

- a- La sécurité :** un véhicule en surcharge n'a pas le même comportement qu'un véhicule chargé et de ce fait la surcharge est un facteur aggravant en cas d'accident.
- b- Le respect des règles de concurrence entre entreprises :** la surcharge ses véhicules crée une concurrence déloyale entre les transporteurs et des autres modes de transport ; la concurrence déloyale nuit à la collectivité et à l'économie dans son ensemble.

c- La sauvegarde des infrastructures : l'augmentation des charges accélère le vieillissement et l'usure des infrastructures de base et génère des coûts de remise en état très importants pour la collectivité.

Le contrôle des surcharges des poids lourds est une opération indispensable. L'infraction contribue à accroître l'insécurité et les dommages causés à l'infrastructure, et biaise la concurrence tant entre les modes de transports qu'entre les transporteurs eux-mêmes. Plusieurs techniques de pesages sont utilisées pour contrôler les camions et poids lourds, qu'ils soient à l'arrêt ou en circulation sur une chaussée. Le pesage statique reste encore à ce jour la principale technique procurant le niveau de précision requis pour le contrôle. Les véhicules sont arrêtés et pesés essieu par essieu, avec du matériel fixe. Le matériel fixe est constitué de pèse-essieux, généralement installés sur une aire de contrôle. L'opération est réalisée avec l'assistance des services de gendarmerie nationale. Celles-ci permettent une évaluation de la masse de l'ensemble des poids lourds sans les divertir du trafic réel. C'est dans cet objectif qu'une enquête de pesage d'essieux des poids lourds a été effectuée au niveau de la Route Nationale n° 94 (Tableau III- 30 en annexe).

Les résultats concernent (Tableau III- 28 - Tableau III- 29- Tableau III- 30 – Tableau III- 31 en annexe) :

*La répartition des poids total des camions pesés

* La répartition des poids des essieux pesés

Il est aussi indiqué :

* Le nombre de camions en surcharge par rapport à la charge totale des camions

* Le pourcentage d'essieux par classe de poids et le pourcentage d'essieux en surcharge.

III.5 .2.1- La Réglementation sur les poids :

Les limites de charges réglementaires sont indiquées sur la carte grise du véhicule, notamment pour les Poids Lourds tout en précisant les caractéristiques de poids

- * PV : poids à vide.
- * PTAC : poids total autorisé en chargement.
- * PTRA : poids total roulant autorisé.
- *Le poids total de la remorque en fonction du poids du Tracteur.

Comme règle générale, « L'essieu le plus chargé d'un véhicule automobile ou d'un ensemble de véhicules' ne doit pas supporter une charge supérieure à 13 tonnes ».

- Le poids total autorisé en charge d'un Véhicule Il ne doit pas dépasser les limites suivantes :

- * Véhicule ou remorque à deux essieux : 19 tonnes.
- *Véhicule ou remorque à trois essieux et plus : 26 tonnes.
- *Véhicule à quatre essieux et plus : 32 tonnes.
- *Autocar articulé : 28 tonnes.
- *Autobus comportant une seule section articulée : 32 tonnes.
- *Autobus comportant deux sections articulées : 38 tonnes.

- Le poids total roulant autorisé :

- *d'un véhicule articulé ne doit pas dépasser 38 tonnes
- *d'un ensemble composé d'un véhicule tracteur et d'une remorque, d'un train double comportant aux plus quatre essieux ne doit pas dépasser 38 Tonnes.
- *d'un ensemble comportant plus de quatre essieux ne doit pas dépasser 40 tonnes.
- *d'un ensemble utilisé pour des transports combinés comportant plus de quatre essieux ne doit pas dépasser 44 tonnes.

Les véhicules à gaz ou accumulateurs bénéficient, dans la limite maximale d'une tonne, de dérogation correspondant au poids en ordre de marche, soit des réservoirs à gaz et de leurs accessoires, soit des accumulateurs et de leurs accessoires. Il en est de même, dans la limite maximale de 500 kg, pour le poids des ralentisseurs des véhicules qui en sont munis.

- L'essieu le plus chargé d'un véhicule automobile ou d'un ensemble de véhicules ne doit pas supporter une charge supérieure à 13 tonnes. [20]

III.5 .2.2- Résultats des pesages : [21]

Sur les 08 camions pesés, aucun n'est en surcharge.

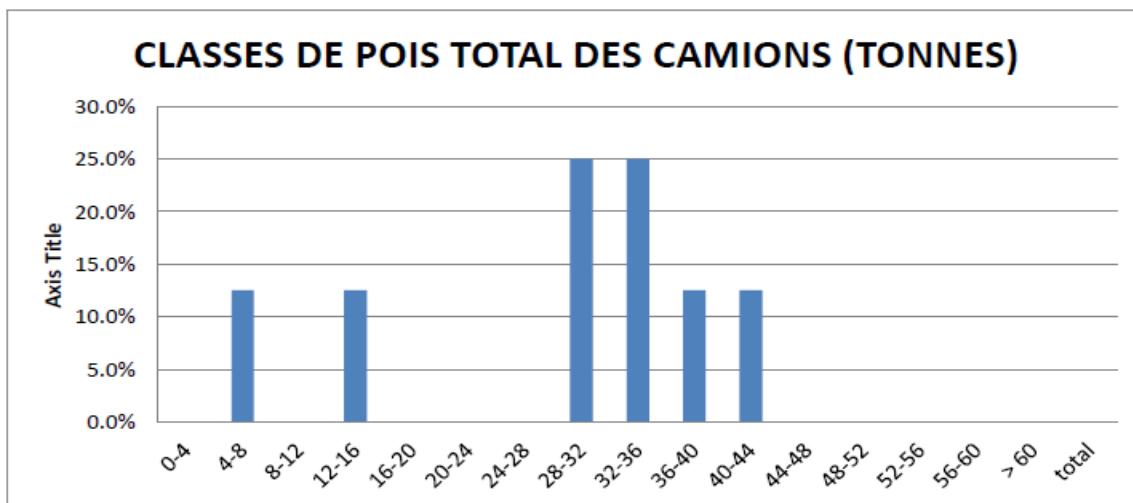


Figure III.15 : RN Classes de pois total des camions (tonne). (Tableau III- 28 en annexe)

Sur les essieux pesés, le nombre des essieux pesé dont le poids de l'essieu dépasse le maximum autorisé (13 tonnes) est de 02 soit 8%.

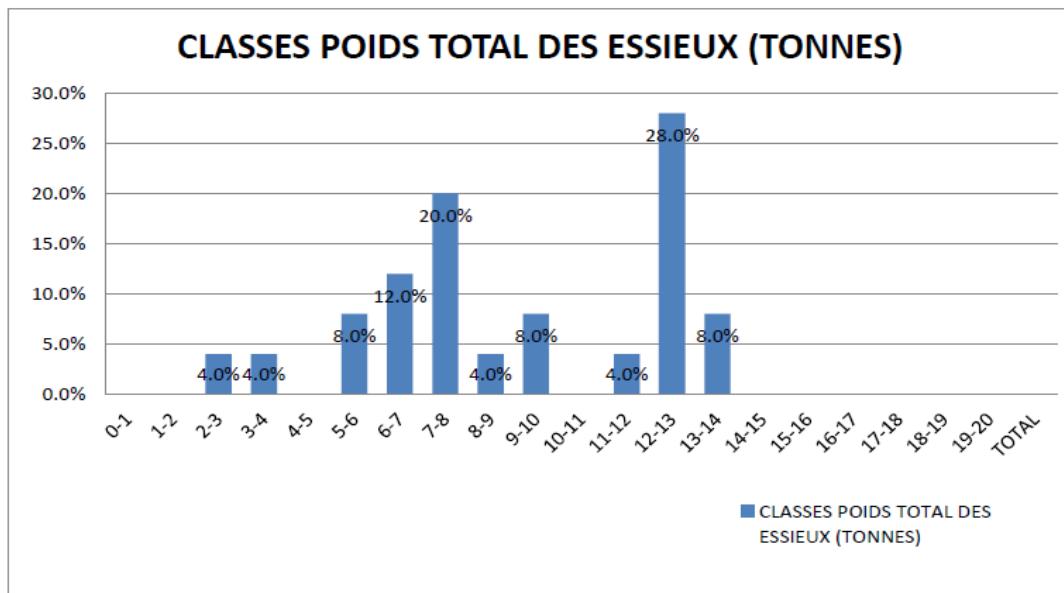


Figure III.16: RN Classes de pois total des essieux (tonne). (Tableau III- 29 en annexe)

Sur les 08 véhicules pesés, 05 sont en surcharge soit un taux de 63% pour le coefficient d'agressivité moyenne (CAM), on enregistre une valeur de 091.

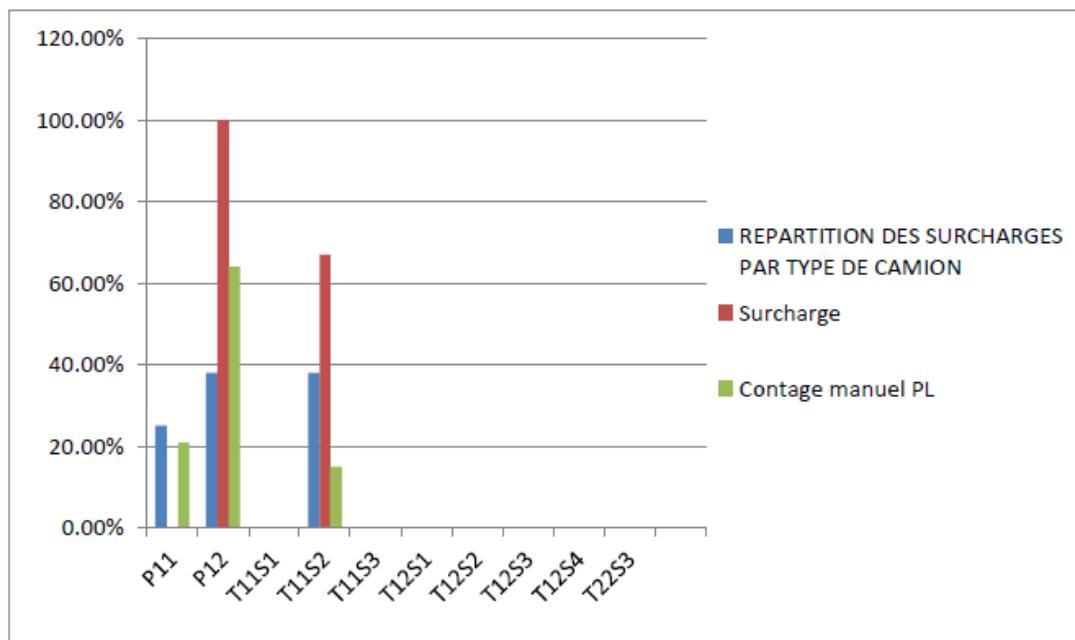


Figure III.17 : Répartition des surcharges par type de camion.(Tableau III- 30 en annexe)

Tableau III-2 : Récapitulation du trafic automatique et manuel de la RN94. [21]

N° POSTE	SENS	TJMA	PL (%)
POSTE 01	Sens 01 : SAIDA vers INT RN93	3 329	23%
	Sens 02 : INT RN93 vers SAIDA	3 485	25%
POSTE 02	Sens 01 : INT RN93 vers INT CW80	2 512	26%
	Sens 02 : INT CW08 vers INT RN93	2 598	22%
POSTE 03	Sens 01 : INT CW08 vers SAIDA	1 596	14%
	Sens 02 : SAIDA vers INT CW08	1 742	09%

III.5.2.3-Calcul trafic :

Le calcul du trafic s'effectue sur la base des trafics journaliers moyens annuels (TJMA), du pourcentage en poids lourds ainsi que sur l'agressivité des surcharges (CAM).

III.5.2.4 Hypothèses de calcul :

- CAM=0.6
- Année de comptage 2023
- Année de mise en service 2024
- Durée de vie escomptée N = 10 ans
- Répartition transversale du trafic =50% (catalogue de dimensionnement des chaussées neuves 2001)
- Coefficient d'accroissement annuel i= 4%.

Selon la méthodologie du guide de renforcement élaboré par le CTTP en 1992, les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau III-3 : Calcul trafic prévisionnel de la RN94.

PK	TJMA	PL%	TJMA 2024 (Véhicule/j)	PL/J/sens	Trafic cumulé prévisionnel en poids lourds
PK75+000- PK76+200	3485	25%	3624.00	906	3.97E+06
PK76+200- PK92+000	2598	26%	2702.00	703	3.08E+06
PK92+000- PK100+000	1742	14%	1812.00	254	1.11E+06

$$\text{TJMA 2024} = \text{TJMA2023} \times (1+i)n \quad (n=2024-2023)$$

$$\text{TPLi}=\text{TJMA2024} \times \text{PL\%}$$

$$\text{TCi} = \text{TPLi} \times 365 \times (1+i)^{N-1} / i \quad (N=10 \text{ ans})$$

Le pré découpage du trafic effectué de la RN94 a permis de distinguer trois (03) zones homogènes à savoir :

- 1^{ère} zone du PK 75+000 au PK 76+200 ;..... (3.97E+06)
- 2^{ème} zone du PK 76+500 au PK 92+000 ;..... (3.08E+06)
- 3^{ème} zone du PK 92+000 au PK 100+000 ;..... (1.11E+06)

III.5.3 - Auscultation et analyse des données des déflexions :

L'un des appareils d'auscultation structurelle non destructive des chaussées le plus répandu dans le monde est le HWD (Heavy Weight Deflectometer). L'importance de son d'utilisation du deflectomètre dans les études et contrôles des chaussées n'est pas à démontrer.

