

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية  
فرنسيس جانسون

École Nationale Supérieure des Travaux Publics

Francis Jeanson



## Mémoire

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

## Thème

Etude d'expertise-renforcement d'une partie de la RN 03 au niveau de la commune de Hassi Messaoud, dans la wilaya d'Ouargla, sur un linéaire de 7.5km (02\*02v) par la méthode française.

Présenté par :

- AMAROUCHE Sami.
- OUZIT Zhor.

Encadré par :

- Mme DERRICHE. Z.
- Mr OUCIEF. I.

Promotion 2021 /2022

---

## DEDICACES

A mes parents, qui m'ont donné la conviction que, quoi qu'il arrive, j'aurai toujours au moins deux personnes pour me serrer à la ligne de départ, agiter des pancartes à chaque étape, crier des encouragements aux stops et célébrer à la ligne d'arrivée.

A mes sœurs, Sara, Ryma et Yasmine, qui m'ont supportée durant le bon, le mauvais et les années de prépa. Vous avez cru en moi. Vous m'avez toujours poussée à être et à faire mieux et aimé défiant toute logique. Vous êtes mes héroïnes et mes plus hauts modèles.

A mes meilleurs amis, Amira, Imed et Selma. Je crois sincèrement que vous êtes mes anges gardiens. Je ne serais pas qui je suis et rien n'aurait été possible sans vos visions, encouragements, critiques et soutiens infinis. J'ai hâte de continuer à être émerveillée par vous.

A chaque école qui m'a abrité, chaque professeur qui m'a guidé, chaque employé bienveillant qui a facilité ma formation, chaque étudiant avant, avec ou après moi qui a affiné mes buts et ma soif de connaissance, chaque Bambie m'ayant redéfini la notion de femme forte, chaque inconnu qui m'a souri, et à quiconque m'ayant appris quoi que ce soit sur moi-même ou sur la vie. Vous avez changé mon monde.

Enfin, à tous ceux qui m'ont jeté des pierres, car on nous l'a bien appris à l'ENSTP, tout matériau, si bien traité, sert à paver une route et celle-ci m'a mené à qui je suis aujourd'hui.

### **OUZIT Z'hor**

Je dédie ce modeste travail aux êtres les plus chers à mon cœur :

A mes parents, qui ont su me redonner le sourire après chaque faux pas dans mes études.

A mes deux frères, Lamine et Yanis, qui ont supporté mes sautes d'humeur.

A ma belle-sœur, Yassemine, que je remercie pour ses bons plats de cuisine.

A la mémoire de ma grand-mère maternelle chérie, MAMA Sissa, si elle était là, elle m'aurait fait des youyous ininterrompus.

A ma grand-mère paternelle, MAMA Fifi, que Dieu nous la garde.

A tous mes oncles, mes deux tantes, Naima et Didouche, et à mes ami(e)s Hinda, Yacine et Nakib.

### **AMAROUCHE Sami**

## RESUME

Le projet de renforcement d'une partie de la RN03 représentant une route de 2\*2voies sur un linéaire de 7,5Km au niveau de la commune de Hassi Messaoud dans la Wilaya de Ouargla, a pour but l'amélioration du niveau de service et de la capacité de cette route.

L'étude a été faite par la méthode française, consistant au traitement des caractéristiques de la route (se focalisant pour ce projet sur l'historique, les dégradations, le trafic et la déflexion) pour obtenir, ainsi, deux zones homogènes dans chaque sens de la route ayant des comportements et des niveaux de dégradation similaires.

Des campagnes de carottage et des travaux de modélisation par logiciel ALIZE ont montré un endommagement >100% sur l'ensemble de la structure, confirmant la nécessité d'un décaissement total des couches bitumineuses et de la GNT, et ont permis d'établir, après la réalisation des devis estimatifs de chaque variante possible, la structure optimale, comportant:

- Couche de roulement en Béton Bitumineux Semi Grenu (BBSG) de 06cm.
- Couche de base en Grave Bitume (GB) variant entre les 22 et 24cm.
- Couche de fondation de GNT (GC 0/20) de 15cm.
- Sol support existant en Tuf et Sable Gypseux.

يهدف مشروع تقوية جزء من الطريق الوطني 03 الذي يمثل طريقا مكونا من 2\*2 حارات على خط 7.5 كم على مستوى بلدية حاسي مسعود بولاية ورقلة، إلى تحسين مستوى الخدمة لهذا الطريق.

لذلك أجريت الدراسة بالطريقة الفرنسية التي تمثلت في معاينة خصائص الطريق (مع التركيز في هذا المشروع على التاريخ، التدهور، حركة المرور والانحراف) للحصول على منطقتين متجانستين في كل من اتجاهاتجاهين الطريق مع سلوكيات ومستويات تدهور مماثلة.

أظهرت حملات المعاينة وأعمال نمذجة ببرامج ALIZE أضرارا بنسبة >100% للهيكل بأكمله، مما يؤكد الحاجة إلى إزالة الطبقات البيتومينية و الحصى الغير المعالج، و بعد دراسة مالية لمختلف الهياكل المستطبعة، توقف القرار ليتكون الهيكل المصادق عليه من:

- طبقة تحمل في الخرسانة البيتومينية شبه حبيبية من 06 سم.
- الطبقة الأساسية من الحصى البيتوميني بين 22 و 24 سم.
- طبقة الأساس من الحصى غير المعالج (الحصى المسحوق 20/0) من 15 سم.
- أرضية دعم موجودة في الطف ورمال الجبس.

The project to strengthen a portion of the National Road 03 representing a 2\*2 lane road of 7.5km long, situated in the municipality of Hassi Messaoud in the Wilaya of Ouargla, aims to improve the level of service and capacity of this road.

The study was therefore following the new French method consisting in the analysis of the forensic characteristics of the road (focusing for this project on the history, degradations, traffic and deflection) to obtain, thus, two homogeneous zones in each direction of the road characterize by a similar behavior and levels of degradations.

Coring campaigns and ALIZE software modelling work showed levels of damage >100% on the entire structure, confirming the need for removal of the layers of bituminous materials and UG, and made it possible to establish, after the realization of the cost estimation of each variant, the best structure, which consist of :

- Rolling layer in Bituminous Concrete (SGBC) of 06cm.
- Base layer in Bituminous Gravel (GB) from 22 to 24cm thickness.
- Foundation layer of 15cm Untreated Gravel (CG 0/20).
- Existing support floor in Tuff and Gypsum Sand.

---

## MOTS CLES

Auscultation.  
Chaussées.  
Couches du sol.  
Déflexion.  
Dégradations.  
Dimensionnement.  
Endommagement.  
Essais.  
Expertise.  
Infrastructure.  
Matériaux.  
Mesures.  
Modules du sol.  
Planéité.  
Réhabilitation.  
Renforcement.  
Route Nationale 03.  
Sable gypseux.  
Sahara.  
Sol.  
Structure.  
Trafic.  
Zones homogènes.

---

## REMERCIEMENTS

Un projet de fin d'études est un binôme, des dizaines d'années de travaux, des centaines de pages, des milliers d'heures de recherches, des millions de souvenirs, et l'équivalent d'une vie entière de personnes à remercier.

Tout d'abord, nous remercions Dieu qui nous a montré la voie et donné la force de la traverser.

Nous remercions notre pays, qui nous a donné les moyens de réaliser nos rêves.

Nous remercions nos familles, qui ont nous ont offert des années de sacrifices et une foi inébranlable.

Nous remercions nos encadreurs, Mme DERRICHE et Mr OUCIEF, qui ont montré une infinie patience, disponibilité et volonté de partager leur savoir avec nous. Ce document n'existerait pas sans eux.

Nous remercions, notre école et sa direction, pour tous les efforts fournis pour nous garantir une bonne formation.

Nous remercions chaque professeur, qui a étanché notre soif de savoir, chacun d'eux nous a forgé, éduqué et a aiguisé nos esprits.

Nous remercions les membres du jury, pour l'intérêt avec lequel ils vont évaluer notre travail en permettant de le rehausser et de l'enrichir.

Nous remercions les membres du Département d'Infrastructure de Base de l'ENSTP, qui ont toujours été à l'écoute et nous ont permis d'avoir une formation fluide et beaucoup moins stressante.

Nous remercions tous les employés de l'ENSTP et du CTPP, qui nous ont toujours montré une infinie bienveillance.

Nous remercions nos amis et nos camarades, qui nous ont permis de donner le meilleur de nous-mêmes.

Enfin, nous remercions l'étudiant en nous, à qui nous dirons bientôt au revoir, et qui a su se battre, grandir, faire des erreurs, les corriger et toujours continuer d'avancer rendant tout cela possible.

---

## LISTE DES ABREVIATIONS

AASHTOO : American Association of State Highway and Transportation Officials.

APL : Analyseur de Profil en Long.

BB : Béton Bitumineux.

BBME : Béton Bitumineux à Module Elevé.

BBSG : Béton Bitumineux Semi-Grenu.

CAM : Coefficient d'Agréssivité Moyen.

CBR : California Bearing Ratio.

CEREMA : Centre d'Etudes et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement.

CIS : Centre Industriel Saharien.

CMS : Centres Médico-Sociaux.

CTTP : Contrôle Technique des Travaux Publics.

EME : Enrobé à Module Elevé.

EV : Module Visé.

FL : Fissure Longitudinale.

FMF : Faiénçage à Mailles Fines.

FML : Faiénçage à Mailles Grandes.

FT : Fissure Transversale.

GB : Grave Bitume.

GNT : Grave Non Traité.

GPR : Ground Penetrating Radar.

HWD : Heavy Weight Déflectometer.

IFSTTAR : Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux.

IMS : Inertial Motion Sensor.

IRI : Indice de Rugosité International.

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

MNT : Matériaux Non Traités.

NF : Norme Française.

PK : Point Kilométrique.

---

PL : Poids Lourds.

PR : Point de Référence.

PST : Partie Supérieure des Terrassements.

RN : Route Nationale.

SAETI : Société Algérienne d'ETudes d'Infrastructures

SB : Sable Bitume.

SETRA : Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes

SG : Sable Gypseux.

TEC : Trafic Equivalent Cumulé.

TJMA : Trafic Journalier Moyen Annuel.

TPL : Trafic Poids Lourds.

TVO : Tout Venant d'Oued.

ZH : Zone Homogène.