L'exploitation des résultats se fait en trois étapes. La première étape dite « calcul inverse » consiste en une identification de paramètres. Un modèle mécanique permettant de décrire le comportement de la chaussée sous chargement est choisi et les paramètres de ce modèle sont identifiés, ou « rétro calculés ». La deuxième étape dite « analyse directe » consiste en un calcul des contraintes/déformations critiques dans la chaussée en prenant en compte les paramètres rétro calculés lors de la première étape. La troisième étape, sont introduites des lois d'endommagement afin d'estimer la capacité portante (RSI et PCN) de la chaussée et/ou sa durée de vie résiduelle, et le cas échéant de dimensionner un renforcement de chaussée.

L'objectif du programme d'évaluation est l'estimation des conditions fonctionnelles structurelles actuelles réelles de la chaussée exprimées en terme de capacité de portance et durée de vie résiduelle ce qui constitue une aide efficace à la prise de décision dans la politique d'entretien des chaussées routières et aéronautiques, le but ultime est de prévoir les mesures à prendre à court et moyen terme afin de permettre à la chaussée de se maintenir à un certain degré de performances mécaniques en répondant aux exigences du trafic actuel et futur.

La déflexion du revêtement sous la charge du trafic est un indicateur technique et mesurable de la portance résiduelle de la chaussée. Il existe différents appareils de mesure de déflexion, parmi les plus connus sont ceux acquis par le CTTP (2009) à savoir le deflectographe Lacroix et le défléctomètre à masse tombante HWD. La mesure des déflexions est effectuée à l'aide de l'appareil défléctomètre à masse tombante HWD. Le prédécoupage selon les déflexions s'effectue selon la méthode accumulated difference par logiciel ELMOD.

:

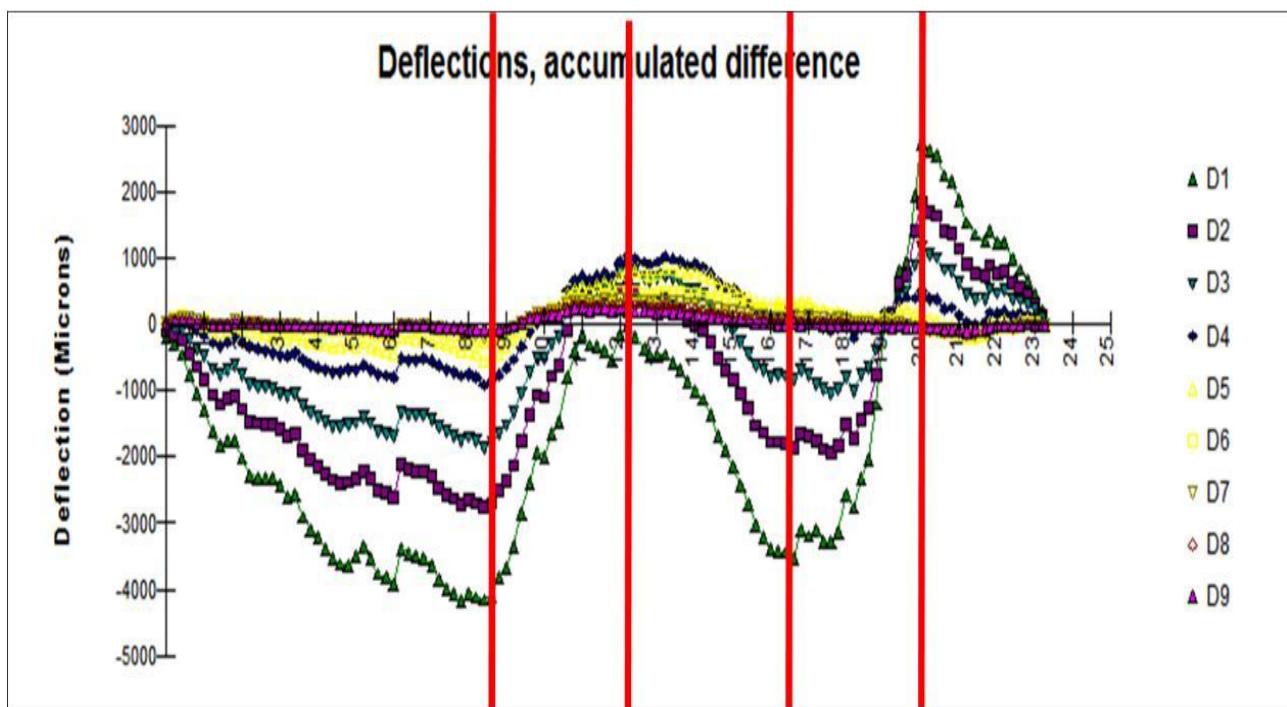


Figure III.18 : Zones homogènes de la mesure de déflexion par HWD de la RN94. [26]

Le pré découpage à partir des déflexions HWD a généré cinq (05) zones homogènes à savoir :

- 1^{ère} zone du PK 75+000 au PK 83+600 ;
- 2^{ème} zone du PK 83+600 au PK 87+100 ;
- 3^{ème} zone du PK 87+100 au PK 92+000 ;
- 4^{ème} zone du PK 92+000 au PK 98+000 ;
- 5^{ème} zone du PK 98+000 au PK 100+000.



Figure III-19 : Mesures de déflexions par l'appareil HWD.

III.5 .4-Auscultation et analyse des données d'uni : [22].

L'uni est un critère géométrique caractérisant l'ensemble des dénivellations de la surface de la chaussée par rapport à son profil théorique. C'est donc un indicateur d'état de planéité de la surface de la chaussée. Il nous informe, sur les irrégularités du profil en long et des déformations fonctionnelles dues à l'usure en surface et au trafic et sur les déformations structurelles liées à la structure de la chaussée et l'état de dégradation. Un bon uni est l'une des qualités essentielles qu'un réseau routier doit posséder. En effet, l'uni a des incidences néfastes qui intéressent aussi bien l'usager que la structure de chaussée.

- Incidence sur le confort et la sécurité de l'usager,
- Incidence sur le coût d'exploitation des véhicules,
- Incidence sur la dégradation des chaussées

III.5 .4.1 Indice de planéité internationale IRI «International Roughness Index» : [24].

L'indice de planéité international IRI est utilisé par de nombreux pays pour apprécier l'uni des chaussées routières. Il a été proposé par la Banque Mondiale de développement «World Bank» dans les années 1980 dans le but de développer un indice de mesure de l'uni des chaussées qui serait commun à tous les pays du monde.

L'IRI est une unité internationale de mesure normalisée qui sert à calculer les débattements, en mètres, que la suspension d'une voiture subit lorsqu'elle parcourt un kilomètre à une vitesse de 80 km/h.

Cet indice comporte certains avantages tels que :

- Il est applicable à tous les types de route et de piste ;
- Il peut être calculé à partir de relevés réalisés avec un nombre important de type d'appareil ;
- Il bénéficie d'une reconnaissance internationale.

III.5 .4.2 Description de l'appareil et principe de la mesure : [24].

Le matériel utilisé par le CTTP pour les mesures d'uni est un RSP 5051 Mark IV. C'est un analyseur de profil en long conçu par Dynatest pour effectuer le contrôle de l'uni longitudinal des chaussées routières.

Le système de mesure de la planéité est constitué d'un accéléromètre servant à déterminer le déplacement vertical du châssis du véhicule, et d'un capteur laser pour mesurer le déplacement vertical entre la roue du véhicule et la surface de la chaussée. La mesure du profil est donc obtenue en additionnant ces mesures respectives.

Le RSP est constitué des principaux composants suivants :

- Une unité centrale de traitement électronique (EPU) ;
- Un capteur laser pour la mesure de l'élévation ;
- Un accéléromètre ;
- Un PC compatible doté d'une connexion Ethernet ;
- Un ensemble d'encodeur de roue.



Figure III.20 : Road Surface Profilomètre RSP 5051 MARK IV du CTTP [24].

- Le PC de recueil des données est doté d'un logiciel de mesure « Dynatest Control Centre 1.3.2» qui nous permet le recueil des données.
- La campagne de mesure de l'uni, sur le tronçon du RN 94 a été effectuée en 2024, les mesures ont été réalisées au droit de l'axe de la chaussée.
- Le traitement des données de mesure fait ressortir des valeurs moyennes d'uni sous forme d'indice IRI « International Roughness Index » exprimé en mètres de déplacement vertical par kilomètre de distance parcourue (m/km).

III.5 .4.3-Spécifications relatives aux mesures d'IRI : [24].

Comme nous l'avons explicité précédemment, l'exploitation des résultats s'est faite sur la base de l'échelle de spécifications de la Banque Mondiale «Technical paper number 46 : Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements».

Selon l'échelle de la Banque Mondiale tirée de la norme établie par le « Federal Highway Administration FHWA », l'indice de planéité IRI varie entre 0 (pour une surface à planéité parfaite) et 6 m/km pour les anciennes chaussées.

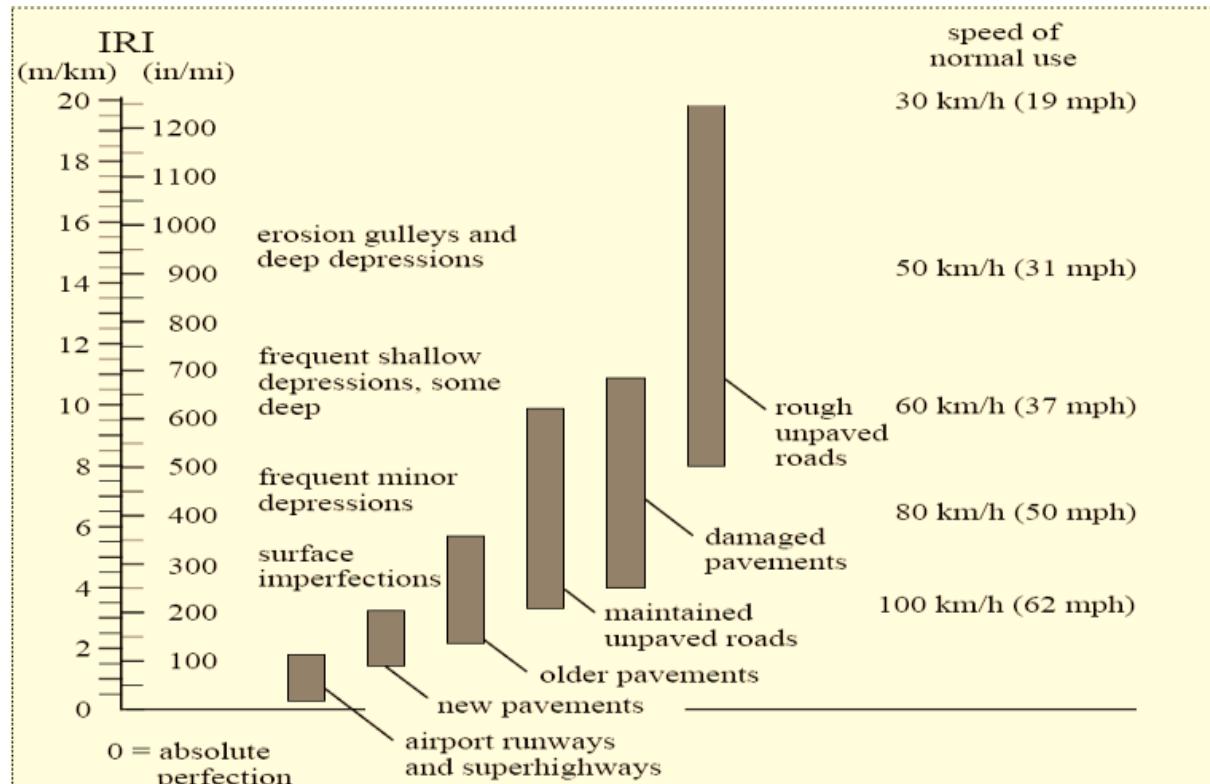


Figure III.21 : Échelle de spécifications de la banque mondiale.

Les résultats d'auscultation de l'état de planéité de la chaussée étudiée de l'axe étudié sont comme suites :

- Bon sur 16 % du linéaire total du tronçon ausculté ; ($IRI < 2.5$)
- moyen sur 80 % du linéaire total du tronçon ausculté ; ($6 < IRI < 2.5$)
- Mauvais sur 04 % du linéaire total du tronçon ausculté. ($IRI > 6$)

III.5.5- Détermination des épaisseurs à partir de carottage :

Les épaisseurs obtenues par le carottage effectué dans la RN94 a permis de distinguer dix (10) zones homogènes données dans le tableau suivant :

Tableau III-4 : Les épaisseurs obtenues par le carottage dix (10) zones

Zones	Point Kilométrique	Épaisseur moyenne (cm)
1 ^{ère} zone	PK 75+000 au PK 76+200	17.5
2 ^{ème} zone	PK 76+200 au PK 75+000	15
3 ^{ème} zone	PK 76+200 au PK 79+000	10.30
4 ^{ème} zone	PK 79+000 au PK 79+500	16
5 ^{ème} zone	PK 79+500 au PK 84+500	10.25
6 ^{ème} zone	PK 84+500 au PK 86+500	7.50
7 ^{ème} zone	PK 86+500 au PK 90+500	14
8 ^{ème} zone	PK 90+500 au PK 94+500	7.70
9 ^{ème} zone	PK 94+500 au PK 98+000	10.88
10 ^{ème} zone	PK 98+000 au PK 100+000	14.50

Un lissage sur les zones homogènes des épaisseurs déjà ressortir sur quatre (04) grandes zones sont présentées comme suit :

Tableau III-5 : Les épaisseurs obtenues par le carottage quatre (04) grandes zones

Zones	Point Kilométrique	Épaisseur moyenne (cm)
1 ^{ère} zone	PK 75+000 au PK 76+200	17.5
2 ^{ème} zone	PK 76+200 au PK 75+000	15 cm
3 ^{ème} zone	PK 76+200 au PK 98+000	10.40
4 ^{ème} zone	PK 98+000 au PK 100+000	14.50

III.5 .6 -Détermination et caractérisation des zones homogènes :

L'analyse synoptique des sections élémentaires en situation et des données du trafic en poids lourd, dégradations, déflections et les épaisseurs des couches du corps de chaussée permet de définir des zones homogènes réalisées de façon fine dans un premier temps. Cette phase d'analyse est poursuivie par une étape d'intersection entre le prédécoupage de quatre (04) paramètres pour disposer d'un nombre raisonnable des zones homogènes décrivant l'itinéraire avec une longueur minimale de 400 ml, hors purge, pour notre cas d'étude sept (07) zones homogènes.

III.5.7-Implantation et investigations géotechniques :**III.5.7.1- Implantation des carottes :**

La détermination des sections homogènes est suivie une étape d'implantation des carottes afin de déterminer les performances mécaniques ; la nature des matériaux, leurs états ; leurs épaisseurs et les conditions aux interfaces d'une part et obtenir des réponses sur les causes probables des dégradations d'autre part.

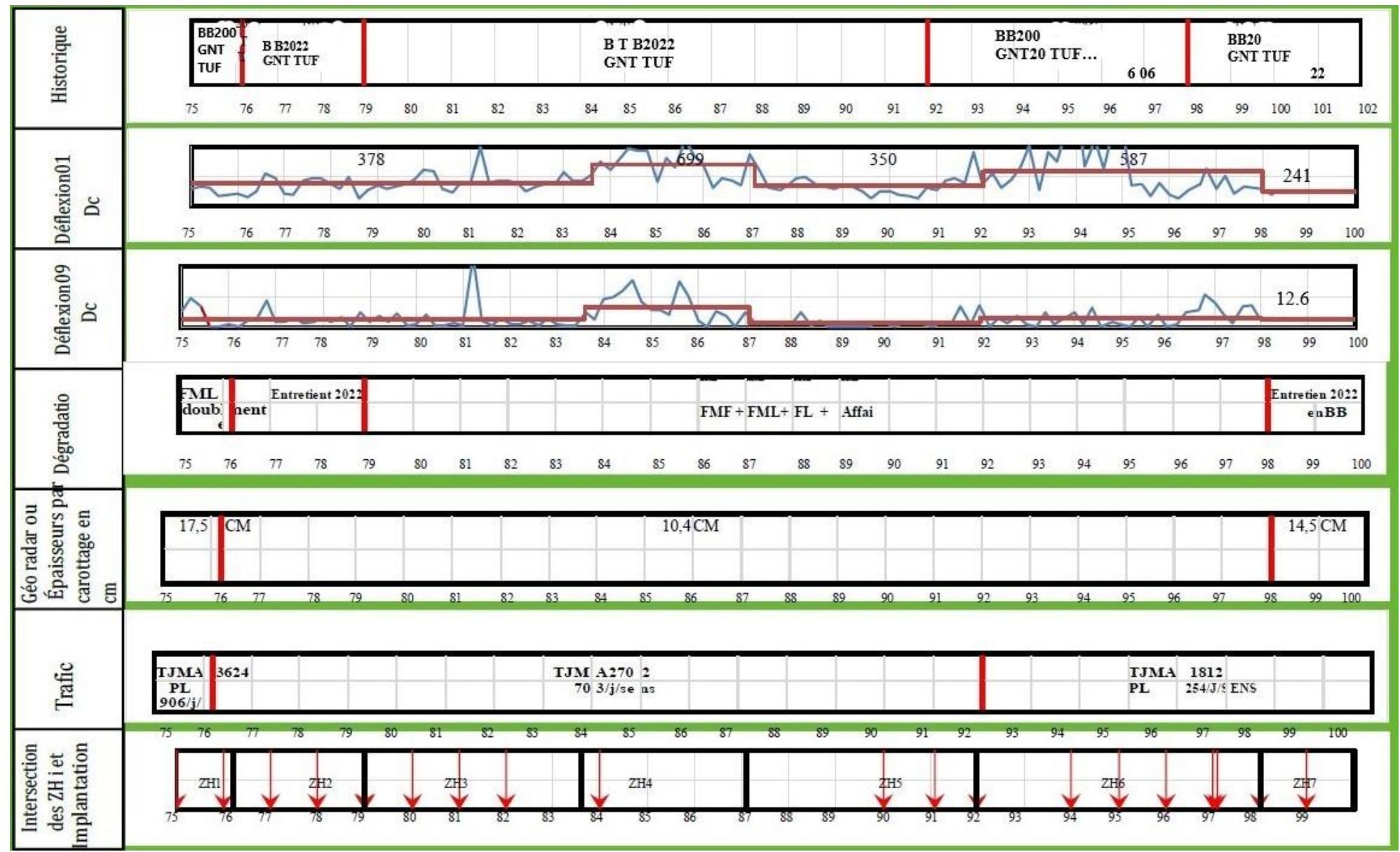
Les carottes à prélever seront implantées sur les endroits caractérisés par les dégradations ou les paramètres suivants :

- Fissure longitudinale ;
- Fissure transversale ;
- Faïençage à maille fine et large ;
- Zone saine.

Vingt-cinq (25) carottes ont été réalisées sur site selon le détail ci-après :

- Trois (03) carottes au niveau de la fissure longitudinale ;
- Une (01) carotte au niveau de la fissure transversale ;
- Cinq (05) carottes au niveau de faïençage à maille fine ; □ Huit (08) carottes au niveau de faïençage à maille large
- Huit (08) carottes au niveau des zones saines.

Figure III.22 : Schéma itinéraire d'implantation de la RN 94 (PK 75 au PK 100 / 25 Km)



Photos illustratives : Implantation et réalisation de carottage de la RN 94

Carotte N°01 au PK 75+000 sur un faïençage à maille large sens vers Tiaret.



Carotte N°02 au PK 75+000 sur un faïençage à maille large sens vers Saida.



Carotte N°03 au PK 76+000 sur une zone saine sens vers Tiaret.



Carotte N°04 au PK 76+000 sur un faïençage à maille large sens vers Saida.



Carotte N°05 au PK 77+000 sur une zone saine voie 02 sens vers Tiaret.



Carotte N°06 au PK 78+000 sur une zone saine.



Carotte N°07 au PK 79+000 sur une zone saine sens vers Tiaret.



Carotte N°08 au PK 79+030 sur un faïençage à maille fine sens vers Saida.



Carotte N°09 au PK 79+950 sur un faïençage à maille large.



Carotte N°10 au PK 81+000 sur une zone saine sens vers Tiaret.



Carotte N°11 au PK 82+000 sur une fissure transversale.



Carotte N°12 au PK 84+000 sur un faïénçage à maille large sens vers Saida.



Carotte N°13 au PK 85+000 sur un faïençage à maille fine.



Carotte N°14 au PK 86+000 sur une fissure longitudinale.



Carotte N°15 PK 87+000 sur une fissure longitudinale.



Carotte N°16 PK 90+000 sur une zone saine.



Carotte N°17 PK 91+000 sur une zone saine.



Carotte N°18 PK 92+000 sur un faïençage à maille large.



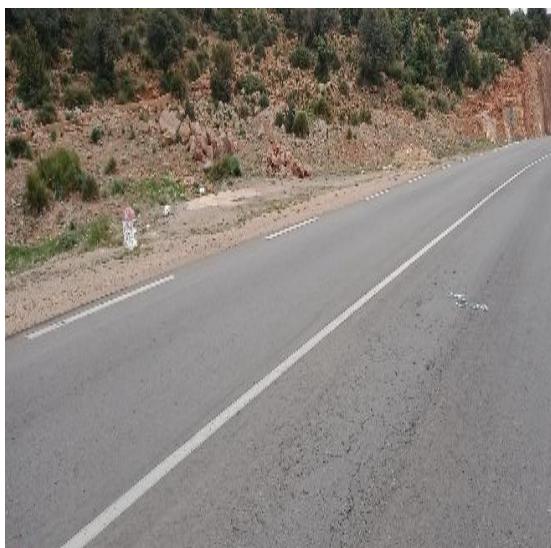
Carotte N°19 PK 94+000 sur un faïençage à maille fine.



Carotte N°20 PK 95+000 sur un faïençage à maille fine.



Carotte N°21 PK 96+000 sur un faïençage à maille fine.



Carotte N°22 PK 97+000 sur un faïençage à maille fine.



Carotte N°23 PK 97+100 sur un faïençage à maille large.



Carotte N°24 PK 98+000 sur une zone saine.



Carotte N°25 PK 99+000 sur une zone saine.

Figure III.23 : Implantation et réalisation de carottage de la RN 94.

III.5.7.2- Essais de laboratoire sur les carottes :

L'extraction du bitume et la mesure des densités apparentes au laboratoire (CTTP) dont les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III-6 : Résultats des essais sur les enrobés de la RN94.

N° carotte	Localisation PK	Nature de la couche	Ep (mm)	% de fines	% de liant	Densité apparente
C03 vers Tiaret	76+000	BB	70	14.89	5.89	2.46
		GB	94.5	10.77	5.20	2.33
C04 vers Saida	76+000	BB	70	13.90	5.36	2.39
C05	77+000	BB01	60	9.35	5.90	2.31
		BB02	67	12.76	8.43	2.38
C06	78+000	BB01	58	11.61	5.08	2.32
C07	79+000	BB01	77	5.66	5.59	2.34
C10	81+000	BB01	97	9.53	7.61	2.38
C13	85+000	BB01	76	6.83	7.24	2.27
C16	90+000	BB01	63	9.14	7.23	2.25
C23	97+100	BB01	63	9.20	6.12	2.38
C24	98+000	BB01	58	7.02	6.30	2.30
		BB02	76	10.76	7.77	2.42
C25	99+000	BB01	61	8.97	4.94	2.34
		BB02	61	8.07	5.75	2.40

- L'analyse granulométrique réalisée sur les carottes s'insèrent généralement soit dans le fuseau spécifique d'un BBSG 0/14 ou bien dans le fuseau spécifique d'un GB 0/20 à l'exception de la 1^{ere} couche de roulement BB01 des carottes n°03, n°04 et n°05 qui ne s'insèrent pas dans le fuseau spécifique d'un GB 0/20 ;
- Les couches n°01 des carottes n°03, n°04, n°06 et n°24 présentent des teneurs en fines élevées contrairement à la carotte n°07 qui présente un pourcentage faible ;

Pour avoir les compacités des carottes prélevés il faut avoir les densités réelles élaborées lors des formulations des enrobés déjà réalisés.

III.5.7.3- Recueil des données sur le sol et les matériaux non traités :

Les recueils des données récoltés d'après les interventions déjà réalisées sur la chaussée donnent les résultats suivants :

- Un sur-classement en année 2000 d'un chemin de wilaya CW48 vers la route nationale N°94 ;
- Des travaux de réhabilitation et changement du tracé de l'axe routier en 2006 sur la section du PK 92+000 au PK 98+000 avec une couche de fondation en TUF, couche de base en grave concassée et la couche de roulement en BB ;
- Des travaux d'entretien en 2022 de la couche de roulement en BB sur les deux sections : du PK 76+000 au PK 79+000 et du PK 98+000 au PK 100+000.

Les couches non traitées existantes sont considérées dans la modélisation du corps de chaussée comme une plate-forme afin d'améliorer la rigidité de substratum. Le module de ce dernier sera calculé par un rétro-calculation des déflections mesurées sur site d'une part, et d'autre part en déduis le module de la nouvelle couche de fondation en GNT par son coefficient d'équivalence selon la couche sous-adjacente comme stipulé dans le guide de dimensionnement des chaussées neuves (CTTP, 2001).

III .6 - Diagnostic et modélisation :

La phase de diagnostic est une étape préalable au dimensionnement du renforcement de la chaussée qui représente la partie primordiale de l'expertise. Le diagnostic de l'état actuel de l'axe routier est établi à l'aide de l'évaluation qualitative déterminée sur les carottes prélevées ainsi que les constats relevés sur les investigations réalisées. Cette évaluation a permis d'identifier les causes probables qui sont à l'origine de l'apparition des dégradations constatées. Sur la base des résultats obtenus par le sectionnement déterminé par le découpage de l'axe routier objet d'étude, sept (07) zones homogènes ont fait l'objet de rétro-calculation.

III.6.1- Méthode des épaisseurs équivalente (MET) :

La méthode de la hauteur équivalente a été développée par **Odemark**. Le principe de la méthode consiste à transformer un système de plusieurs couches avec des modules différents en un système équivalent homogène où toutes les couches ont un même module ce qui permet d'appliquer les théories classiques d'élasticité au système et les équations de **Boussinesq**.

Le principe d'**Odemark** suit la règle de transformation pour un système à deux couches :

- 1- Le système est considéré comme un semi-espace avec un module **Ei** lorsqu'on calcule les contraintes et les déformations au-dessus de l'interface.
- 2- La couche au-dessus de l'interface est transformée en une couche équivalente de module **E2** et de coefficient de poisson μ_2 lorsqu'on calcule les contraintes, les déformations et les déflections à l'interface ou en dessous de celui-ci.