---

## LISTE DES FIGURES

### CHAPITRE I CONCEPTION ROUTIERE EN MILIEU SAHARIEN.

Figure I.1 Aspect d'un milieu désertique.	p.22
Figure I.2 La stéréoscopie.	p.23
Figure I.3 Exemple d'un essieu simple.	p.25
Figure I.4 Pierre de tuf calcaire.	p.27
Figure I.5 Sable gypseux.	p.28
Figure I.6 Tout venant.	p.28
Figure I.7 Arène granitique.	p.29
Figure I.8 Essaie de résilience.	p.30
Figure I.9 Défectomètre à poids tombant.	p.30
Figure I.10 Essaie de charge à la plaque.	p.31
Figure I.11 Structure d'une chaussée saharienne.	p.32
Figure I.12 Chaussé semi submersibles.	p.36
Figure I.13 Chaussé submersibles.	p.36
Figure I.14 Retro-Fitting Edge Drains.	p.37
Figure I.15 Exemple de signalisation d'une route saharienne.	p.38
Figure I.16 Conception et disposition des Drâas successifs pour dévier la progression du sable dans une autre direction que celle du vent dominant.	p.39

### CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJET.

Figure II.1 Représentation de la RN03.	p.41
Figure II.2 Représentation du Projet.	p.42
Figure II.3 Wilaya d'Ouargla.	p.42
Figure II.4 Commune de Hassi Messaoud.	p.43
Figure II.5 Reliefs de Hassi Messaoud.	p.45
Figure II.6 Carte climatique de l'Algérie.	p.45
Figure II.7 Diagramme ombrothermique de Hassi Messaoud.	p.46
Figure II.8 Rose des vents – Hassi Messaoud-.	p.47
Figure II.9 Répartition des bassins producteurs de gaz et de pétrole en Afrique du Nord.	p.48
Figure II.10 Matériaux disponibles par zone.	p.49

### CHAPITRE III : FONCTIONNEMENT DES CHAUSSEE ROUTIERES.

Figure III.1 Structure de chaussée.	p.50
Figure III.2 Chaussée Souple.	p.52
Figure III.3 Chaussée bitumineuse épaisse.	p.53
Figure III.4 Chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques.	p.54
Figure III.5 Chaussée à structure mixte.	p.55
Figure III.6 Chaussée en béton de ciment.	p.56
Figure III.7 Classification des enrobés bitumineux.	p.57
Figure III.8 Influence de la taille des particules du sol sur la solubilité.	p.60
Figure III.9 Relation entre les teneurs en gypse et en carbonate de calcium dans différents sols de Tunisie, affectés par des croûtes superficielles de gypse.	p.60
Figure III.10 Déshydratation du gypse à température croissante (Weisser et al. In Vieillefon, 1979).	p.61
Figure III.11 Les tassements.	p.66

Figure II.I12 Les affaissements.	p.67
Figure III.13 Les flaches.	p.68
Figure III.14 Les bourrelets.	p.69
Figure III.15 Les tôles ondulées.	p.70
Figure III.16 Les bosses.	p.71
Figure III.17 Les ornières à petit rayon.	p.72
Figure III.18 Les ornières à grand rayon.	p.72
Figure III.19 Les faïençages à mailles larges.	p.73
Figure III.20 Les faïençages à mailles fines.	p.73
Figure III.21 Les fissures paraboliques de glissement.	p.74
Figure III.22 Les fissures longitudinales.	p.75
Figure III.23 Les fissures transversales.	p.76
Figure III.24 Les épaufrures.	p.77
Figure III.25 Les nids de poule.	p.78
Figure III.26 Les pelades.	p.79
Figure III.27 Les plumages.	p.80
Figure III.28 Les désenrobages.	p.81
Figure III.29 Les remontées.	p.82

#### CHAPITRE IV : AUSCULTATION DES CHAUSSEES ROUTIERES.

Figure IV.1 Phases de l'auscultation des chaussées.	p.84
Figure IV.2 Localisation des dégradations du PR0+000 au PR 02+500 –sens aller-.	p.93
Figure IV.3 Localisation des dégradations du PR02+500 au PR 05+000 –sens aller-.	p.93
Figure IV.4 Localisation des dégradations du PR05+000 au PR 07+500 –sens aller-.	p.94
Figure IV.5 Localisation des dégradations entre le PR00+000 et PR 02+500 –sens retour-.	p.100
Figure IV.6 Localisation des dégradations entre le PR02+500 et PR 05+000 –sens retour-.	p.100
Figure IV.7 Localisation des dégradations entre le PR05+000 et PR 07+500 –sens retour-.	p.101
Figure IV.8 Zones homogènes des dégradations – sens aller-.	p.101
Figure IV.9 Etat de gravité des dégradations des zones homogènes – sens aller-.	p.102
Figure IV.10 Zones homogènes des dégradations – sens retour-.	p.102
Figure IV.11 Etat de gravité des dégradations des zones homogènes – sens retour-.	p.103
Figure IV.12 Zone homogène des données historiques de la chaussée.	p.104
Figure IV.13 Structure théorique du corps de chaussée.	p.105
Figure IV.14 Zones homogènes des données du trafic –sens aller-.	p.108
Figure IV.15 Zones homogènes des données du trafic –sens retour-.	p.108
Figure IV.16 Données des zones homogènes du trafic –sens aller-.	p.109
Figure IV.17 Données des zones homogènes du trafic –sens retour-.	p.109
Figure IV.18 Défectographe.	p.112
Figure IV.19 Défectomètre à masse tombante (HWD).	p.113
Figure IV.20 Données de la déflexion traitée par la méthode COST –sens aller-.	p.114
Figure IV.21 Zones homogènes de la déflexion –sens aller-.	p.115
Figure IV.22 Caractéristiques des zones homogènes de déflexion –sens aller-.	p.116
Figure IV.23 Données de la déflexion traitées par méthode COST –sens retour-.	p.116
Figure IV.24 Zones homogènes de la déflexion –sens retour-.	p.117
Figure IV.25 Caractéristiques des zones homogènes de déflexion –sens retour-.	p.117

Figure IV.26 Analyseur de profil en long (APL).	p.119
Figure IV.27 Indice IRI pour différents types de chaussées.	p.119
Figure IV.28 Variation de l'IRI de la planéité –sens aller-.	p.120
Figure IV.29 Variation de l'IRI de la planéité –sens retour-.	p.121
Figure IV.30 Géo-radar.	p.122
Figure IV.31 Données des épaisseurs de la couche de BB –sens aller-.	p.122
Figure IV.32 Données des épaisseurs de la couche de BB –sens retour-.	p.123
Figure IV.33 Dynatest Highway/Runway.	p.124
Figure IV.34 Zones homogènes de l'état de dégradations –sens aller -.	p.125
Figure IV.35 Zones Homogènes du trafic –sens aller-.	p.125
Figure IV.36 Zones Homogènes de la déflexion –sens aller-.	p.125
Figure IV.37 Zones Homogènes globales – sens aller-.	p.126
Figure IV.38 Représentation des zones homogènes globales sur le trajet – sens aller-.	p.126
Figure IV.39 Zones homogènes de l'état de dégradations –sens retour-.	p.127
Figure IV.40 Zones Homogènes du trafic –sens retour-.	p.127
Figure IV.41 Zones Homogènes de la déflexion –sens retour-.	p.127
Figure IV.42 Zones Homogènes globales – sens retour-.	p.128
Figure IV.43 Représentation des zones homogènes globales sur le trajet – sens retour-.	p.128

#### CHAPITRE V : ETUDE GEOTECHNIQUE.

Figure V.1 Déroulement de la campagne de carottage.	p.129
Figure V.2 Localisation des carottes sur les zones homogènes globales et de dégradations –sens aller-.	p.131
Figure V.3 Localisation des carottes –sens aller-.	p.131
Figure V.4 1ère carotte –sens aller-.	p.132
Figure V.5 Faiénçage à mailles fines au PR 1+800.	p.132
Figure V.6 2ème carotte –sens aller-.	p.132
Figure V.7 Faiénçage à mailles larges au PR 3+500.	p.133
Figure V.8 3ème carotte –sens aller-.	p.133
Figure V.9 Faiénçage à mailles larges au PR 5+100.	p.133
Figure V.10 4ème carotte –sens aller-.	p.133
Figure V.11 Faiénçage à mailles larges au PR 7+300.	p.134
Figure V.12 5ème carotte –sens aller-.	p.134
Figure V.13 Localisation des carottes sur les zones homogènes globales et de dégradations –sens retour-.	p.134
Figure V.14 Localisation des carottes –sens retour-.	p.135
Figure V.15 Faiénçage à mailles larges au PR 0+600.	p.135
Figure V.16 1ère carotte –sens retour-.	p.135
Figure V.17 Faiénçage à mailles larges au PR 1+100.	p.136
Figure V.18 2ème carotte –sens retour-.	p.136
Figure V.19 3ème carotte –sens retour-.	p.136
Figure V.20 Fissure transversale au PR 5+500.	p.136
Figure V.21 4ème carotte –sens retour-.	p.136
Figure V.22 Faiénçage à mailles fines au PR 7+200.	p.137
Figure V.23 5ème carotte –sens retour-.	p.137

---

## CHAPITRE VI : MODELISATION ET DIAGNOSTIC.

Figure VI.1 Répartition des charges pour une interface collée avec l'hypothèse de Burmister.	p.143
Figure VI.2 Répartition des charges pour une interface décollée avec l'hypothèse de Burmister.	p.143
Figure VI.3 Modélisation du module des couches de la structure de la ZH01 –sens aller- par ALIZE.	p.145
Figure VI.4 Modélisation du module des couches de la structure de la ZH02 –sens aller- par ALIZE.	p.145
Figure VI.5 Modélisation du module des couches de la structure de la ZH01 –sens retour- par ALIZE.	p.146
Figure VI.6 Modélisation du module des couches de la structure de la ZH02 –sens retour- par ALIZE.	p.147
Figure VI.7 Données des zones homogènes du trafic -sens aller-.	p.149
Figure VI.8 Modélisation des déformations de la chaussée de la ZH01 –sens aller- dans la phase 1 du projet par ALIZE.	p.151
Figure VI.9 Modélisation des déformations de la chaussée de la ZH01 –sens aller- dans la phase 2 du projet par ALIZE.	p.151
Figure VI.10 Modélisation des déformations de la chaussée de la ZH02 –sens aller- dans la phase 1 du projet par ALIZE.	p.153
Figure VI.11 Modélisation des déformations de la chaussée de la ZH02 –sens aller- dans la phase 2 du projet par ALIZE.	p.153
Figure VI.12 Données des zones homogènes du trafic -sens retour-.	p.154
Figure VI.13 Modélisation des déformations de la chaussée de la ZH01 –sens retour- dans la phase 1 du projet par ALIZE.	p.156
Figure VI.14 Modélisation des déformations de la chaussée de la ZH01 –sens retour- dans la phase 2 du projet par ALIZE.	p.156
Figure VI.15 Modélisation des déformations de la chaussée de la ZH02 –sens retour- dans la phase 1 du projet par ALIZE.	p.158
Figure VI.16 Modélisation des déformations de la chaussée de la ZH02 –sens retour- dans la phase 2 du projet par ALIZE.	p.158