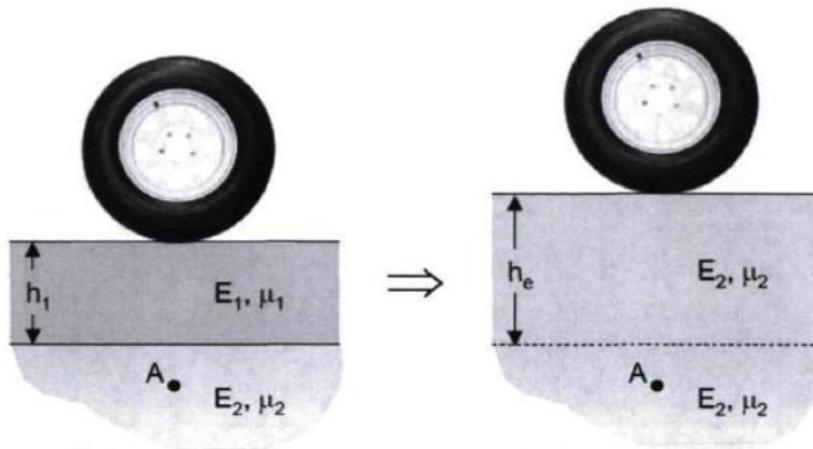


Figure III.24 : Transformation Odemark

Dans le cas du système à plus de deux couches, une fois la couche de surface transformée en une couche équivalente à la deuxième, la même procédure est reprise pour transformer la nouvelle couche obtenue (somme des deux premières couches) en une couche équivalente à la troisième et ainsi de suite.

Le calcul inverse par logiciel ELMOD se fait pour déterminer le module de la plate de forme, sachant qu'une itération appliquée de telle façon d'assurer le calage entre la déflection calculée pour les derniers géophones et la déflection mesurée à l'aide de l'appareil deflectomètre à la masse tombante HWD.

III.6.2- Modélisation (zoning) :

Plusieurs facteurs influent les dégradations des chaussées. En général, trois familles de causes peuvent être distinguées ; les dégradations liées aux erreurs de dimensionnement et travaux de mise en œuvre, les facteurs liés à l'effet mécanique (trafique routier) et enfin l'impact des conditions climatiques et des intempéries ou les effets chimiques.

III.6.2.1- La zone homogène n° 01 du PK 75+000 au PK 76+200 :

Évaluation :

Tableau III-7 : Évaluation des carottes de la zone homogène n°01 vers Tiaret.

Mat		Carotte 01					Carotte 03			
		Etat	Qualité	Ep			Etat	Qualité	Ep	
BB	Fissurée	Lisse	0.08		Décollée	Fissurée	Lisse	0.08		Décollée
GB	Fissurée	Lisse	0.10			Fissurée	Lisse	0.10		

Tableau III-8 : Évaluation globale de la zone homogène n°01 sens vers Tiaret.

Matériaux	Etat des matériaux	Qualité des parois	Epaisseurs	Etat des interfaces
BB	Fissurée	Lisse	0.075	Décollée
GB	Fissurée	Lisse	0.10	

Tableau III-9 : Évaluation des carottes de la zone homogène n°01 sens vers Saida.

Mat	Carotte 02				Carotte 04			
	État	Qualité	Ép	État Int	État	Qualité	Ép	État Int
BB	Fissurée	Lisse	0.08	C	F	L	0.06	Décollée
GB	Fissurée	Lisse	0.07		F	L	0.09	

Tableau III-10 : Évaluation globale de la zone homogène n°01 sens vers Saida.

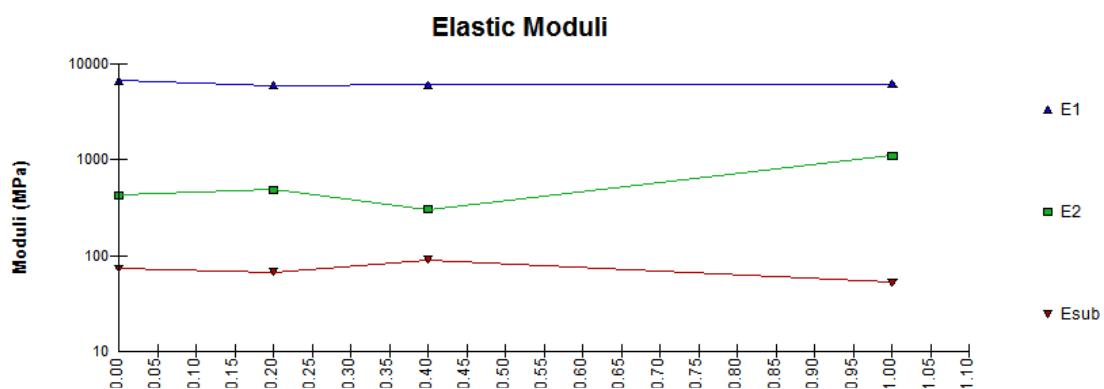
Matériaux	État des matériaux	Qualité des parois	Épaisseurs	État des interfaces
BB	Fissurée	Lisse	0.07	Collé
GB	Fissurée	Lisse	0.08	

Constats.

- La déflexion est de **248** 1/1000 de cm ;
- L'épaisseur des matériaux bitumineux obtenue par le carottage est de **17.5 cm** pour le sens vers Tiaret et de **15 cm** le sens vers Saida ;
- Le nombre des poids lourds est moyen soit **906 PL/jour/voie**, il est de classe **TPL 05**.

Les causes probables de dégradation de la chaussée étudiée peuvent être résumées à :

- Sous dimensionnement du corps de chaussée ;
- Fatigue du corps de chaussée ;
- Mauvaise portance de sol-support ;
- Mauvais accrochage entre les couches hydrocarbonées.

Modélisation et calcul inverse du sol-support**Figure III.25 : Calcul inverse de la plate-forme de ZH-01**

- Une faible portance de la plate-forme avec un module moyen de **74 Mpa**.

III.6.2.2- La zone homogène n° 02 du PK 76+200 au PK 79+000 (Entretenu en 2022) :
Évaluation

Tableau III-11 : Évaluation des carottes de la zone homogène n°02.

Mat	Carotte 05					Carotte 06			Carotte 07		
	État	Qualité	Ép	État Int	État	Qualité	Ép	État	Qualité	Ép	État Int
BB01	Saine	Lisse	0.06	Collé	Saine	Lisse	0.06	Saine	Lisse	0.08	Collée
BB02	Saine	Lisse	0.06		Saine		0.06	Saine	Lisse	0.05	

Tableau III-12 : Évaluation globale de la zone homogène n°2.

Matériaux	État des matériaux	Qualité des parois	Épaisseurs	État des interfaces
BB01	Saine	Lisse	0.067	Collée
BB02	Saine	Lisse	0.055	

Constats.

- La déflexion est de **345** 1/1000 de cm ;
- L'épaisseur des matériaux bitumineux obtenue par le carottage est de **12 cm** ;
- Le nombre des poids lourds est moyen soit **703 PL/jour/voie**, il est de classe **TPL 05**.

Causes probables pour le risque de dégradations

- Sous dimensionnement du corps de chaussée par l'absence de la couche de base en GB ;
- Fatigue du corps de chaussée ;
- Mauvaise portance de sol-support.

Modélisation et calcul inverse du sol-support

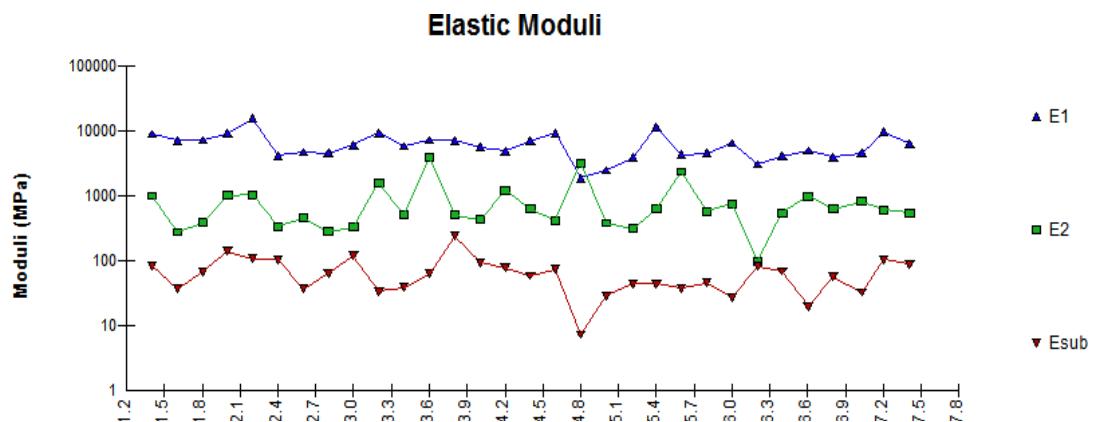


Figure III.26 : Calcule inverse de la plate-forme de la ZH02

- Une mauvaise portance de la plate-forme avec un module moyen de **63** Mpa.

III.6.2.3- La zone homogène n° 03 du PK 79+000 au PK 83+600 :

Évaluation

Tableau III-13 : Évaluation des carottes de la zone homogène n°03.

Mat	Carotte 08				Carotte 09			Carotte 10		
	État	Qualité	Ép	Éta t Int	État	Qualité	Ép	Éta t	Qualit é	Ép
BB01	Fra	GA	0.0 7	C	Fra	GA	0.09	S	L	0.095
BB02	Fra	GA	0.0 9							

Carotte 11				Carotte 12			
État	Qualité	Ép	État Int	État	Qualité	Ép	État Int
Fra	GA	0.06	C	Fra	GA	0.06	D
S	L	0.045		S	L	0.045	

Tableau III-14 : Évaluation globale ZH03.

Matériaux	État des matériaux	Qualité des parois	Épaisseurs	État des interfaces
BB 01	Granulats Arrachés	Fragmenté	0.075	Collé
BB 02	Granulats Arrachés	Fragmenté	0.065	

Constats.

- La déflexion caractéristique est de **426.3** 1/1000 de cm
- L'épaisseur des matériaux bitumineux obtenue par le carottage est de **14** cm
- Le nombre des poids lourds est moyen soit **703 PL/jour/voie**, il est de classe **TPL 05**.

Causes probables de dégradations

- Sous dimensionnement du corps de chaussée par l'absence de la couche de base en GB ;
- Un mauvais accrochage entre les couches hydrocarbonées ;
- Fatigue du corps de chaussée ;
- Mauvaise portance de sol-support ;

Modélisation et calcul inverse du sol-support

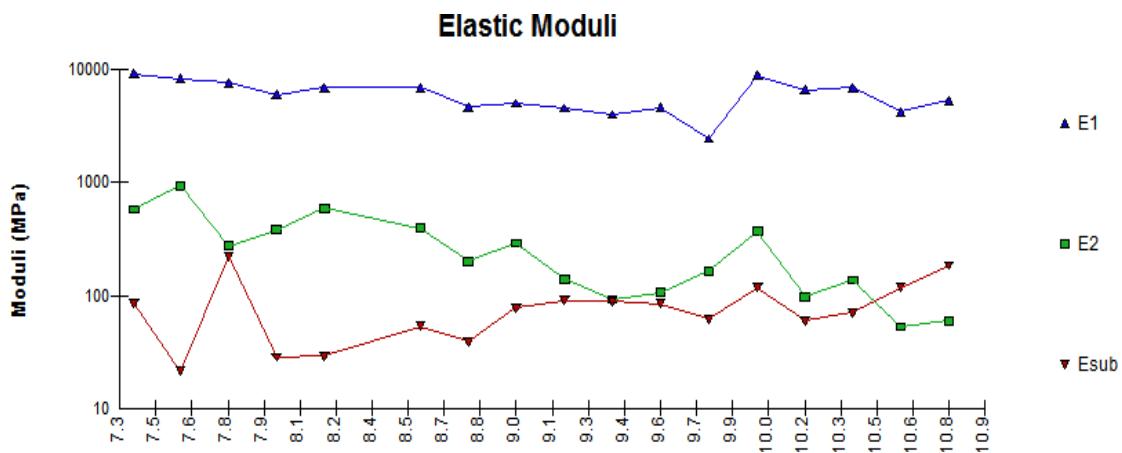


Figure III.27: Calcule inverse de la plate-forme de la ZH03

- Une mauvaise portance de la plate-forme avec un module moyen de **70** Mpa.

III.6.2.4 -La zone homogène n° 04 du PK 83+600 au PK 87+100 :

Évaluation et constats

Tableau III-15 : Évaluation des carottes de la zone homogène n°04.

Mat	Carotte 13			Carotte 14			Carotte 15			Carotte 16				
	ET	Q	EP	E T	Q	EP	ET	Q	EP	ET Int	E T	Q	EP	ET Int
BB01	S	L	0.075	F	L	0.07	F	L	0.065	D	S	L	0.065	CC
BB02							F	L	0.04		S	L	0.035	
GB0 1							F	L	0.04		S	L	0.04	

Carotte 17			Carotte 18			Carotte 19			
ET	Q	EP	E T	Q	EP	ET Int	ET	Q	EP
F	L	0.07	F	L	0.065	C	F	L	0.07
			F	L	0.04				
			F	L	0.04				

Tableau III-16 : Évaluation globale ZH04.

Matériaux	État des matériaux	Qualité des parois	Épaisseurs	État des interfaces
BB 01	Lisse	Fissurée	0.070	Collée
BB 02	Lisse	Fissurée	0.032	
GB01	Lisse	Saine	0.040	

- La déflection caractéristique est de **693** 1/1000 de cm ;
- L'épaisseur des matériaux bitumineux obtenue par le carottage est de **14** cm ;
- Le nombre des poids lourds est moyen soit **703** PL/jour/voie, il est de classe **TPL 05**.

Causes probables de dégradations

- Sous dimensionnement du corps de chaussée par l'insuffisance ainsi que l'absence de la couche de base en GB ;
- Un mauvais accrochage entre les couches hydrocarbonées ;
- Fatigue du corps de chaussée ;
- Mauvaise portance de sol-support ;

Modélisation et calcul inverse du sol-support

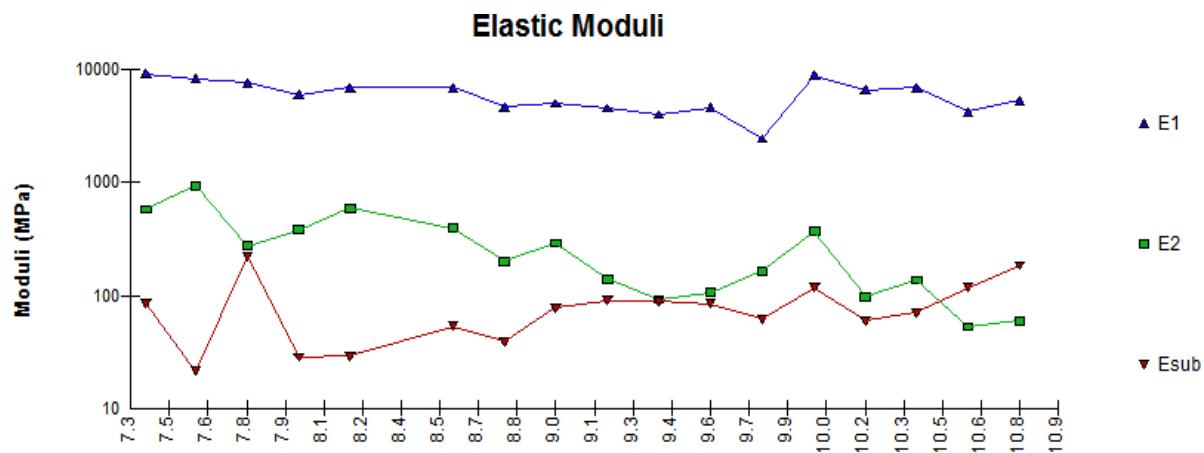


Figure III.28 : Calcule inverse de la plate-forme de la ZH04.

- Une mauvaise portance de la plate-forme avec un module moyen de 70 Mpa.

III.6.2.5 -La zone homogène n° 05 du PK 87+100 au PK 92+000 :

Évaluation et constats

Tableau III-17 : Évaluation des carottes de la zone homogène n°05.

Mat	Carotte 13			Carotte 14			Carotte 15			Carotte 16				
	ET	Q	EP	E T	Q	EP	ET	Q	EP	ET Int	E T	Q	EP	ET Int
BB01	S	L	0.075	F	L	0.07 5	F	L	0.065	D C	S	L	0.065	CC
BB02							F	L	0.04		S	L	0.035	
GB0 1							F	L	0.04		S	L	0.04	

Carotte 17			Carotte 18				Carotte 19		
ET	Q	EP	E T	Q	EP	ET Int	ET	Q	EP
F	L	0.07	F	L	0.065	C	F	L	0.07
			F	L	0.04				
			F	L	0.04				

Tableau III-18 : Évaluation globale ZH05.

Matériaux	Etat des matériaux	Qualité des parois	Epaisseurs	Etat des interfaces
BB 01	L	F	0.070	C
BB 02	L	F	0.032	
GB01	L	S	0.040	

L : Lisse ; **F**: Fissuré ; **S**: Saine ; **C**: Collé ; **D**: Décollé.

Constats.

- La déflexion caractéristique est de **350** 1/1000 de cm ;
- L'épaisseur des matériaux bitumineux obtenue par le carottage est de **14** cm ;
- Le nombre des poids lourds est moyen soit **703** PL/jour/voie, il est de classe **TPL 05**.

Causes probables de dégradations

- Sous dimensionnement du corps de chaussée par l'insuffisance ainsi que l'absence de la couche de base en GB ;
- Un mauvais accrochage entre les couches hydrocarbonées ;
- Fatigue du corps de chaussée ;
- Mauvaise portance de sol-support ;

Modélisation et calcul inverse du sol-support

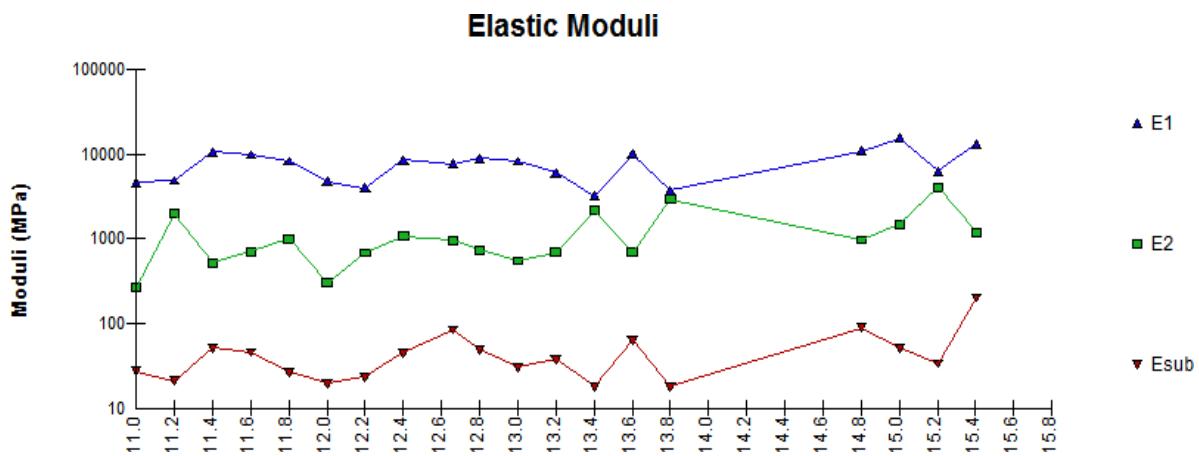


Figure III.29: Calcule inverse de la plate-forme de la ZH05.

- Une très mauvaise portance de la plate-forme avec un module moyen de **40** Mpa.

III.6.2.6 -La zone homogène n° 06 du PK 92+000 au PK 98+000 :

Évaluation

Tableau III-19 : Évaluation des carottes de la zone homogène n°06.

Mat	Carotte 20			Carotte 21			Carotte 22			Carotte 23					
	Et	Q	Ep	Et	Int	Et	Q	Ep	Et	Int	Et	Int			
BB01	F	L	0.060	D C	F	L	0.06	F	L	0.06	D	F	L	0.060	C C
BB02	F	L	0.035		M	L	0.045	M	L	0.045		M	L	0.065	
GB01	M	L	0.030									M	L	0.02	

L : Lisse - F : Fissuré - S : Saine - M : Médiocre - C : Collé - D : Décollé.

Tableau III-20 : Évaluation globale ZH06.

Matériaux	Etat des matériaux	Qualité des parois	Epaisseurs	Etat des interfaces
BB 01	L	F	0.060	D C
BB 02	L	M	0.048	
GB01	L	M	0.025	

L : Lisse - **F** : Fissuré - **S** : Saine - **M** : Médiocre - **C** : Collé - **D** : Décollé.

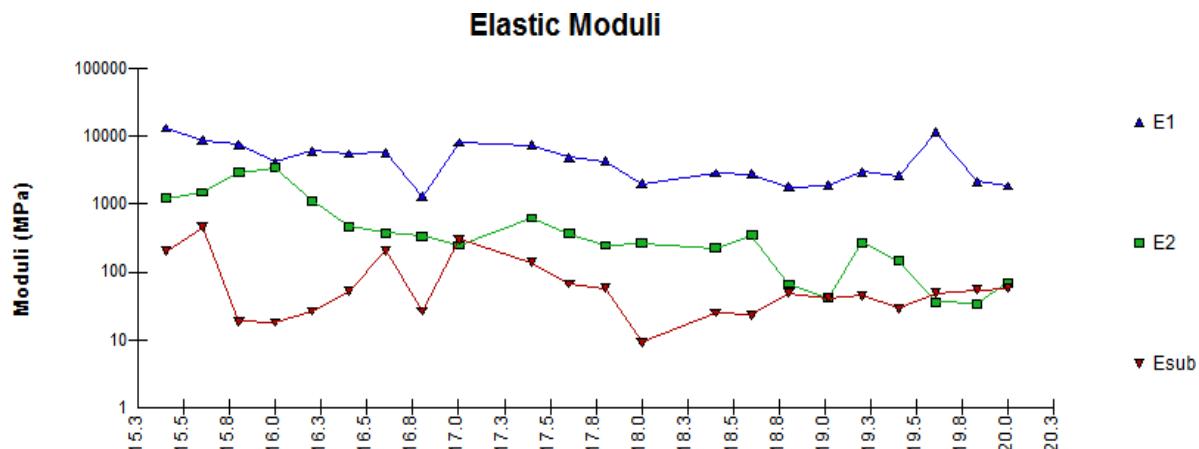
Constats

- La déflection caractéristique est de **587 1/1000** de cm ;
- L'épaisseur des matériaux bitumineux obtenue par le carottage est de **13.30** cm ;
- Le nombre des poids lourds est moyen soit **254 PL/jour/voie**, il est de classe **TPL 03**.

Causes probables de dégradations

- Sous dimensionnement du corps de chaussée par l'insuffisance ainsi que l'absence de la couche de base en GB ;
- Un mauvais accrochage entre les couches hydrocarbonées ;
- Fatigue du corps de chaussée ;
- Mauvaise portance de sol-support ;

Modélisation et calcul inverse du sol-support

**Figure III.30 : Calcule inverse de la plate-forme de la ZH06.**

- Une très mauvaise portance de la plate-forme avec un module moyen de **53 Mpa**.

III.6.2.7 -La zone homogène n° 07 du PK 98+000 au PK 100+000 :

Ce tronçon avait déjà fait l'objet d'entretien 2022.

Évaluation et constats

Tableau III-21 : Évaluation des carottes de la zone homogène n°07.

Matériaux		Carotte 24				Carotte 25			
	Etat	Qualité	Ep	Etat Int	Etat	Qualité	Ep	Etat Int	
BB 01	Saine	Lisse	0.06	Collée	Saine	Lisse	0.06	Collée	
BB 02	Saine	Lisse	0.06		Saine	Lisse	0.07		
GB 01	Saine	Lisse	0.02		Saine	Lisse	0.02	Collée	

Tableau III-22 : Évaluation globale ZH07.

Matériaux	Etat	Qualité	Ep	Etat Int
BB 01	Saine	Lisse	0.060	Collée
BB 02	Saine	Lisse	0.065	
GB 01	Saine	Lisse	0.020	

- La déflection caractéristique est de **241.2 1/1000 de cm** ;
- L'épaisseur des matériaux bitumineux obtenue par le carottage est de **14.5 cm** ;
- Le nombre des poids lourds est moyen soit **254 PL/jour/voie**, il est de classe **TPL 03**.

Causes probables pour le risque de dégradations

- Sous dimensionnement du corps de chaussée par l'absence de la couche de base en GB.

Modélisation et calcul inverse du sol-support

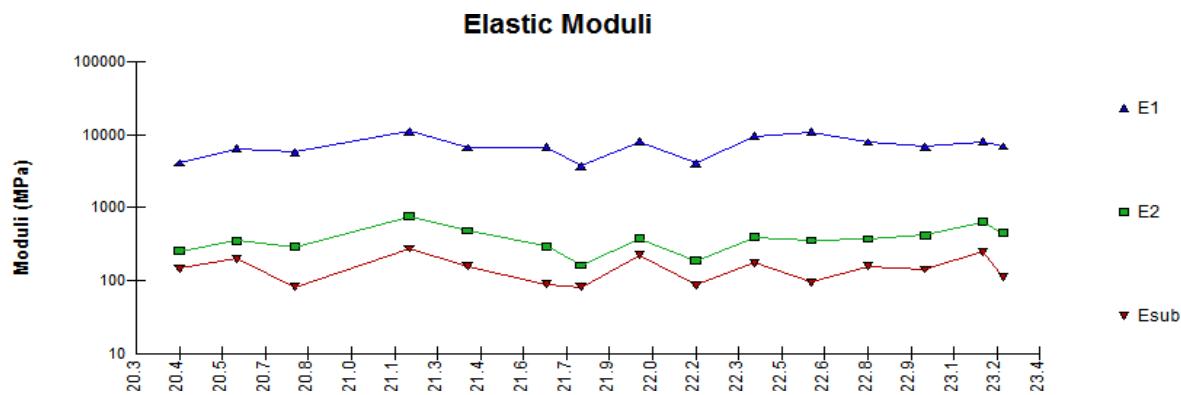


Figure III.31 : Calcule inverse de la plate-forme de la ZH07.

- Une bonne portance de la plate-forme avec un module moyen de **140 Mpa**.

III.7-Conception et solution :

A l’issue des deux (02) phases précédentes à savoir : le recueil des données et auscultations ; et la phase du diagnostic et modélisation. La conception représente la fin de la démarche de renforcement de la chaussée (RN94) objet de cette étude. La solution présentée est basée sur l’utilisant l’approche française de logiciel de calcul Alizé.