## CHAPITRE VII : CONCEPTION DES SOLUTIONS.

Figure VII.1 Abaque des épaisseurs de la chaussée en fonction de l'Indice de groupe et du trafic.	p.162
Figure VII.2 Modélisation des déformations de la structure existante sur la ZH01 –sens aller- par ALIZE.	p.166
Figure VII.3 Modélisation du dimensionnement de la chaussée BBSG/GB de la ZH01 –sens aller- par ALIZE.	p.167
Figure VII.4 Dimensionnement de la chaussée BBSG/GB dans la zone homogène 01 – sens aller-.	p.167
Figure VII.5 Modélisation du dimensionnement de la chaussée BBME/EME de la ZH01 –sens aller- par ALIZE.	p.168
Figure VII.6 Dimensionnement de la chaussée BBME/EME dans la zone homogène 01 – sens aller-.	p.168

---

Figure VII.7 Modélisation des déformations de la structure existante sur la ZH02 –sens aller- par ALIZE.	p.169
Figure VII.8 Modélisation du dimensionnement de la chaussée BBSG/GB de la ZH02 –sens aller- par ALIZE.	p.170
Figure VII.9 Dimensionnement de la chaussée BBSG/GB dans la zone homogène 02 –sens aller-.	p.170
Figure VII.10 Modélisation du dimensionnement de la chaussée BBME/EME de la ZH02 –sens aller- par ALIZE.	p.171
Figure VII.11 Dimensionnement de la chaussée BBME/EME dans la zone homogène 02 – sens aller-.	p.171
Figure VII.12 Modélisation des déformations de la structure existante sur la ZH01 –sens retour- par ALIZE.	p.172
Figure VII.13 Modélisation du dimensionnement de la chaussée BBSG/GB de la ZH01 –sens retour- par ALIZE.	p.173
Figure VII.14 Dimensionnement de la chaussée BBSG/GB dans la zone homogène 01 –sens retour-.	p.174
Figure VII.15 Modélisation du dimensionnement de la chaussée BBME/EME de la ZH01 –sens retour- par ALIZE.	p.174
Figure VII.16 Dimensionnement de la chaussée BBME/EME dans la zone homogène 01 –sens retour-.	p.175
Figure VII.17 Modélisation des déformations de la structure existante sur la ZH01 –sens retour- par ALIZE.	p.176
Figure VII.18 Modélisation du dimensionnement de la chaussée BBSG/GB de la ZH02 –sens retour- par ALIZE.	p.176
Figure VII.19 Dimensionnement de la chaussée BBSG/GB dans la zone homogène 02 –sens retour-.	p.177
Figure VII.20 Modélisation du dimensionnement de la chaussée BBME/EME de la ZH02 –sens retour- par ALIZE.	p.177
Figure VII.21 Dimensionnement de la chaussée BBME/EME dans la zone homogène 02 – sens retour-.	p.178
Figure VII.22 Dimensionnement de la chaussée BBSG/GB –sens aller-.	p.179
Figure VII.23 Dimensionnement de la chaussée BBSG/GB –sens retour-.	p.179
Figure VII.24 Dimensionnement de la chaussée BBME/EME–sens aller-.	p.180
Figure VII.25 Dimensionnement de la chaussée BBME/EME–sens retour-.	p.180

## CHAPITRE VIII : REALISATION DES TRAVAUX.

Figure VIII.1 les buses en béton.	p.188
Figure VIII.2 Les regards de raccordement.	p.188
Figure VIII.3 Système d'évacuation des eaux superficielles (cunettes-avaloirs).	p.188
Figure VIII.4 Les systèmes unitaires d'évacuation.	p.189
Figure VIII.5 Signalisation horizontale.	p.190
Figure VIII.6 Les lignes longitudinales axiales et les lignes de rives.	p.190
Figure VIII.7 Les lignes transversales.	p.190
Figure VIII.8 Exemple de signalisation verticale.	p.191
Figure VIII.9 Panneau de danger attention travaux.	p.192

---

---

CHAPITRE IX : PRESCRIPTIONS TECHNIQUES.

Figure IX.1 Dimensionnement de la chaussée BBSG/GB –sens aller-.	p.205
Figure IX.2 Dimensionnement de la chaussée BBSG/GB –sens retour-.	p.205

---

## LISTE DES TABLEAUX

### CHAPITRE I CONCEPTION ROUTIERE EN MILIEU SAHARIEN.

Tableau I.1 Poids maximum des essieux aux États-Unis.	p.25
Tableau I.2 Répartition du trafic PL sur la voie la plus lente.	p.26
Tableau I.3 Facteur de répartition des voies.	p.26
Tableau I.4 Caractéristiques des gravillons des enrobés à froid.	p.32
Tableau I.5 Fuseau granulométrique des enrobés ouverts a froids.	p.33
Tableau I.6 Caractéristiques des gravillons des enduits superficiels.	p.34
Tableau I.7 Dosage de l'enduit superficiel.	p.35

### CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJET.

Tableau II.1 Données Climatique de Hassi Messaoud.	p.46
--	------

### CHAPITRE III : FONCTIONNEMENT DES CHAUSSEE ROUTIERES.

Tableau III.1 Les classes granulaires.	p.57
Tableau III.2 Paramètre D pour le tassement.	p.67
Tableau III.3 Paramètre D pour l'affaissement.	p.68
Tableau III.4 Paramètre D pour les flaches.	p.68
Tableau III.5 Paramètre D pour les bourrelets.	p.69
Tableau III.6 Paramètre D pour les tôles ondulées.	p.70
Tableau III.7 Paramètre D pour les bosses.	p.71
Tableau III.8 Paramètre D pour les ornières.	p.72
Tableau III.9 Paramètre D pour les faïençages.	p.73
Tableau III.10 Paramètre D pour les fissures paraboliques de glissement.	p.74
Tableau III.11 Paramètre D pour les fissures fines.	p.75
Tableau III.12 Paramètre D pour les fissures longitudinales.	p.76
Tableau III.13 Paramètre D pour les fissures transversales.	p.76
Tableau III.14 Paramètre D pour les épaufrures.	p.77
Tableau III.15 Paramètre D pour les nids de poule.	p.78
Tableau III.16 Paramètre D pour les pelades.	p.79
Tableau III.17 Paramètre D pour les plumages.	p.80
Tableau III.18 Paramètre D pour les désenrobages.	p.81

### CHAPITRE IV : AUSCULTATION DES CHAUSSEES ROUTIERES.

Tableau IV.1 Les dégradations du projet -sens aller-.	p.85
Tableau IV.2 Les dégradations du projet -sens retour-.	p.94
Tableau IV.3 Géométrie de l'infrastructure -sens aller-.	p.105
Tableau IV.4 Géométrie de l'infrastructure -sens retour-.	p.106
Tableau IV.5 Définition des classes de trafic.	p.109
Tableau IV.6 Classe du trafic RPi en fonction du TPLi.	p.110
Tableau IV.7 TPLi du projet pour les différentes zones homogènes.	p.111
Tableau IV.8 TECi du projet.	p.111
Tableau IV.9 Classes de déflexion caractéristique pour les chaussées souples.	p.115
Tableau IV.10 Seuils spécifiques de l'IRI.	p.120

---

## CHAPITRE IV : ETUDE GEOTECHNIQUE.

Tableau V.1 Classification de la qualité des interfaces.	p.130
Tableau V.2 Classification de l'état des matériaux carottés pour les chaussées souples.	p.137
Tableau V.3 Caractéristiques des carottes –sens aller-.	p.138
Tableau V.4 Caractéristiques des carottes –sens retour-.	p.138
Tableau V.5 Caractéristique des carottes globales –sens aller-.	p.139
Tableau V.6 Caractéristique des carottes globales –sens retour-.	p.139
Tableau V.7 Valeur de K pour la correction de la déflexion.	p.140
Tableau V.8 les déflexions corrigées –sens aller-.	p.140
Tableau V.9 les déflexions corrigées –sens retour-.	p.140
Tableau V.10 Modules des matériaux bitumineux pour la modélisation.	p.141
Tableau V.11 Module des matériaux bitumineux de la chaussée –sens aller-.	p.141
Tableau V.12 Module des matériaux bitumineux de la chaussée –sens retour-.	p.141

## CHAPITRE VI : MODELISATION ET DIAGNOSTIC.

Tableau VI.1 Caractéristique mécaniques des MNT.	p.144
Tableau VI.2 Modules de la structure de la chaussée selon le catalogue de dimensionnement.	p.144
Tableau VI.3 Module des matériaux non liés en MPa.	p.144
Tableau VI.4 Déflexion corrigée –sens aller-.	p.145
Tableau VI.5 Module des matériaux de structure par calcul inverse –sens aller-.	p.146
Tableau VI.6 Déflexion corrigée –sens retour-.	p.146
Tableau VI.7 Module des matériaux de structure par calcul inverse –sens retour-.	p.147
Tableau VI.8 Paramètres de calcul des dommages pour le GB.	p.148
Tableau VI.9 Paramètres de calcul des dommages pour le Sol Support.	p.148
Tableau VI.10 $ne_{subit}$ de la zone homogène 01 –sens aller-.	p.150
Tableau VI.11 $NE_{durée\ du\ vie}$ de la zone homogène 01 –sens aller-.	p.151
Tableau VI.12 Taux de dommage de la zone homogène 01 –sens aller-.	p.152
Tableau VI.13 $ne_{subit}$ de la zone homogène 02 –sens aller-.	p.152
Tableau VI.14 $NE_{durée\ du\ vie}$ de la zone homogène 02 –sens aller-.	p.153
Tableau VI.15 Taux de dommage de la zone homogène 02 –sens aller-.	p.154
Tableau VI.16 $ne_{subit}$ de la zone homogène 01 –sens retour-.	p.155
Tableau VI.17 $NE_{durée\ du\ vie}$ de la zone homogène 01 –sens retour-.	p.156
Tableau VI.18 Taux de dommage de la zone homogène 01 –sens retour-.	p.157
Tableau VI.19 $ne_{subit}$ de la zone homogène 02 –sens retour-.	p.157
Tableau VI.20 $NE_{durée\ du\ vie}$ de la zone homogène 02 –sens retour-.	p.158
Tableau VI.21 Taux de dommage de la zone homogène 02 –sens retour-.	p.159

## CHAPITRE VII : CONCEPTION DES SOLUTIONS.

Tableau VII.1 Equivalence des matériaux - méthode CBR-.	p.161
Tableau VII.2 Coefficients a, b, c, d de l'indice de groupe.	p.161
Tableau VII.3 Epaisseur de la couche de fondation Ecf (cm).	p.162
Tableau VII.4 Classe de sol-support.	p.163
Tableau VII.5 Epaisseurs des couches de forme pour amélioration de la portance du sol.	p.163