III.7 .1- Les hypothèses de calcul :

Température de référence : **Θéq=20°c** (la wilaya de SAIDA est classée en **zone II**, catalogue de dimensionnement des chaussées neuves, CTTP en 2001)

- Le Risque **R=10% (TPL05)** ;
- Coefficient d’agressivité moyen : **CAM=0.6** ;
- Année de comptage **2023** ;
- Année de mise en service **2024** ;
- Durée de vie escomptée **N = 10 ans** ;
- Répartition du trafic par la voie la plus chargée de la chaussée est de **50%** ;
- Coefficient d’accroissement géométrique annuel **i = 4% (2024)** ;

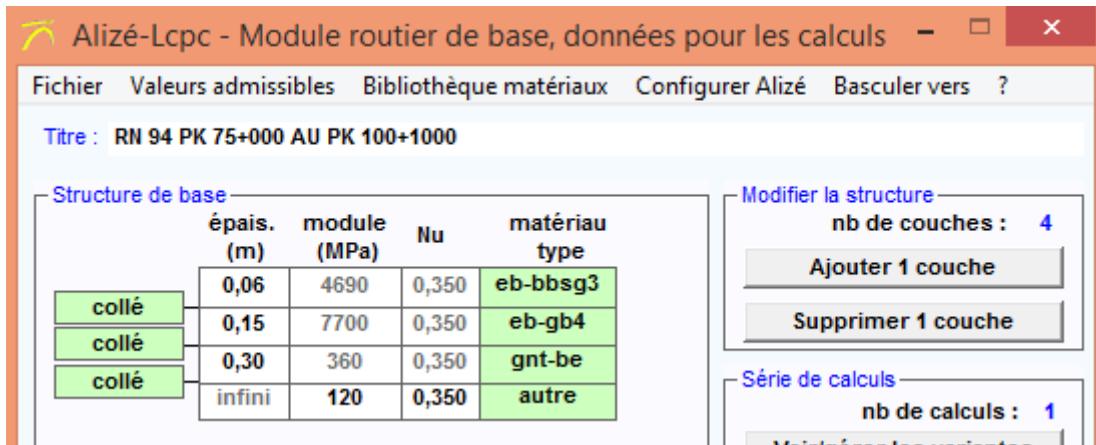
- La contrainte de seuil maximal par rapport à la ligne rouge est égale à $\pm 25 \text{ cm}$;
- Lois de fatigue pour les matériaux locaux (voir catalogue de dimensionnement des chaussées neuves) sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau III-23 : Lois de fatigue.

Matériaux	Caractéristiques									
	ε_6	-1/b	b	SN	Sh	Kc	c	Sigma	E (10°C)	E (20°C)
BB	100	5	-0.2	0.25	f(h)	1.1	0.02	0.25	14630	4690
GB	100	5	-0.146	0.30	0.03	1.3	0.02	0.45	14300	7700

III.7 .2- Dimensionnement du nouveau corps de chaussée :

L'axe routier présente une grande hétérogénéité en termes de nature des matériaux et en épaisseur. A cet effet un renforcement homogène doit être proposé sur la totalité de cet axe ; l'ancienne couche de fondation en TUF ou bien en GNT est considérée comme une plateforme avec un module de **120 Mpa** d'une part, et d'autre part le cas le plus favorable en termes du trafic (**906 PL/j/sens**).

**Figure III.32 : La conception de la section du PK 75+000 au PK 100+000. [27]**

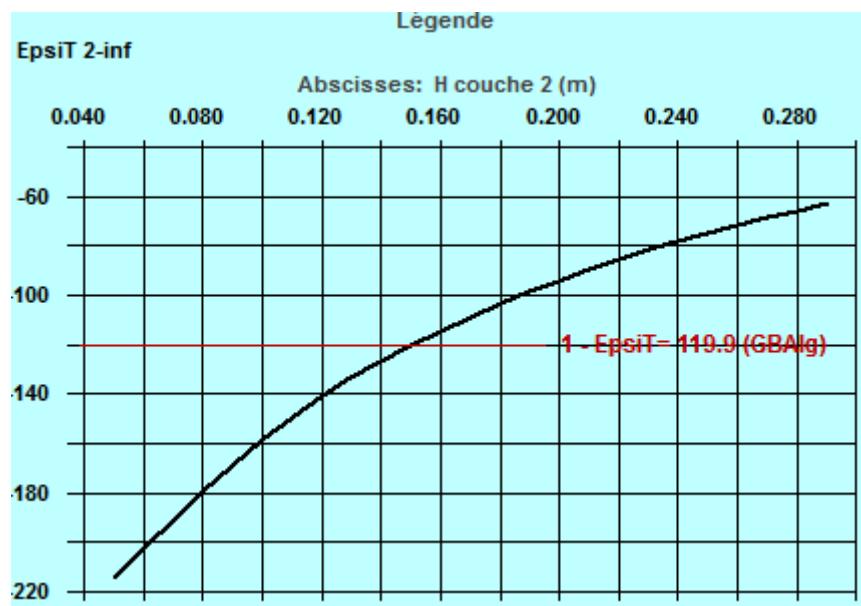


Figure III.33 : Nouveau corps de chaussée au niveau du PK 75+000 au PK 100+000. [27]

Pour remédier à tous les désordres constatés sur le tronçon étudié, plusieurs actions sont proposées à savoir :

- Un décaissement du corps de chaussée sur 25 cm de profondeur y compris le remaniement de la plateforme ;
- Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation en Grave concassé (GNT) sur une épaisseur de 30 cm ;
- Imprégnation en Cut-back 0/1 entre GB/GNT ;
- Le rechargement de la couche de base en grave bitume (GB) avec la fraction 0/20 de 15 cm d'épaisseur ;
- Fourniture et mise en œuvre du Béton Bitumineux Semi Grenue (BBSG) sur une épaisseur de 06 cm y compris la couche d'accrochage entre GB/BB.

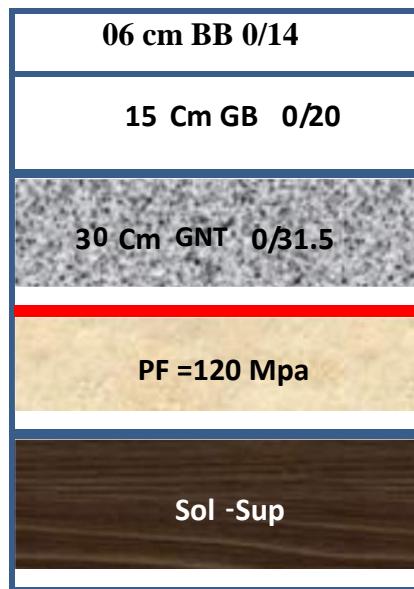


Figure III.34 : Nouveau corps de chaussée au niveau (PK 75+000 au PK 100+000)

Légende :

BBSG : béton bitumineux semi grenu ;

GB : Grave bitume ;

GNT : Grave non traitée ;

PF : plate-forme.

III.8- Travaux préparatoires de la chaussée :

Les travaux nécessaires à préparer avant la mise en œuvre de la nouvelle structure sont présentés dans les tableaux ci-après

Tableau III-24 : Travaux décaissement de la RN94

Localisation	l (m)	L (m)	Ep (m)	V (m ³)	Remarques
075+000 - 076+000	15,5	1000	0,25	3875	Dédoublement
076+000 - 076+200	15,5	200	0,25	775	
076+200 - 077+000	7,3	800	0,25	1460	
077+000 - 078+000	7,3	1000	0,25	1825	
078+000 - 079+000	7,4	1000	0,25	1850	
079+000 - 079+950	7,4	950	0,25	1757,5	
079+950 - 081+000	7,5	1050	0,25	1968,75	
081+000 - 082+000	7,3	1000	0,25	1825	
082+000 - 082+900	7	900	0,25	1575	
082+900 - 084+000	7,5	1100	0,25	2062,5	
084+000 - 084+800	7,4	800	0,25	1480	
084+800 - 086+000	7,6	1200	0,25	2280	
086+000 - 087+100	7,4	1100	0,25	2035	
087+100 - 088+000	7,2	900	0,25	1620	
088+000 - 089+000	7	1000	0,25	1750	
089+000 - 090+000	7	1000	0,25	1750	
090+000 - 091+000	7	1000	0,25	1750	
091+000 - 092+000	7	1000	0,25	1750	
092+000 - 092+750	7,5	750	0,25	1406,25	
092+750 - 093+500	7,3	750	0,25	1368,75	
093+500 - 094+400	7,8	900	0,25	1755	
094+400 - 095+000	7,8	600	0,25	1170	
095+000 - 096+000	7,8	1000	0,25	1950	
096+000 - 096+700	8,9	700	0,25	1557,5	
096+700 - 097+400	8	700	0,25	1400	
097+400 - 098+000	8	600	0,25	1200	
098+000 - 099+000	7,8	1000	0,25	1950	
099+000 - 100+000	7,6	1000	0,25	1900	
075+000 - 076+000	15,5	1000	0,25	3875	
TOTAL		25000		49046.25	

II.9- Travaux de dépendance :

Tableau III-25: État des ouvrages transversaux de la RN94.

Localisation	Type	État structural	État fonctionnel
PK75+220	Busé D600	Bon	Passage busé
PK75+450	Busé D800	Bon	Passage busé
PK75+750	busé D600	Bon	Mal entretien
PK76+50	Busé D800	Bon	Passage busé
PK76+830	busé D600	Bon	Passage busé
PK78+30	Dallot	La tête d'ouvrage fissurée	Mal entretien
PK78+750	Busé D1000	Bon	Passage busé
PK79+230	busé D600	Bon	Passage busé
PK81+530	Busé D800	Bon	Mal entretien
PK82+430	busé D600	Bon	Mal entretien
PK83+30	Busé D600	Bon	Passage busé
PK84+400	busé	Bon	Passage busé
PK84+600	busé D600	Bon	Passage busé
PK84+800	busé D800	Bon	Passage busé
PK85+250	Dallot	Bon	Mal entretien
PK85+450	Dallot	La tête d'ouvrage	Mal entretien t
PK85+710	busé D800	Bon	Passage busé
PK85+800	busé D800	Mal entretien	Mal e ntretien
PK85+900	busé D600	Bon	Passage busé
PK86+800	busé D800	Bon	Passage busé
PK87+100	busé D600	Bon	Mal entretien
PK87+400	busé D800	Bon	Mal entretien
PK87+600	busé D1000	Bon	Passage busé
PK87+850	busé D800	Bon	Passage busé
PK88+250	Dallot	La tête d'ouvrage fissurée	Mal entretien
PK88+500	busé D800	Bon	Passage busé
PK88+950	busé D600	Bon	Passage busé
PK89+400	busé D1000	Bon	Mal entretien
PK89+700	busé D800	Bon	Passage busé
PK90+200	busé D600	Bon	Mal entretien
PK90+800	busé D600	Bon	Passage busé
PK90+920	busé D600	Bon	Passage busé
PK91+550	busé D600	Bon	Passage busé
PK92+50	Dallot	La tête d'ouvrage fissurée	Mal entretien

PK93+120	Dalot	La tête d'ouvrage fissurée	Mal entretien
PK93+650	busé D800	Bon	Passage busé
PK94+500	busé D800	Bon	Passage busé
PK95+50	Busé 800	Bon	Mal entretien
PK95+500	busé D1000	Bon	Passage busé
PK96+100	busé D1000	Bon	Mal entretien
PK96+500	busé 600	Bon	Passage busé
PK97+300	busé D1000	Bon	Passage busé
PK98+350	busé D600	Bon	Mal entretien
PK98+530	busé D600	Bon	Passage busé
PK98+680	busé D1000	680	Mal entretien
PK99+350	busé D600	Bon	Passage busé
PK99+650	busé D600	Bon	Mal entretien



Figure III.35 : Ouvrage dalot pk 78+300 RN94.



Figure III.36: Ouvrage dalot pk 85+250 RN94



Figure III.37 : Ouvrage dalot pk 85+450 RN94

III.9.1- Travaux sur accotements :**III.9.1.1- Rechargement des accotements :**

La mise en œuvre de rechargement des accotements est en parallèle avec la nouvelle structure proposée, on effectuera le rechargement en matériau suffisamment stable répondant aux spécifications exigées.

III.9.1.2- Protection contre les infiltrations :

L'accotement est dans la majeure partie des cas plus perméable que la chaussée. L'eau y stagne parfois, s'y infiltre souvent. Le sol situé sous l'assiette d'une chaussée s'il n'est pas efficacement protégé contre ces infiltrations est le siège de variation d'humidité.

Ce déséquilibre hydrique entre le sol sous chaussée et celui sous l'accotement se traduit par un mouvement horizontal d'eau par capillarité définissant un phénomène dénommé « effet de bord » qui peut avoir des effets néfastes.

Pour se protéger de cet effet, il y a intérêt à limiter la quantité d'eau qui pénètre dans la structure en assurant :

- Un ruissellement rapide de l'eau, en ramenant la surface antérieure de la chaussée d'une pente de **4 %** vers l'extérieur,
- Que l'accotement ne constitue pas un obstacle au cheminement de l'eau vers Dispositif d'assainissement, pour cela il faudrait un bon réglage et un compactage suffisant.
- Il est recommandé de revêtir les accotements en enduit superficiel monocouche.

III.9.2- Travaux de sécurité et signalisation horizontale :**III.9.2.1- Glissière de sécurité :**

Une glissière de sécurité est un dispositif de retenue souple qui a la propriété de se déformer lors d'un choc ;

En absorbant l'énergie du choc dans la déformation, il diminue les dégâts du véhicule sortant de la route ;

La glissière métallique reste, pour certaines applications, l'ouvrage de protection le plus performant sur le marché.

Le tableau suivant récapitule le linéaire concerné par les travaux des glissières de sécurité :

Tableau III-26 : Travaux des glissières de sécurité métallique de la RN94.

Localisation	Linéaire	Type	Côté
PK93+150-	100	Métallique	G
PK93+250			

III.9.2.2- Signalisation horizontale :

La signalisation joue un rôle essentiel dans la sécurité de l'usager en plus de sa fonction réglementaire, c'est un moyen utile pour le guidage.

Le dispositif qui a été adopté pour le présent projet est : la mise en place de peinture en bandes continues et discontinues. Cette signalisation concerne en général le marquage sur la chaussée par une peinture de couleur blanche réfléchissante où on distingue :

III.9.2.2.1- Les bandes discontinues

Pour la délimitation des voies de circulation et le dépassement des véhicules lorsque la visibilité le permet.

III.9.2.2.2- Les bandes continues

Pour interdire le dépassement des véhicules lorsque la visibilité ne le permet pas.

III.10- Conclusions et Recommandations :

A la lumière du diagnostic établi lors de l'auscultation ; on peut conclure ce qui suit :

Les dégradations apparues sont probablement dues :

1. Au mauvais accrochage entre les couches hydrocarbonées ;

2. Au sous dimensionnement du corps de chaussée notamment par l'absence de la couche de base en grave bitume dans quelques sections ainsi que l'insuffisance de leurs épaisseurs dans les autres sections ;
3. A la mauvaise portance de la plateforme dans la majorité du linéaire ;
4. Et finalement à la fatigue du corps de chaussée.

Pour ce faire suite aux conclusions tirées, le CTTP propose les recommandations suivantes :

- Contrôle du niveau de portance de la plateforme ainsi que le rapport de compacité $EV2/EV1 \leq 2$;
- Veiller à la qualité des matériaux selon les guides et les normes en vigueur ainsi que sur la qualité de la mise en œuvre sur chantier ;
- Le respect des travaux préparatoires, travaux de dépendance ainsi que les épaisseurs préconisées ;
- Perméabilisations des accotements par un enduit superficiel en monocouche afin d'éviter le ravinement des matériaux ainsi que l'infiltration des eaux de ruissellement à travers les bords de la chaussée ;
- Contrôle des surcharges des poids lourds conformément au code de la route.

Il y a lieu de signaler que la note de calcul relative au dimensionnement n'est valable que si les préconisations citées dans le présent rapport sont respectées. Les quantités sont des valeurs calculées à partir des caractéristiques des profils en travers types. (Tableau III-27)

III.11- Calcul des quantités :**Tableau III- 27 : Calcul quantité par profil de la RN 94.**

Localisation	Accot G	1	Accot D	L	Structure	GNT (m ³)	GB (T)	Imp (m ²)	BB (T)	Accot (m ³)	Monocouche (m ²)
075+000 - 076+000	2,5	15,5	2,5	1000	6BB+15GB+30 GNT	4650	6045	16000	2325	1050	5000
076+000 - 076+200	2,5	15,5	2,5	200	6BB+15GB+30 GNT	930	1209	3200	465	210	1000
076+200 - 077+000	2,5	7,3	2,5	800	6BB+15GB+30 GNT	1752	2277,6	6240	876	840	4000
077+000 - 078+000	2,5	7,3	2,5	1000	6BB+15GB+30 GNT	2190	2847	7800	1095	1050	5000
078+000 - 079+000	2,5	7,4	2,5	1000	6BB+15GB+30 GNT	2220	2886	7900	1110	1050	5000
079+000 - 079+950	1,7	7,4	2,5	950	6BB+15GB+30 GNT	2109	2741,7	7505	1054,5	837,9	3990
079+950 - 081+000	1,7	7,5	1,7	1050	6BB+15GB+30 GNT	2362,5	3071,25	8400	1181,25	749,7	3570
081+000 - 082+000	2	7,3	2,5	1000	6BB+15GB+30 GNT	2190	2847	7800	1095	945	4500
082+000 - 082+900	1,6	7	1,6	900	6BB+15GB+30 GNT	1890	2457	6750	945	604,8	2880
082+900 - 084+000	1,6	7,5	2,5	1100	6BB+15GB+30 GNT	2475	3217,5	8800	1237,5	947,1	4510
084+000 - 084+800	2,5	7,4	2,5	800	6BB+15GB+30 GNT	1776	2308,8	6320	888	840	4000
084+800 - 086+000	2	7,6	2	1200	6BB+15GB+30 GNT	2736	3556,8	9720	1368	1008	4800
086+000 - 087+100	2	7,4	2	1100	6BB+15GB+30 GNT	2442	3174,6	8690	1221	924	4400
087+100 - 088+000	1,5	7,2	2	900	6BB+15GB+30 GNT	1944	2527,2	6930	972	661,5	3150
088+000 - 089+000	1,5	7	2	1000	6BB+15GB+30 GNT	2100	2730	7500	1050	735	3500
089+000 - 090+000	1	7	1,7	1000	6BB+15GB+30 GNT	2100	2730	7500	1050	567	2700
090+000 - 091+000	1,2	7	1,5	1000	6BB+15GB+30 GNT	2100	2730	7500	1050	567	2700

091+000 - 092+000	2,2	7	2	1000	6BB+15GB+30 GNT	2100	2730	7500	1050	882	4200
092+000 - 092+750	2,5	7,5	2,3	750	6BB+15GB+30 GNT	1687,5	2193,75	6000	843,75	756	3600
092+750 - 093+500	2	7,3	2,2	750	6BB+15GB+30 GNT	1642,5	2135,25	5850	821,25	661,5	3150
093+500 - 094+400	2,5	7,8	2,5	900	6BB+15GB+30 GNT	2106	2737,8	7470	1053	945	4500
094+400 - 095+000	2,5	7,8	2,5	600	6BB+15GB+30 GNT	1404	1825,2	4980	702	630	3000
095+000 - 096+000	2,5	7,8	2,5	1000	6BB+15GB+30 GNT	2340	3042	8300	1170	1050	5000
096+000 - 096+700	2	8,9	1,8	700	6BB+15GB+30 GNT	1869	2429,7	6580	934,5	558,6	2660
096+700 - 097+400	2	8	2	700	6BB+15GB+30 GNT	1680	2184	5950	840	588	2800
097+400 - 098+000	2	8	2	600	6BB+15GB+30 GNT	1440	1872	5100	720	504	2400
098+000 - 099+000	2	7,8	2	1000	6BB+15GB+30 GNT	2340	3042	8300	1170	840	4000
099+000 - 100+000	2	7,6	1,8	1000	6BB+15GB+30 GNT	2280	2964	8100	1140	798	3800
TOTAL				25000		58855,5	76512,15	208685	29427,75	21800,1	103810

III.12- Les travaux de reconstruction :

A l'issue de cette expertise, l'étude conclue à la nécessité de reconstruire la totalité du tronçon objet de dégradations. Les travaux de reconstruction se déclinent en trois étapes :

Première étape : préparation du terrain

Décaissement 25 cm y compris le remaniement de la plateforme et le compactage : **49 050 M3**

Deuxième étape : travaux de chaussée

- Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation en Grave concassée (GNT) sur une épaisseur de 30 cm, : **60 000 M3**

- Imprégnation en Cut-back 0/1 entre GB/GNT: **209 000 M2**

- Fourniture et mise en œuvre de la Grave Bitume (GB) sur une épaisseur de 15cm :

76 550 TONNE

- Fourniture et mise en œuvre du Béton Bitumineux Semi Grenue (BBSG) sur une épaisseur de 06 cm y compris la couche d'accrochage entre GB/BB: **29 500 TONNE**

Troisième étape : Travaux de dépendance

- Travaux sur accotements

- Fourniture et mise en œuvre des matériaux non traité pour les accotements: **22 000 M3**

- Fourniture et mise en œuvre d'une monocouche pour les accotements: **104 000 M2**

Exploitation de la route

- Fourniture et mise en œuvre des glissières de sécurité métallique: **100 ML**

- Peinture en bandes discontinues: **67 500 ML**

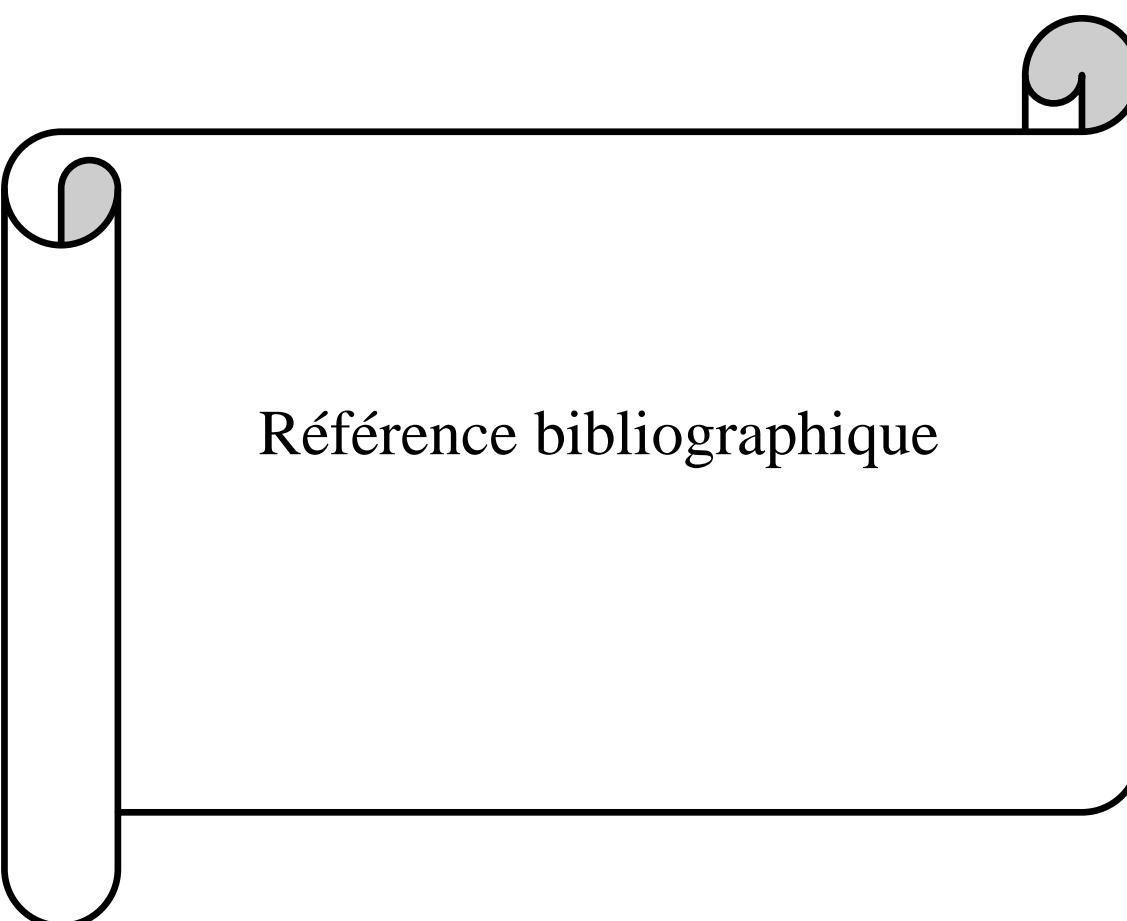
- Peinture en bandes continues: **7 500 ML**

III.13- CONCLUSION GENERALE

Le réseau routier constitue le pilier essentiel de l'activité humaine, il joue un rôle central en reliant les pôles économiques et politiques et assurant la défense nationale. Son impact sur la société, qu'il soit économique, politique ou social, est inestimable. Il est donc crucial de maintenir ce réseau vital de manière durable et performante. Quel que soit le budget alloué à son entretien, il restera toujours minime comparé aux bénéfices qu'il génère.

Cette étude avait pour principal objectif d'évaluer l'état des dégradations sur un tronçon de la Route Nationale n° 94, situé à la sortie Est de la ville de Saïda, une voie fortement sollicitée par le trafic hors agglomération. Ce tronçon de 25 kilomètres présente un niveau de dégradation avancé, justifiant un diagnostic mettant en évidence des dégradations importantes. L'analyse combinée des inspections visuelles, des résultats d'auscultation et des essais en laboratoire a permis une interprétation précise des dégradations observées ainsi que de leurs causes.

À l'issue de notre étude des cas les plus courants liés à l'entretien routier, nous avons identifié l'urgence de renforcer la section de la RN94 du PK 75+000 au PK 100+000. Par ailleurs, un vaste réseau, celui de la voirie urbaine, demeure largement délaissé tant dans les politiques budgétaires que dans les études techniques. Pourtant, ce réseau est essentiel au bien-être social, car la majorité des sources de stress, de retards et d'incidents dans la vie quotidienne proviennent de ses carences. Pour les travaux futurs, nous recommandons d'approfondir les recherches sur ce réseau, en mettant l'accent sur sa conception, son entretien et son rôle crucial.