---

Tableau VII.6 Les zones climatiques de l'Algérie et leur température équivalente.	p.164
Tableau VII.7 Risques adoptés pour le réseau RP1 pour les chaussée GB/GB, GB/GNT...	p.164
Tableau VII.8 Caractéristiques des matériaux bitumineux.	p.164
Tableau VII.9 Caractéristiques du sol support.	p.164
Tableau VII.10 Sollicitations admissibles zone homogène 01 –sens aller-.	p.166
Tableau VII.11 Sollicitation de la chaussée renforcée dans la zone homogène 01 –sens aller-.	p.169
Tableau VII.12 Sollicitations admissibles zone homogène 02 –sens aller-.	p.169
Tableau VII.13 Sollicitation de la chaussée renforcée dans la zone homogène 02 –sens aller-.	p.172
Tableau VII.14 Sollicitations admissibles zone homogène 01 –sens retour-.	p.172
Tableau VII.15 Sollicitation de la chaussée renforcée dans la zone homogène 01 –sens retour-.	p.175
Tableau VII.16 Sollicitations admissibles zone homogène 02 –sens retour-.	p.175
Tableau VII.17 Sollicitation de la chaussée renforcée dans la zone homogène 02 –sens retour-.	p.178

#### CHAPITRE VIII : REALISATION DES TRAVAUX.

Tableau VIII.1 Etat du dispositif d'assainissement et du drainage du projet.	p.188
Tableau VIII.2 Modulation des lignes de marquage.	p.192
Tableau VIII.3 les dimensions de la signalisation horizontale.	p.193

#### CHAPITRE IX : PRESCRIPTIONS TECHNIQUES.

Tableau IX.1 Calcul des quantités de décaissement–variante 01-.	p.197
Tableau IX.2 Calcul des quantités de décaissement–variante 02-.	p.198
Tableau IX.3 Calcul des volumes de purges à réaliser.	p.198
Tableau IX.4 Calcul des quantités de matériaux –variante 01-.	p.199
Tableau IX.5 Calcul des quantités de matériaux –variante 02-.	p.200
Tableau IX.6 Calcul des quantités de couche d'accrochage et d'imprégnation.	p.201
Tableau IX.7 Devis quantitatif et estimatif –variante 01-.	p.203
Tableau IX.8 Devis quantitatif et estimatif –variante 02-.	p.204

---

## TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE.	p.21
CHAPITRE I : CONCEPTION ROUTIERE EN MILIEU SAHARIEN.	p.22
I.1. Introduction.	p.22
I.2. Spécificités du cadre saharien.	p.22
I.3. Recherche de tracé.	p.23
I.4. Profil en long.	p.23
I.5. Profil en travers type.	p.23
I.6. Etude du trafic.	p.24
I.6.1. Configurations des essieux et des pneus.	p.24
I.6.2. Charges des essieux.	p.25
I.6.3. Répartition du trafic.	p.25
I.7. Les matériaux.	p.27
I.7.1. Types de matériaux.	p.27
I.7.2. Caractéristiques des matériaux.	p.29
I.7.2.1. Essais en laboratoire.	p.29
I.7.2.2. Essais in-situ.	p.30
I.8. Structure.	p.31
I.8.1. Choix de la couche de roulement.	p.32
I.8.1.1. Enrobés à froid.	p.32
I.8.1.2. Enduits superficiels.	p.33
I.8.2. Dimensionnement de la structure de la chaussée.	p.35
I.9. Assainissement.	p.36
I.9.1. Système de drainage.	p.36
I.10. Signalisation.	p.37
I.11. L'ensablement.	p.38
I.10.1. La méthode des 'DRAA'.	p.38
I.10.2. Conseils contre l'ensablement.	p.39
I.12. Conclusion.	p.39
CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJET.	p.41
II.1. Présentation de la RN03 – Localisation de la section du projet.	p.41
II.2. Présentation de la Wilaya d'Ouargla.	p.42
II.3. Présentation de la commune de Hassi Messaoud.	p.43
II.3.1. Historique.	p.43
II.3.2. Géologie régionale et reliefs.	p.44
II.3.3. Climat.	p.45
II.3.4. Ressources hydrauliques.	p.47
II.3.5. Transport.	p.47
II.3.6. Situation socio-économique.	p.47
II.3.7. Matériaux disponibles.	p.48
II.4. Objectifs du projet.	p.49

---

CHAPITRE III : FONCTIONNEMENT DES CHAUSSEES ROUTIERES.	p.50
III.1. Introduction.	p.50
III.2. Présentation de la chaussée.	p.50
III.2.1. Définition de la chaussée.	p.50
III.2.2. Caractéristiques structurelles de la chaussée.	p.50
III.2.3. Les différents types de chaussées.	p.52
III.2.3.1. Les chaussées souples.	p.52
III.2.3.2. Les chaussées bitumineuses épaisses.	p.52
III.2.3.3. Les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques.	p.53
III.2.3.4. Les chaussées à structure mixte.	p.54
III.2.3.5. Les chaussées en béton de ciment.	p.55
III.4.3. Les matériaux de la chaussée.	p.56
III.2.4.1. Enrobé Bitumineux.	p.56
III.2.4.1.1. Composition des enrobés bitumineux.	p.56
III.2.4.1.2. Classification des enrobés bitumineux.	p.57
III.2.4.2. Le sol gypseux.	p.59
III.2.4.2.1. Caractéristiques du sol gypseux.	p.59
III.2.4.2.2. Avantages et Inconvénients des sols gypseux.	p.61
III.2.4.2.3. Utilisation du sol gypseux comme couche de base.	p.62
III.4.4. Les déformations des chaussées.	p.63
III.3. Les facteurs influant sur l'endommagement des chaussées routières.	p.63
III.3.1. Introduction.	p.63
III.3.2. Les facteurs influant sur la dégradation des chaussées.	p.63
III.3.2.1. Facteurs extérieurs.	p.63
III.3.2.1.1. Trafic.	p.63
III.3.2.1.2. Conditions climatiques.	p.63
III.3.2.2. Facteurs liés à la structure.	p.64
III.3.2.3. Facteurs liés aux matériaux.	p.64
III.3.2.3.1. Matériaux non traités.	p.64
III.3.2.3.2. Matériaux bitumineux.	p.64
III.4. Les dégradations des chaussées.	p.64
III.4.1. Les déformations.	p.65
III.4.1.1. Les tassements.	p.66
III.4.1.2. Les affaissements.	p.67
III.4.1.3. Les flaches.	p.68
III.4.1.4. Les bourrelets.	p.69
III.4.1.5. Les tôles ondulées.	p.69
III.4.1.6. Les bosses.	p.70
III.4.1.7. Les ornières.	p.71
III.4.2. Les fissurations.	p.72
III.4.2.1. Les faïençages.	p.72
III.4.2.2. Les fissures paraboliques de glissement.	p.73
III.4.2.3. Les fissures fines.	p.74
III.4.2.4. Les fissures longitudinales et en dents de scie.	p.75
III.4.2.5. Les fissures transversales.	p.76
III.4.2.6. Les épaufrures.	p.77
III.4.3. Les arrachements.	p.77
III.4.3.1. Les nids de poule.	p.77
III.4.3.2. Les pelades.	p.78
III.4.3.3. Les plumages.	p.79

---

---

III.4.3.4. Les désenrobages.	p.80
III.4.4. Les remontées.	p.81
III.5. Conclusion.	p.82
CHAPITRE IV : AUSCULTATION DES CHAUSSEES ROUTIERES.	p.83
IV.1. Introduction.	p.83
IV.2. Principe de l'auscultation des chaussées.	p.83
IV.3. Recueil des informations sur le tronçon d'étude.	p.84
IV.3.1. Dégradations de la chaussée.	p.84
IV.3.1.1. Méthodologie d'inspection et d'évaluation des dégradations de la chaussée.	p.84
IV.3.1.2. Auscultation des dégradations de la chaussée étudiée.	p.84
IV.3.1.2.1. Localisation des dégradations.	p.84
IV.3.1.2.2. Détermination des zones homogènes des dégradations.	p.101
IV.3.2. Historique du projet.	p.103
IV.3.2.1. Application au projet.	p.104
IV.3.3. Le trafic.	p.106
IV.3.3.1. Analyse du trafic.	p.106
IV.3.3.2. Composition du trafic.	p.107
IV.3.3.3. Application sur le projet.	p.107
IV.3.4. La déflexion : déformabilité de la chaussée sous charge.	p.111
IV.3.4.1. Mode d'acquisition de paramètre de déflexion.	p.112
IV.3.4.1.1. Le deflectographe.	p.112
IV.3.4.1.2. Le deflectomètre à masse tombante HWD.	p.112
IV.3.4.2. Méthodes des traitements des données.	p.113
IV.3.4.2.1. La méthode COST.	p.113
IV.3.4.3. Application au projet.	p.114
IV.3.5. La planéité des surfaces.	p.118
IV.3.5.1. Mesure de l'Uni longitudinal.	p.118
IV.3.5.1.1. L'analyseur de profil en long APL.	p.118
IV.3.5.2. Seuils admissibles de l'Uni.	p.119
IV.3.5.3. Application au projet.	p.120
IV.3.6. Régularité des épaisseurs.	p.121
IV.3.6.1. Mode d'acquisition des données.	p.121
IV.3.6.1.1. Le geo-radar.	p.121
IV.3.6.2. Application au projet.	p.122
IV.3.7. L'adhérence de la chaussée.	p.123
IV.3.7.1. Appareils de mesures.	p.123
IV.3.7.1.1. Highway/Runway.	p.123
IV.3.7.2. Application au projet.	p.124
IV.4. Découpage de l'itinéraire des zones homogènes globales.	p.124
IV.5. Conclusion.	p.128
CHAPITRE V : ETUDE GEOTECHNIQUE.	p.129
V.1. Introduction.	p.129
V.2. Sondage.	p.129
V.3. Carottage.	p.129
V.3.1. Procédure de carottage.	p.130
V.3.2. Application sur le tronçon étudié.	p.130
V.3.3. Evaluation des carottes.	p.137

---

---

V.3.4. Etablissement des caractéristiques de la carotte globale représentative de chaque zone homogène.	p.138
V.3.5. Déflexion équivalente des zones homogènes.	p.139
V.3.6. Module des matériaux.	p.141
V.4. Conclusion.	p.141
 CHAPITRE VI : MODELISATION ET DIAGNOSTIC.	 p.142
VI.1. Introduction.	p.142
VI.2. Présentation du logiciel ALIZE.	p.142
VI.3. Détermination des modules des couches de la chaussée par méthode de calcul inverse.	p.143
VI.4. Calcul de l'endommagement.	p.147
VI.3.1. Application au projet.	p.149
VI.5. Conclusion.	p.159
 CHAPITRE VII : CONCEPTION DES SOLUTIONS.	 p.160
VII.1. Introduction.	p.160
VII.2. Les méthodes classiques de dimensionnement.	p.160
VII.2.1. Méthode C.B.R (California Bearing Ratio).	p.160
VII.2.2. Méthode de l'indice des groupes.	p.161
VII.2.3. La méthode du catalogue algérien des structures.	p.162
VII.3. Méthode rationnelle française.	p.164
VII.4. Comparaison et choix de la méthode optimale au projet.	p.165
VII.5. Application au projet.	p.165
VII.6. Conclusion.	p.178
 CHAPITRE VIII : REALISATION DES TRAVAUX.	 p.181
VIII.1. Introduction.	p.181
VIII.2. Travaux préparatoires.	p.181
VIII.2.1. Types de travaux à réaliser.	p.181
VIII.2.2. Procédure des travaux.	p.182
VIII.3. Travaux d'assainissement urbain.	p.187
VIII.3.1. Etat du dispositif d'assainissement et du drainage du projet.	p.187
VIII.3.2. Travaux préconisés.	p.188
VIII.4. Travaux de sécurité et de signalisation routière.	p.190
VIII.4.1. La signalisation horizontale.	p.190
VIII.4.1.1. Les lignes longitudinales axiales et les lignes de rives.	p.191
VIII.4.1.2. Les lignes transversales.	p.191
VIII.4.1.3. Modulation des lignes de marquage au sol.	p.192
VIII.4.2. La signalisation verticale.	p.192
VIII.4.3. Travaux préconisés.	p.192
 CHAPITRE IX : PRESCRIPTIONS TECHNIQUES.	 p.194
IX.1. Introduction.	p.194
IX.2. Définition des prix unitaires.	p.194
IX.3. Calcul des quantités.	p.197
IX.4. Devis quantitatif et estimatif du projet.	p.202
IX.5. Conclusion.	p.205

---

---

CONCLUSION GENERALE.

p.206

BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE.

p.207

---

## INTRODUCTION GENERALE

Les infrastructures de transport, contexte de l'étude, sont un facteur essentiel dans le développement d'un pays. Parmi ces infrastructures, les routes peuvent être considérées comme les veines permettant le bon fonctionnement du système, sa fluidité et même, à un certain degré, sa survie.

Les routes se définissent comme des voies terrestres permettant la circulation des biens et des personnes. Pour garantir un confort et un niveau de service optimal, il est primordial d'assurer, en un premier lieu, la meilleure réalisation à moindre coût, et, plus tard dans sa vie, il faudra veiller à maintenir un bon suivi et, si nécessaire, une bonne réhabilitation de l'infrastructure.

Pour réhabiliter les infrastructures routières, il est nécessaire d'assurer une bonne étude et un bon diagnostic pour pouvoir choisir la meilleure solution possible aux problèmes dont peut souffrir l'infrastructure.

Le projet a été proposé et encadré en partie par l'organisme national de Contrôle Technique des Travaux Publics (CTTP), qui est un Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC), sous la tutelle du ministère des travaux publics et des transports. Le rôle du CTTP consiste à contrôler la conformité en matière de conception et de construction des ouvrages de travaux publics, dans le souci d'assurer leur stabilité et durabilité, en vue de réduire les risques de désordres en la matière et de contribuer à la prévention des différents aléas techniques susceptibles d'être rencontrés dans la réalisation.

Ce document rapporte le projet réalisé dans le cadre du travail de fin d'études d'ingénieur préparé à l'ENSTP. Le travail concerne l'étude du projet de renforcement d'une section de la RN03 situé à Hassi Messaoud, dans la wilaya d'Ouargla, réalisée conformément à la nouvelle méthode française. (CEREMA, 2016)

Le document est structuré en neuf (9) chapitres, dont le premier rapportant sur le côté théorique de la construction au Sahara fait office de chapitre master, suivi d'un chapitre abordant le cadre du projet et présentant son environnement. Le troisième chapitre définit les chaussées et leurs endommagements offrant un bagage de connaissances permettant d'aborder le 4<sup>ème</sup> chapitre qui débute l'auscultation de la chaussée de l'infrastructure objet de l'étude en étudiant ses caractéristiques afin de réaliser des zones homogènes, menant au chapitre 5 qui abordera l'étude géotechnique faite sur ces zones principalement grâce aux compagnes de carottage. Ensuite, le chapitre 6 porte sur la modélisation et le diagnostic de chaque zone homogène pour pouvoir réaliser les variantes possible de dimensionnement (chapitre 7), étudier les travaux supplémentaires à effectuer (chapitre 8) et réaliser les devis permettant d'avoir la variante optimale du dimensionnement et le choix finale de la structure de renforcement (chapitre 9).

## CHAPITRE I CONCEPTION ROUTIERE EN MILIEU SAHARIEN.

### I.1. INTRODUCTION.

L'Algérie est un pays riche en diversité, une grande partie de son territoire se trouve dans la zone saharienne. Et étant donné l'importance des caractéristiques environnementales dans les travaux routiers, il est donc important de maîtriser la conception dans ces zones.

Ce chapitre abordera alors tout ce qui est caractéristique à un milieu saharien du point de vue d'un projet routier et tous les moyens d'à la fois contourner ses problèmes et valoriser ses avantages.

### I.2. SPECIFICITES DU CADRE SAHARIEN.

Les milieux sahariens (Figure I.1) ont, en général, des caractéristiques très spécifiques comparés aux autres zones climatiques. Une grande partie de l'Algérie se trouve dans un tel environnement.

Parmi les éléments les plus importants à prendre en compte lors de la conception routière en zone désertique, il y'a lieu noter :

- Les très grandes distances entre localités.
- La pluviométrie très faible mais la présence d'averses diluviennes (torrentielles).
- Les grands écarts de températures entre le jour et la nuit.
- La fréquence et l'intensité des vents de sable.
- La bonne portance des sols
- Matériaux locaux abondants mais généralement non conformes en regard de la méthode routière classique.
- La faiblesse du trafic et sa forte proportion en poids lourds.

Il est également important de prendre en compte l'impact de ces particularités sur l'aspect économique de tout projet. Une étude budgétaire est alors indispensable pour démontrer la faisabilité de l'aménagement de ces zones. Cependant, Il n'est pas toujours nécessaire de passer par toutes les phases d'étude pour ces routes (étude préliminaire, étude avant-projet sommaire et étude avant-projet détaillé).



Figure I.1 Aspect du milieu désertique.

### **I.3 RECHERCHE DE TRACE.**

La cartographie est une clé importante dans la recherche de tracé. Elle est utile pour localiser les centres de vie, des cours d'eau importants, des zones de stagnation d'eau et des pistes des grands ergs (champ de dunes de sable).

Le choix du couloir optimal du passage de l'infrastructure à réaliser, se fait surtout sur la base de photo aérienne, par stéréoscopie (Figure I.2) qui est l'ensemble des techniques mises en œuvre pour reproduire une perception du relief à partir de deux images planes, étayé par des reconnaissances de terrain détaillées.



**Figure I.2** La stéréoscopie.

L'ingénieur doit penser à minimiser les coûts de transport. Pour cela, on a tendance à tracer des grandes lignes droites avec des vitesses de base de 120 km/h si le relief le permet. Cependant le côté opposé de cet avantage considérable est une liste d'inconvénients (torpeur de jour et d'éblouissement de nuit). On aura donc de nouveaux problèmes à affronter, mais ceux-ci seront généralement résolus grâce à la mise en place de grands rayons, qui ne provoqueront pas de cassures de tracé et n'augmentent que très peu le coût de revient de la route. (M. TAB, 1994)

### **I.4 PROFIL EN LONG.**

Dans la traversée des zones chamelières, la ligne rouge du projet doit araser les crêtes des dunes situées sur l'axe ainsi que celles à proximité. Le relief saharien est généralement constitué de plateaux à différents niveaux, séparés par des pentes presque verticales. Ainsi, pour la pente longitudinale, dans la traversée de ces falaises, elle est, par souci d'économie, souvent nettement supérieure à 6%. Il est, donc, utile d'aménager dans les longues descentes des accès de détresse en contre pente pour les cas de perte de poids lourds. (Texas department of transportation)

La traversée des chotts est, quant à elle, à réaliser avec un remblai suffisant, de manière à ce qu'il n'y ait aucun risque de remontées capillaires dans le corps de chaussée, et ceci en particulier en période des plus hautes eaux. (M. TAB, 1994)

### **I.5 PROFIL EN TRAVERS TYPE.**

Dans les années 60, certaines sections de route ont été construites avec des chaussées à voie unique de 4m et une plateforme de 7 à 8m. Ces chaussées se sont avérées dangereuses car les croisements et les dépassements se faisaient sur les accotements, ce qui entraînait une perte de matière et un abaissement excessif par rapport à la surface revêtue constituant, par conséquent, une véritable marche (dénivelée jusqu'à 20cm) rendant les sorties de la chaussée très

dangereuses surtout la nuit. Par conséquent ces routes économiques à chaussée réduite ont dû être abandonnées.

Les nouvelles routes mise au point par la suite, sont dotées de chaussée de 7m, avec des accotements de 0.50 à 1 m. Cette économie d'accotement est possible au Sahara car le stationnement peut se faire aisément sur le terrain naturel.

Les pentes des talus doivent être douces (1 vertical pour 5 horizontal en remblai et 1 pour 10 en déblai), pour permettre aux particules de sable d'avancer, car les pentes plus abruptes amènent à la création d'obstacles à la route, rendant le dépôt de sable propice. Il est alors nécessaire d'élargir la plateforme dans les zones en déblai et celle de hauts remblais pour éviter l'ensablement et disposer d'un certain temps pour l'intervention des équipes d'entretien. (M. TAB, 1994)

La pente transversale de la chaussée doit être unique au lieu du classique profil en toit inversé pour les avantages suivants :

- Stabilité et confort dynamique : pour doubler, un automobiliste passe de la voie de droite à la voie de gauche pour se rabattre à la fin du dépassement sur la voie de droite.

Sur un profil en toit inversé, l'automobiliste subit deux fois une variation de dévers provoquant un effet de roulis dangereux, par contre sur un profil à pente unique le dépassement s'exécute sur un même plan en toute sécurité et confort.

- Assainissement : pour éviter l'érosion des talus dans les zones de hauts remblais, il est nécessaire d'installer des bordures hautes aux bords de la chaussée pour collecter l'eau, l'acheminer longitudinalement et l'évacuer par des descentes d'eau bétonnées le long des talus.

Sur un profil en toit inversé, ce dispositif est installé des deux côtés de la chaussée alors qu'il n'est nécessaire que d'un seul côté pour le profil à pente unique.

- Elargissement futur : La réalisation d'un élargissement symétrique de part et d'autre sur un profil en travers en toit est compliquée à cause des faibles largeurs à rajouter. Aussi, un élargissement d'un seul côté est aussi problématique car il aboutirait à l'un des inconvénients suivants :

- L'axe n'est plus au milieu de la chaussée et la symétrie recherchée est perdue.
- Le renforcement est surdimensionné d'un côté.

## **I.6 ETUDE DU TRAFIC.**

L'une des principales fonctions d'une chaussée est la répartition des charges. Par conséquent, afin de concevoir adéquatement une chaussée, des caractéristiques de chargement représentatives doivent être évaluées en ce qui concerne le trafic prévu qu'elle rencontrera.

Les charges, c'est-à-dire les forces exercées par les véhicules sur la chaussée, peuvent être influencées par plusieurs paramètres. (TEXAS DEPARTEMENT OF TRANSPORTATION, 2021).