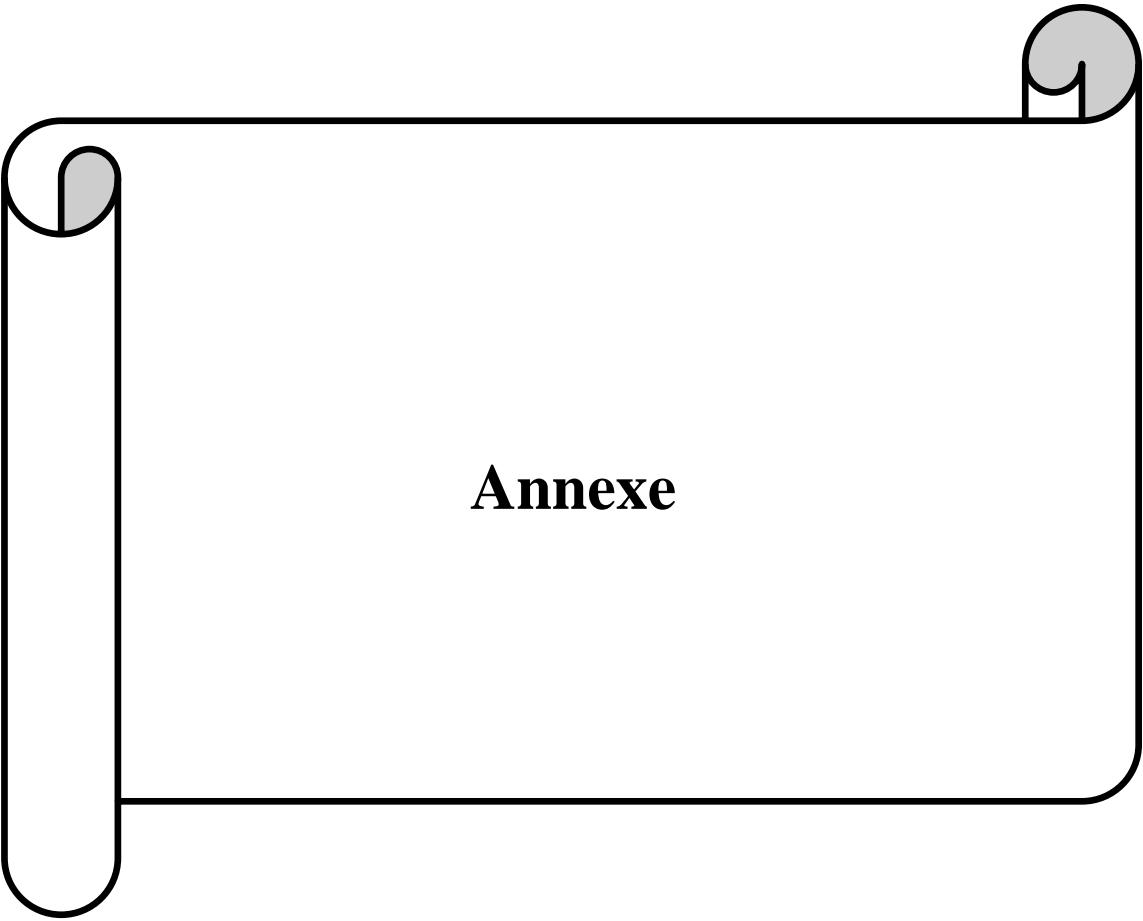


Référence bibliographique

Référence bibliographique

- [1] :-N. Khoderagha, « outil innovant pour la gestion des routes », mémoire de maîtrise en génie de la construction, École de Technologie supérieure, université du Québec, 2019.
- [2] :-A-J. Dokodzo, Étude des dégradations Sur la Route nationale (Sokodé-Alibii, 20 km), Institut de Formation technique supérieur génie Civil, 2013.
- [3] :-Cours_Chaussees.pdf
- [4]:<https://www.wikiterritorial.cnfpt.fr/xwiki/bin/view/vitrine/La%20structure%20de%20la%20chauss%C3%A9e%20>.
- [5] :-Y. Kouadria, Étude de dédoublement d'un Tronçon routier de 6km sur la RN46 du Pk 194+000 au Pk 200+000 (Biskra) », Mémoire de master, Université Mohamed Khider Biskra, 2019.
- [6] :- M. Zaouïa, & W.Tighiouart, Étude de comportement élastique linéaire et non linéaire des chaussées souples par le code de calcul ansys,mémoire master génie civil, Université de M'Hamed Bougera Boumerdes, 2017.
- [7] :- I.Maiguizo Zakaria, les dégradations dans les chaussées souples et les moyens de prévention, étude d'expertise de la RN25 (Draa-El-Mizane), mémoire master génie civil, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2012.
- [8] :-<http://dspace.univ-djelfa.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1259/7—Chapitre%20I.pdf?sequence=7&isAllowed=y>.
- [9] :-Yves BROSSEAUD , Laboratoire centrale des ponts et chaussées, LCPC Structures des Chaussées (Stage PFE : module 1 - les 12 et 13 mars 2003).
- [10] :-M. CHOUKRI&N. BAITICHE, Valorisation de sable de dune traité aux liants hydraulique et la poudrette de caoutchouc des pneus usés en technique routière, mémoire génie civil, Master Académique, Université Ziane Achour de Djelfa, 2017.
- [11] :- www.slideserve.com.
- [12] :-K. Lahouadji &A. Hebbel, Méthodologie de diagnostic et de renforcement des pistes Aéronautiques, exemple Aérodrome de Hassi R'mel », mémoire master génie civil, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2018.
- [13] :-D. Balsamine, Le comportement élasto-plastique des interfaces cas des chaussées Modélisation d'un essai de double cisaillement, magister en génie civil, Université El Hadj Lakhdar Batna, 2011.

- [14] :-B.Meriem Étude D'expertise Des Dégradations De Chaussée : Essais Expérimentaux
- [15] :- CTTP (organisme national de contrôle technique des travaux publics, catalogue de Dégradation de chaussées Avril 1997
- [16] :- A. Amani, Modèle de chaussée routière, Mémoire master Génie Mécanique, Université de Blida, 2017
- [17] :-K Ibrahima& L. CISSE, A.A.T.R « Élaboration d'un catalogue des dégradations des Chaussées au Sénégal, projet de fin d'étude, Ingénierat en génie civil, Université de Dakar, Sénégal, 2009.
- [18] :-M. Aissaoui, Pathologie des ouvrages, cas des dégradations des chaussées aéronautiques du Sud algérien, mémoire magister en Génie Civil, Université de Mostaganem, 2009.
- [19] :- Ti256 – vieillissement, pathologies et réhabilitation du bâtiment réf. Internet : 42240
- [20] :- Décret exécutif n° 04-381 du 15 Chaoual 1425 correspondant au 28 novembre 2004 Fixant les règles de la circulation routière (Art 105- Art 106)
- [21] :- Rapport de comptage menée en mois de Février 2023 par le CTTP.
- [22] :- Catalogue de Dimensionnement de la chausse neuve (Organisme Nationale de Contrôle Technique des Travaux Publics)
- [23]:- N. HOUAS- étude du renforcement et détermination des caractéristiques géométriques de la rn46 m'silla
- [24]:- Rapport-Final-d-Expertise-de-La-RN194
- [25]:- Diagnostic et conception des renforcements de chaussées (Guide technique version du 30_07_07).
- [26]:- Le logical ELMOD 6 (Evaluation of Layer Module and Overlay Design).
- [27]:-Le logiciel ALIZE



Annexe

Tableau III- 28 : comptages de classification de véhicules en annexe [21]

TYPE CAMION	P11	P12	T11 S1	T11 S2	T11 S3	T12 S4	T12 S2	T12 S3	T12 S4	TOTAL
NOMBRE PL PES	2	3	0	3	0	0	0	0	0	8
NOMBRE RECENSE	7	21	0	5	0	0	0	0	0	33
TAUX (%)	29%	14%	0%	60%	0%	0%	0%	0%	0%	24%

Tableau III- 29 : Répartition par classe de poids total des camions[21]

CLASSE DE PODS (TONNES)	NOMBRE	% POURCENTAGE
0-4	0	0,0%
4-8	1	12,5%
8-12	0	0,0%
12-16	1	12,5%
16-20	0	0,0%
20-24	0	0,0%
24-28	0	0,0%
28-32	2	25,0%
32-36	2	25,0%
36-40	1	12,5%
40-44	1	12,5%
44-48	0	0,0%
48-52	0	0,0%
52-56	0	0,0%
56-60	0	0,0%
> 60	0	0,0%

TOTAL	8	100,0%
--------------	----------	---------------

Sur les 08 camions pesés, aucun n'est en surcharge

Tableau III- 30 : Répartition par classe de poids des essieux. [21]

CLASSE DE PODS (TONNES)	NOMBRE	% POURCENTAGE
0-1	0	0,0%
1-2	0	0,0%
2-3	1	4,0%
3-4	1	4,0%
4-5	0	0,0%
5-6	2	8,0%
6-7	3	12,0%
7-8	5	20,0%
8-9	1	4,0%
9-10	2	8,0%
10-11	0	0,0%
11-12	1	4,0%
12-13	7	28,0%
13-14	2	8,0%
14-15	0	0,0%
15-16	0	0,0%
16-17	0	0,0%
17-18	0	0,0%
18-19	0	0,0%
19-20	0	0,0%
TOTAL	25	100,0%

Sur les essieux pesés, le nombre des essieux pesé dont le poids de l'essieu dépasse le maximum autorisé (13 tonnes) est de 02 soit 8%.

Tableau III- 31 : Répartition des surcharges par type des camions[21]

TYPE CAMIO N	NOMBR E	Répartitio n	CA M	% SURCHARG E	COMPTAGE MANUEL PL NOMBRE	% POURCENTAG E
P11	2	25,0%	0.01	0,0%	7	21,0%
P12	3	38,0%	1.49	100,0%	21	64,0%
T11S1	0	0,0%	0.00	0,0%	0	0,0%
T11S2	3	38,0%	0.94	67,0%	5	15,0%
T11S3	0	0,0%	0.00	0,0%	0	0,0%
T12S1	0	0,0%	0.00	0,0%	0	0,0%
T12S2	0	0,0%	0.00	0,0%	0	0,0%
T12S3	0	0,0%	0.00	0,0%	0	0,0%
T12S4	0	0,0%	0.00	0,0%	0	0,0%
T22S3	0	0,0%	0.00	0,0%	0	0,0%
Autre	0	0,0%	0.00	0,0%	0	0,0%
Total	8	100,0%	0.91	63,0%	33	100,0%

Sur les 08 véhicules pesés, 05 sont en surcharge soit un taux de 63% pour le coefficient d'agressivités moyenne (CAM) , on enregistre une valeur de 091.

Tableau III- 32 : Récapitulation du trafic automatique et manuel de la RN94. [21]

N° POSTE	SENS	TJMA	%PL
POSTE 01	Sens01: SAIDA vers INT RN93	3329	23%
	Sens02: INTR N93 vers SAIDA	3485	25%
POSTE 02	Sens01: INTRN 93 vers INT CW80	2512	26%
	Sens02: INT CW80 vers INT RN93	2598	22%
POSTE 03	Sens01: INT CW80 vers SAIDA	1596	14%
	Sens02: SAIDA vers INT CW80	1742	09%

Tableau III- 33 : Réseau principal de niveau 1.[22]

Réseau principal de niveau 1 (RPI) Il comporte des :
liaisons supportant un trafic supérieur à 1500 véhicules 1 jour
liaisons reliant deux chef-lieu de wilaya
liaisons présentant un intérêt économique et /ou stratégique
Il s'agit essentiellement d'un réseau composé de routes nationales (RN).

Tableau III- 34 : Structures disponibles dans le Catalogue.[22]

Niveau de réseau principal (RPi)	Matériaux types	Structures types
RP 1	MTB (matériaux traités au bitume)	GB/GB, GB/GNT, GB/TUF, GB/SG
	MTLH (matériaux traités aux liants hydraulique)	GL/GL BCg/GC
RP 2	MNT (matériaux non traités)	GNT/GNT, TUF/TUF, SG/SG,AG/AG
	MTB (matériaux traités au bitume)	SB/SG

Tableau III- 35 : Détermination de la classe de trafic (TPLi) adoptées.[22]

Classe de trafic TPLi RPi	TPL 0	TPL 1	TPL 2	TPL 3	TPL 4	TPL 5	TPL 6	TPL 7
RP1	-	-	-	150 à 300	300 à 600	600 à 1500	1500 à 3000	3000 à 6000
RP2	0 à 50	50 à 100	100 à 150	150 à 300	-	-	-	-

Tableau III- 36 : Synthèses des hypothèses sur la condition de callage.[22]

Structures types	Hypothèses sur le type d'interface
MTB: 1- BB/G B/G B/sol support 2- B B/G B/GNT ou TUF ou SG/sol 3- SB/SG/sol support	Toutes les interfaces sont collées
MTLH: 1- B B/GL/G L/sol support	Toutes les interfaces sont collées
2- BCg/GC/soi supons	interface BCg décollée
MNT: 1- GNT/GNT/sol support 2- TUF/TUF/sol support 3- SG/SG/sol support	Toutes les interfaces sont collées

Tableau III- 37 : Risques adoptés pour le réseau RP1. .[22]

	Classe de trafic (TPLi)	TPL 03	TPL 04	TPL 05	TPL 06	TPL 07
Risque (%)	GB/GB	20	15	10	5	2
	GB/GNT					
	GL/GL	15	10	5	2	2
	BGC/GC	12	10	5	2	2

Tableau III- 38: Choix des températures équivalentes. .[22]

Température équivalente Θéq (°C)	Zone climatique		
	I et II	III	IV
	20	25	30

Tableau III- 39: Devis Quantitative et estimatif

N°	Désignation des travaux	Unité	Quantités	PU	MO NTANT
1-PREPARATION DU TERRAIN					
1.1	Décaissement 25 cm y compris le remaniement de la plateforme et le compactage	M ³	49 050	250.00	12 262 500.00
2-TRAVAUX DE CHAUSSEE					
2.1	Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation en Grave concassée (GNT) sur une épaisseur de 30 cm	M ³	60 000	1500.00	90 000 000.00
2.2	Imprégnation en Cut-Back 0/1 entre GB/GNT	M ²	209 000	100.00	20 900 000.00
2.3	Fourniture et mise en œuvre de la Grave Bitume (GB) sur une épaisseur de 15cm	T	76 550	6500.00	497 575 000.00
2.4	Fourniture et mise en œuvre du Béton Bitumineux Semi Grenue (BBSG) sur une épaisseur de 06 cm y compris la couche d'accrochage entre GB/BB	T	29 500	7500.00	221 250 000.00
3-TRAVAUX DE DÉPENDANCE					
3.1. TRAVAUX SUR ACCOTEMENTS					
3.1.1	Fourniture et mise en œuvre des matériaux non traité pour les accotements	M ³	22 000	1500.00	33 000 000.00
3.1.2	Fourniture et mise en œuvre d'une monocouche pour les accotements	M ²	104 000	500.00	52 000 000.00
3.2. EXPLOITATION DE LA ROUTE					
3.2.1	Fourniture et mise en œuvre des glissières de sécurité métallique	ML	100	6000.00	600 000.00
3.2.2	Peinture en bandes discontinues	M2	67 50	320.00	2 160 000.00

Annexe

3.2.3	Peinture en bandes continues	M2	7 50	340.00	255 000.00
			TOTAL H.T		930 002 500.00
			T.V.A 19 %		176 700 475.00
			TOTAL T.T.C		1 106 702 975.00

ARRET LE PRESENT DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF A LA SOMME DE :

Un Milliard, cent six million, sept cent deux mille, neuf cent soixante quinze dinars et 00 cts