### **I.6.1. Configurations des essieux et des pneus.**

Tant que les charges des pneus se rapprochent, leurs zones d'influence sur la chaussée commencent à se chevaucher, en particulier en profondeur. À ce stade, la caractéristique de conception préoccupante n'est plus la charge de pneu isolée unique, mais l'effet combiné de toutes les charges de pneus. Par conséquent, la disposition des essieux (Figure I.3) et des pneus est très importante.

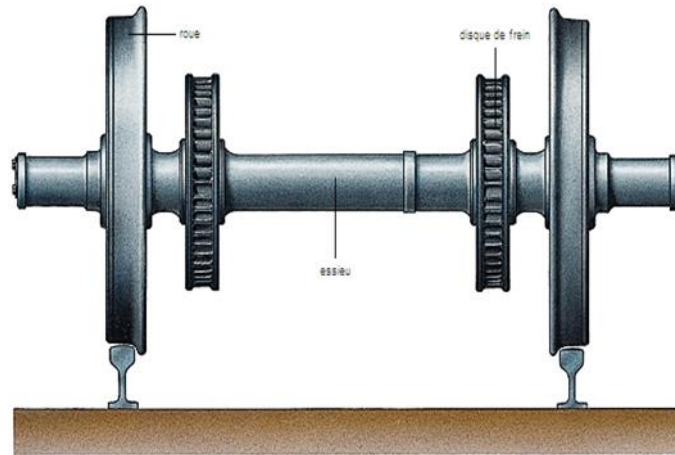


Figure I.3 Exemple d'un essieu simple.

### I.6.2 Charges des essieux.

Pour le réseau routier reliant les grandes agglomérations du Sud, les poids lourds constituent 30 à 50 % du trafic (B. MESROUT, 1994). Cependant, leur composition et la répartition des poids d'essieux sont mal connues (manque de campagne de pesées ou absence totale). On ne dispose pas de statistique effectuée sur la distribution de charge et considère, qu'un camion lourd est équivalent au passage d'un essieu de 13 Tonnes.

Par ailleurs, plus d'études ont été réalisées au niveau international permettant d'avoir plus de spécificité sur la question.

Les lois fédérales et étatiques des États-Unis établissent le poids maximum par essieu et le poids brut du véhicule pour limiter les dommages à la chaussée (tableau 1.1).

Tableau I.1 Poids maximum des essieux en États-Unis.

Type d'essieu	Charge limite (tonnes)
Simple	9.1
Tandem	15.5
Poids brut du véhicule	36.3

Pour la charge des essieux (tr-idem, quad), elle est calculée par la formule suivante : (Texas Department of Transportation, 2021)

$$W = 500 \left( \frac{L \times N}{N - 1} + 12N + 36 \right)$$

Avec :

- W : charge limite (en lbs) que peut supporter un essieu où plus dont le poids se rapproche de 500lbs.
- N : nombre d'essieux.
- L : distance entre les essieux extrêmes (en ft).

### I.6.3 Répartition du trafic.

La répartition du trafic doit être estimée pour une section géométrique de chaussée particulière de la route. Par exemple, sur une autoroute à six voies (3 voies dans chaque sens), le nombre

total de charges peut ne pas être complètement réparti uniformément dans les deux sens, souvent une direction est plus chargée que l'autre.

Dans cette direction, toutes les voies ne portent pas la même charge, on trouve toujours une voie trop chargée car elle est soumise au chargement le plus lourd. Par conséquent, la conception structurale de la chaussée devrait tenir compte de ces types de répartition inégale des charges. Ceci est généralement pris en compte en sélectionnant un « voie de conception » pour une chaussée particulière. Les charges prévues dans la voie de conception sont soit :

- Directement calculées.
- Calculées à partir des charges cumulées dans les deux sens en appliquant des facteurs pour la distribution directionnelle et la distribution des voies.

En Algérie, une répartition normative a été réalisée par le CTTP selon le cas (Tableau 1.2).

**Tableau I.2 Répartition du trafic PL sur la voie la plus lente.**

Type de chaussée	%PL sur la voie la plus lente
Unidirectionnelles à 2 voies	90%
Unidirectionnelles à 3 voies	80%
Bidirectionnelles à 2 voies	50%
Bidirectionnelles à 3 voies	50%

Tout de même, le guide AASHTOO de 1993 propose l'équation de base suivante :

$$W_{18} = DD \times DL \times \underline{W}_{18}$$

Avec :

- $W_{18}$  : trafic (ou charges) dans la voie de conception.
- $DD$  : facteur de répartition directionnelle, exprimé sous la forme d'un rapport, qui tient compte de la répartition des charges par direction.
- $DL$  : facteur de répartition des voies, exprimé sous forme de ratio, tient compte de la répartition des charges lorsque deux voies ou plus sont disponibles dans une direction (Tableau I.3).
- $\underline{W}_{18}$  : charges cumulées dans les deux sens prévues pour une section spécifique de la route au cours de la période d'analyse.

**Tableau I.3 Facteur de répartition des voies.**

Voie de circulation dans une seule direction	Facteur de répartition des voies
1 ou 2	1
3	0.7
4 ou plus	0.6

Sur les grands axes routiers sahariens, l'augmentation du trafic n'est pas homogène. Le trafic peut augmenter ou décroître brutalement suite à la création d'infrastructures industrielles (nouvelles installations d'usines de traitement et pétroles ou autres). Pour cela, on remplace le terme de trafic journalier annuel empruntant la voie la plus chargée par le terme de trafic cumulé

en poids lourds pour adopter une fourchette de  $10^5$  à  $2 \times 10^6$  pour couvrir toute la gamme des passages d'essieux enregistré sur le réseau saharien.

### **I.7 LES MATERIAUX.**

Les sols sahariens étant très diversifiés, il devient indispensable de procéder à des études géotechniques, lors de la création de chaque itinéraire neuf, afin de caractériser convenablement le sol de fondation et évaluer les paramètres essentiels pour le dimensionnement de la chaussée.

Les diverses études géotechniques sur les matériaux sahariens ont permis d'aboutir aux résultats suivants (B.MERSOUT, 1994) :

- Les sols sahariens sont moyennement déformables pour une gamme de modules relativement étroites ( $25 \text{ MPa} < E < 50 \text{ MPa}$ ).
- Les sols sahariens ne se prêtent pas facilement aux classifications internationales, il est difficile de situer un sol de plateforme à l'égard de son comportement dans une descriptive précise (cas des sables gypseux par exemple).
- Les niveaux de portance sont exprimés soit par l'indice portant immédiat à 95% de l'OPM, soit par l'indice de groupes pour les sols assez plastiques excepté pour le sable de dune qui présente un C.B.R entre 7 et 15. L'indice C.B.R le plus fréquent est situé au voisinage de 40.
- En ce qui concerne les déformations élastiques  $E_z$  que subirait le sol de fondation et a défaut des études de fatigue effectués sur sol sahariens, une formule a été retenue pour les concepteurs du catalogue de dimensionnement (CTTP, 2001) :

$$E_z = 22 \times 10^{-3} \times N^{-0.235}$$

#### **I.7.1 Types de matériaux.**

La construction de chaussées au Sahara a été réalisée avec des matériaux locaux de qualité inférieure, car ils ne répondent pas aux spécifications des matériaux granulaires classiques. De manière générale, nous pouvons les classer en quatre grandes familles (T. TLIBA, 1994) :

##### **Les tufs calcaires.**

Provenant d'encroûtements calcaires (Figure I.4). Se présentant le plus souvent sous forme de grave avec une granulométrie étalée, la dureté de ces éléments est inférieure à celle du calcaire ordinaire. Cela est compensé par le phénomène de durcissement de la fraction composée essentiellement de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ).



**Figure I.4 Pierre de tuf calcaire.**

### **Sable gypseux.**

C'est un matériau ayant la granulométrie d'un sable donc complètement dépourvu de squelette solide (Figure I.5). Les particules étant essentiellement de nature gypseuse ( $\text{CaSO}_4$ ), ils sont solubles dans l'eau et cassant lorsqu'elles sèchent. Comme les tufs calcaires, les sables gypseux sont caractérisés par le durcissement après malaxage à l'eau, compactage et séchage ce qui donne au matériau une forte cohésion à sec.



**Figure I.5 Sable gypseux.**

### **Tout venant.**

Au Sahara, on exploite les tout-venants sur les surfaces de reg (paysage rocheux), ils sont en général des graves composées d'éléments anguleux et contenant une fraction fine argileuse ou carbonatée qui leur donne une importante cohésion (Figure I.6).



**Figure I.6 Tout venant.**

### **Arène granitique.**

Ce sont le produit de l'altération de roches éruptives ou métamorphiques, essentiellement le granite. Ils se présentent sous forme de graves, de gros sables ou de matériaux fins. Mais il est à noter, que les éléments sont tellement friables qu'il n'y a pas lieu de considérer ce pseudo squelette, ils tirent donc leur performance exclusivement de la cohésion (Figure I.7).



Figure I.7 Arène granitique.

## I.7.2 Caractéristiques des matériaux.

Pour la conception structurelle des chaussées, une caractérisation précise des modules de couches est souhaitée par des essais en laboratoire ou des essais sur le terrain.

Des tests en laboratoire peuvent être utilisés pour déterminer les paramètres qui affectent les propriétés des matériaux, tels que la sensibilité à l'humidité, le niveau de contrainte, l'amplitude de déformation et le taux de déformation.

Les tests sur le terrain (in-situ) sont plus pratiques car ils peuvent être effectués rapidement et peuvent être utilisés pour tester un grand volume de matériaux à plusieurs emplacements du projet dans son état de contrainte naturel. (Texas département of transportation)

### I.7.2.1 Essais en laboratoire.

#### Sur les matériaux des couches de base et de fondation.

- Essai de résilience : Les matériaux de base et de fondation peuvent être divisés en deux groupes, à grains fins (cohésifs) ou à grains grossiers (sans cohésion ou granuleux).

Les propriétés constitutives des deux matériaux sont définies en fonction de l'état de contrainte qui leur est appliqué. Le modèle est universellement applicable aux matériaux de base et de fondation à grain fin et à grain grossier.

Pour les matériaux non liés, AASHTO T307 est actuellement utilisé pour déterminer le module de résilience.

L'essai est tel que des membranes de latex scellées sont placées autour des échantillons triaxiaux moulés et ensuite placées dans une chambre de pression scellée. L'échantillon et la chambre sont placés sous un mécanisme de chargement. Une pression de confinement constante est appliquée à la membrane lorsque la charge axiale est appliquée dans des impulsions de charge.

Des tests similaires peuvent être effectués sur des matériaux liés.

Le modèle constitutif recommandé est, alors, simplifié peut être exprimé comme suit :

$$M_r = K_1 \times \sigma_d^{K'} \times \sigma_c^K$$

Avec :

- $M_r$  : Module de résilience.
- $\sigma_d$  : Pression déviatorique.
- $\sigma_c$  : Pression de confinement.
- $K_1, K, K'$  : coefficients déterminés à partir des résultats d'essais en laboratoire.

### Sur les matériaux bitumeux.

- Essai de résilience : Le module de l'enrobé à chaud peut être déterminé de plusieurs manières. Le test de laboratoire le plus courant est le l'essai de résilience (Figure I.8). Ces essais peuvent être réalisés soit en compression, soit diamétralement.

Plusieurs paramètres affectent le module des enrobés bitumineux. Les plus importants étant le taux de chargement, la température et le contenu des vides d'air.

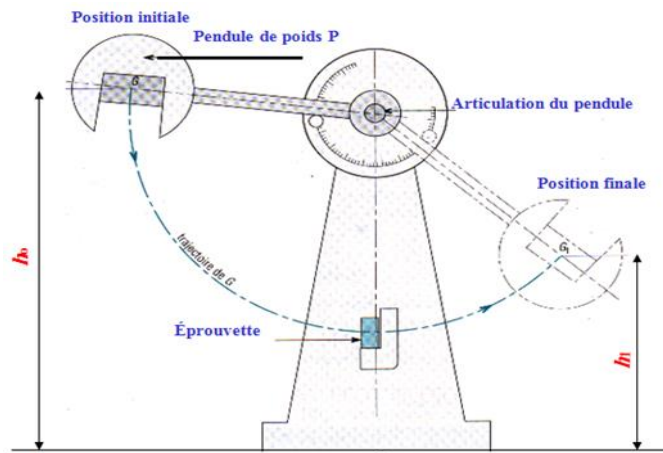


Figure I.8 Essai de résilience.

### I.7.2.2 Essais in-situ.

- Défectomètre à poids tombant (HWD) (Figure 1.9) : c'est le dispositif d'évaluation de terrain (structurel) le plus couramment utilisé. Les mesures de déflexion peuvent être utilisées pour déterminer la rigidité de la couche structurale de la chaussée, le module d'élasticité du sol de fondation et la profondeur de la couche rigide.



Figure I.9 Défectomètre à poids tombant.

- Essai de charge à la plaque : l'essai a pour but de mesurer la résistance à la compression et la capacité portante des sols et des matériaux (Figure 1.10).



Figure I.10 Essai de charge à la plaque.

## I.8 STRUCTURE.

La conception des routes en zone saharienne (Figure 1.11) a tout même de très grands avantages. Ceci est dû à la très faible pluviométrie, facteur favorable pour concevoir une structure de chaussée économique. Cette sécheresse permet généralement de considérer la dernière couche des terrassements comme couche de fondation, le corps de chaussée se résume alors à une couche de base d'une vingtaine de centimètres de matériaux local généralement disponible sur tout le long du chemin.

Ainsi les essais C.B.R, qui permettent d'étudier le compactage des matériaux, sont généralement réalisés à 4 heures d'imbibition au lieu des 4 jours réglementaires adoptées au Nord. De même, l'indice de plasticité accepté au Sud est plus élevé qu'au Nord car on a besoin d'une certaine cohésion et le risque d'élévation de la teneur en eau dans le corps de chaussée est très faible.

Pour les couches de roulement, on privilégie l'enduit superficiel et l'enrobé ouvert, pour leurs grandes souplesses. Les enrobés denses trop rigides deviennent cassants du fait des trop grands écarts cyclique des températures nocturne et diurne (journalière).

Dans les années 60, on réalise une monocouche d'enduit superficiel sur des couches de base avant de livrer l'ouvrage à la circulation durant une année et de réaliser à la fin une autre monocouche ou une bicouche. La mise en service durant une année entière permettait de déceler tous les défauts, ou la majorité, qui étaient alors réparés avant le revêtement définitif pour obtenir une longue vie de la route. (M. TAB, 1994)

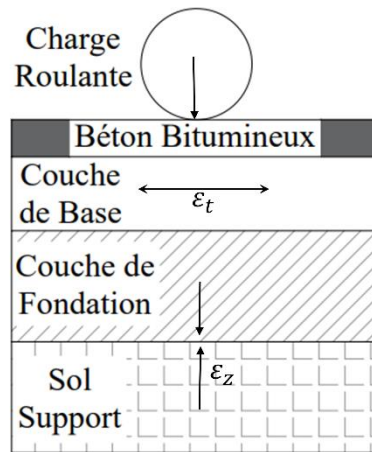


Figure I.11 Structure d'une chaussée saharienne.

### I.8.1 Choix de la couche de roulement.

La construction des routes en milieu désertique est souvent confrontée au problème de disponibilité des ressources en matériaux élaborés et à l'éloignement des itinéraires. Ceci rend obligatoire l'utilisation des matériaux locaux, notamment en couche d'assise de chaussée.

Puisque ils sont très déformables il est obligatoire de réaliser un revêtement souple qui peut se déformer sans se rompre tels que les enrobés à froid et les enduits superficiels. (S. GUELLATI, 2019)

#### I.8.1.1 Enrobés à froid.

Un enrobé à froid est défini comme un mélange de granulat, pour lequel est utilisé une émulsion de bitume, modifié ou pas, dont la préparation finale s'effectue sans chauffage, ni séchage et qui peut être mise en œuvre à température ambiante à froid.

#### Constituants.

- Granulats : Les principales caractéristiques des gravillons pour les enrobés à froid sont normalisées (Tableau I.4).

Tableau I.4 Caractéristiques des gravillons.

Essai.	Norme.	Spécification.
Aplatissement.	NA 5125.	< 15%
Passant 0.5 mm.	NA 2607.	< 1%
Fragmentations de Los Angeles.	NA 5130.	< 26
Usure micro Deval.	NA 5129.	< 21

- Emulsion : L'émulsion utilisée est une émulsion cationique à rupture lente et de teneur en bitume < 65%. Le bitume de base pouvant être un bitume pur de classe 80/100 ou un bitume fluidifié.

#### Types d'enrobés à froid.

- Enrobés denses à froid : c'est des mélanges dont le pourcentage des vides est inférieur à 10%.

- Enrobés semi denses à froid : c'est des mélanges dont le pourcentage des vides est compris entre 10% et 15%.

- Enrobés ouverts à froid : c'est des mélanges contenant suffisamment de vide supérieur à 15%. Ils sont utilisés pour les chantiers éloignés des centrales d'enrobages.

Leur formulation se fait grâce à la composition d'un mélange granulaire de manière à s'inscrire dans fuseau granulométrique spécifique (Tableau I.5), puis au choix d'une teneur en liant de l'ordre de 3 à 4.5% de manière à assurer un enrobage parfait des granulats.

**Tableau I.5 Fuseau granulométrique des enrobés ouverts a froids.**

EOF Tamisât (%)	2/12	2/14	2/16
20	100	100	90 - 100
16	100	100	80 - 100
14	100	90 - 100	65 - 90
12.5	90 - 100	75 - 95	55 - 80
10	80 - 95	60 - 75	40 - 60
8	60 - 80	30 - 60	20 - 40
6.3	30 - 55	15 - 40	10 - 25
2	3 - 9	3 - 7	2 - 5
1	0 - 5	0 - 5	0 - 4
0.08	0 - 2	0 - 2	0 - 2

#### **Comportement observé :**

- Un bon comportement vis-à-vis du trafic.
- La cohésion s'est avérée satisfaisante.
- Pas d'arrachement ni plumage.
- L'uni est correct.

#### **I.8.1.2 Enduits superficiels.**

La couche d'enduit superficiel (dite d'usure) de la chaussée est une couche de roulement mince réalisée sur place, constituée par la superposition alternée d'une ou plusieurs couches de liant hydrocarboné et d'une ou plusieurs couches de gravillons.

#### **Constituants.**

- Granulats : Ils créent la rugosité du revêtement et lui confèrent ses qualités drainantes en surface. Pour cela, les granulats doivent posséder des qualités d'adhésion vis-à-vis de l'agression de la circulation et des agents atmosphériques. Les principales caractéristiques des gravillons pour enduits superficiels sont spécifiées par les normes (Tableau I.6).

**Tableau I.6 Caractéristiques des gravillons.**

Essai.	Norme.	Spécification.
Aplatissement.	NA 5125.	< 15%
Teneur en fines.	NA 2607.	< 0.5%
Passant 0.5 mm.	NA 2607.	< 1%
Fragmentations de Los Angeles.	NA 5130.	< 26
Usure micro Deval.	NA 5129.	< 21

Le choix de la dimension des granulats est principalement conditionné par la structure, l'état du support et les objectifs visés pour l'enduit. En règle générale :

- Gravillons plus gros en cas de trafic lourd et/ou support hétérogène.
- Gravillons plus fins en cas de Trafic faible et/ou support homogène.

- Les liants : L'émulsion de bitume offre l'avantage d'un rapport économique/écologique, elle est fabriquée à partir de la dilution du bitume dans l'eau avec un agent émulsifiant, assurant sa stabilité. Les émulsions utilisées dans la réalisation des enduits superficiels sont à teneur en bitume > 65%.

La viscosité est choisie en fonction du trafic et des conditions climatiques, tel que :

- Liant plus visqueux en cas de trafic lourd et climat chaud.
- Liant moins visqueux en cas de trafic faible et climat froid.

#### **Types d'enduit superficiel.**

On distingue plusieurs structures d'enduits :

- L'enduit monocouche. (L.G)
- L'enduit monocouche double gravillonnage. (L.G.G)
- L'enduit monocouche inverse double gravillonnage. (G.L.G)
- L'enduit bicouche. (L.G.L.G)
- L'enduit tricouche. (L.G.L.G.L.G)

Le choix de la structure est essentiellement conditionné par l'importance du trafic et de l'état du support.

#### **Dosage de l'enduit superficiel.**

Les dosages usuels des enduits superficiels sont donnés en fonction de la structure de l'enduit, de la nature du liant et de la dimension des granulats. (Tableau I.7).

Tableau I.7 Dosage de l'enduit superficiel.

Type d'enduit.	Constituant.	Granularité.	Liant résiduel		Granulat résiduel	
			Kg/m <sup>2</sup> .		litre/m <sup>2</sup> .	
Monocouche L.G		15/25	1.8		15 à 18	
		8/15	1.4		11 à 13	
		3/8	1.0		08 à 10	
				1 <sup>ere</sup> couche.	2 <sup>eme</sup> couche.	
Monocouche double gravillonnage L.G		15/25 – 8/15	1.8		13 à 15	6 à 8
		8/15 – 3/8	1.4		9 à 12	4 à 6
Monocouche inverse double gravillonnage G.Lg		15/25 – 8/15	1.8		12 à 15	7 à 9
		8/15 – 3/8	1.4		9 à 12	4 à 6
			1 <sup>ere</sup> couche.	2 <sup>eme</sup> couche.		
Bicouche L.Gig		15/25 – 8/15	1.0	1.2	15 à 18	11 à 13
		8/15 – 3/8	0.7	1.0	13 à 15	8 à 10

### Comportement observé.

Un bon comportement a été constaté dans l'ensemble sous l'effet combiné des conditions climatiques et de l'agression du trafic en poids lourds, les surfaces sont bien rugueuses, les granulats bien jointifs, stable et bien fixé par le liant.

#### I.8.2 Dimensionnement de la structure de la chaussée.

##### - La couche de surface :

Pour les chemins de wilaya, il est possible de retenir pour cette couche un BB de 4/6cm. Dans la plupart des autres cas, il faudra prévoir un enduit bicouche ou un enrobé ouvert à froid sur 4/5cm.

Pour les grands itinéraires, où il faudra envisager un revêtement en tri couche. (B. MESSROUT, 1994)

##### - La couche de base :

Pour les chemins de wilaya, elle sera dimensionnée conformément au manuel de conception de chaussée. Si le nombre d'essieux est inférieur à 10<sup>5</sup>, on prend 15cm d'épaisseur. Sinon, on prend 20cm d'épaisseur.

Pour les grands itinéraires, on considère pour la couche de base une épaisseur de 20cm eq. GC. (B. MESSROUT, 1994)

##### - La couche de fondation :

Compte-tenu du comportement des chaussées sahariennes sur plus de 20 ans, si on admet que les indices de groupe caractérisent convenablement les sols sahariens, en notant que le dimensionnement par le guide est réaliste, on constate que l'épaisseur requise pour couche de fondation est dans la majorité des cas située vers 15cm. (B. MESSROUT, 1994)

## I.9 ASSAINISSEMENT.

La très faible pluviométrie est favorable pour cet aspect de la construction routière, cependant les averses très violentes pouvant se produire et causer de lourds dégâts au réseau routier, l'ingénieur doit prêter une attention particulière au côté assainissement du projet.

Le rétablissement des écoulements importants sont assurés en générale par des passages submersibles (c'est-à-dire une chaussée qui n'est immergée qu'une partie du temps), les passages semi submersibles réduisent de manière considérable le temps de coupure de la route mais ne sont pas efficaces que dans les oueds non boisés. S'il y a charriage de branchage, le passage se bouche, l'amont est remblayé par les apports solides et l'eau déborde au-dessus de la chaussée (le passage fonctionne en submersibles).

Les ruissèlements localisés sont canalisés dans des buses dont le diamètre ne doit pas être inférieur à un mètre, pour assurer le passage d'un homme pour l'entretien en raison des fréquents ensablements. Il est d'ailleurs important de prendre en compte que, l'entretien coûte cher car il faut déblayer les matériaux déposés à l'amont et découper les branchages enchevêtrés à l'aide d'une scie mécanique pour pouvoir les dégager. (M. TAB, 1994)



Figure I.12 Chaussé semi submersibles.



Figure I.13 Chaussé submersibles.

### I.9.1 Système de drainage.

L'intrusion des eaux dans une structure de chaussée est une source connue de réduction de la durée de vie des routes. Les principes de gestion du drainage pour les structures de chaussée n'ont pas radicalement changé depuis la publication du Guide de conception des structures de chaussée de 1986 par AASHTOO.

Les mesures de drainage sont basées sur le système de collecte et d'évacuation. Ils sont généralement synonymes de caractéristiques de drainage interne ou souterrain de la chaussée (drain souterrain). Ils sont conçus de façon à minimiser l'infiltration des eaux dans le corps de chaussée grâce à des techniques de construction et d'entretien telles que :

- la construction d'une pente transversale de surface adéquate.
- le maintien d'une profondeur de fossé appropriée.
- l'utilisation de matériaux non sensibles à l'humidité.
- scellement de fissures.

La technique de « Retro-Fitting Edge Drains » (Figure 1.14) est utilisée au niveau international (notamment au Texas, Etats-Unis) sur d'anciennes chaussées rigides avec des accotements souples.

Ces structures ont tendance à avoir un joint longitudinal très perméable à l'interface de la chaussée et l'accotement pour résister aux solutions de maintenance de longue durée. Un drain de bordure creusé dans l'accotement de l'interface avec les conduites latérales pour évacuer l'eau de la structure peut être efficace pour réduire ou éliminer le pompage sous la dalle. (Texas département of transportation)

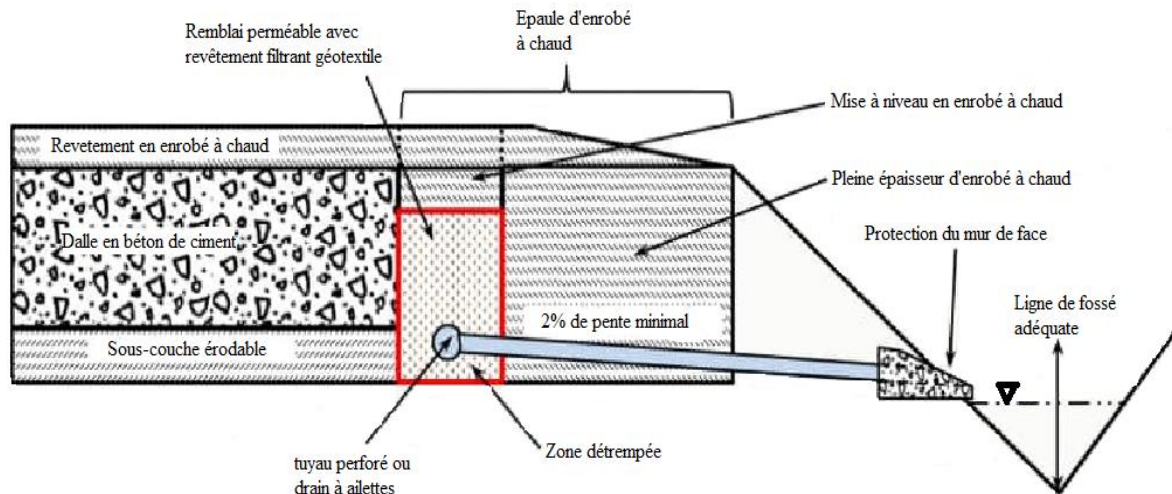


Figure I.14 Retro-Fitting Edge Drains.

## I.10 SIGNALISATION.

La signalisation des routes sahariennes requiert certaines spécificités, on peut les résumer en ce qui suit :

- Balisage latéral des deux côtés de la chaussée dans les passages submersibles pour guider les usagers lors des traversées des oueds en crue.
- Balisage de tous les rayons en plan pour prévenir les conducteurs de la monotonie du site.
- Toujours pour rompre la monotonie, il est d'usage de placer des plaques avec indication de la distance à la prochaine localité tous les 10 km.
- Signaler les zones d'ensablement et de passage de chameaux.
- Par souci d'économie, il est nécessaire de réduire le bornage pour les routes du Sud à une borne kilométrique tous les 5km. (M.TAB, 1994)



Figure I.15 Exemple de signalisation d'une route saharienne.

### 1.11 L'ENSABLEMENT.

En Algérie, l'invasion des infrastructures routières par le sable concerne certaines routes sahariennes, notamment celles qui traversent les deux grands ergs (oriental et occidental). L'effet le plus dévastateur se situe d'abord dans le déplacement de ces énormes masses constituées de petits grains de silices sans aucune cohésion, puis dans leur accumulation par dépôt sur des zones où leur progression est ralentie.

Il n'existe pas actuellement de techniques ou méthode permettant de lutter efficacement contre le phénomène de l'ensablement des voies de communication. On peut tout de même se référer à un certain nombre de recommandation et de règles directives. (F. BOUANANI, 1994)

#### 1.11.1 La méthode des 'DRAA'.

Cette technique de DRAA, spécifique à la région d'El-oued dans le sud-est algérien, a été développée depuis les temps immémoriaux par l'ingéniosité des agriculteurs dans de longs et durs combats pour protéger leurs palmeraies contre le danger quasi permanent du sable éolien qui tend à tout ensevelir sur son passage. (F. BOUANANI, 1994)

Les 'drâa' sont construits en forme d'écran à section triangulaires ou conique à base de sable à talus en pente naturelle et recouverts de matériaux protecteurs pour éviter le transport du sable par le vent.

Pour la protection des routes, ils sont disposés en plates-formes de 10 à 20 m selon sa hauteur, ils sont orientée de manière à dévier le vent pour éviter les dépôts de sable sur la chaussée et faire obstacle aux déplacements des dunes, l'accumulation du sable est pratiquement inexistante du côté sous-vent du drâa (Figure I.16).

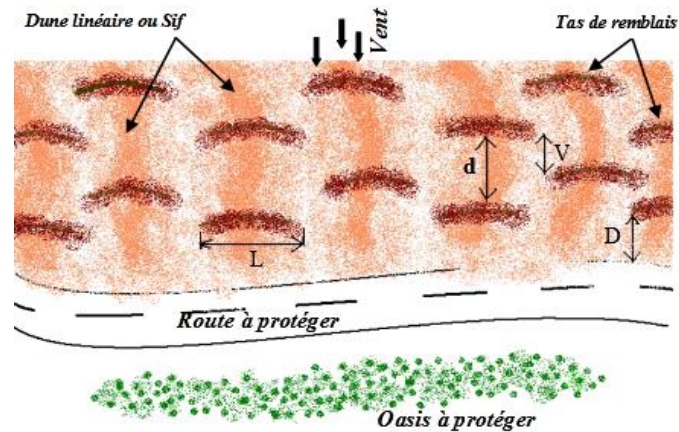


Figure I.16 Conception et disposition des Drâas successifs pour dévier la progression du sable dans une autre direction que celle du vent dominant.

La direction des travaux publics de la wilaya d'el-oued s'est lancée, à sa propre initiative et avec la collaboration de quelques fellah spécialistes, dans la réhabilitation de cette méthode sur certains tronçons de la route nationale 48 (el-oued – Sill) et la RN 16 (el-oued – Taleb el-arbi ; el-oued – Touggourt), le résultat a été observé en 1992 sur la section de la RN 16, les avantages ont été les suivants après une année d'observation :

- Il n'y a pas eu d'ensablement immédiat sous l'action du vent, donc la circulation est assurée.
- L'intervention des engins s'est faite après les tempêtes de sable ce qui préserve nos moyens des dangers du sable sur la mécanique.
- Ces interventions ont été réduites à 1/4 (réduction sur les charges d'entretien).
- Préservation des accotements et diminution des risques d'accidents.

### 1.11.2 Conseils contre l'ensablement.

Les recommandations ci-dessous constituent des conseils à respecter lors de la conception des routes en zones dunaires permettant de réduire les risques d'ensablement (N. KEBAILI et N. MOUDJAHED, 2010) :

- Concevoir un tracé en plan et un profil en long épousant le terrain naturel.
- Suivre le terrain en léger remblai, en évitant les dunes et en restant parallèle à leur direction générale.
- Eviter les champs des dunes mobiles.
- Neutraliser autant que possible les dunes de part et d'autre du tracé, en les déblayant ou en les utilisant un emprunt.
- Prévoir de vastes sur-largeurs de plate-forme pour maintenir la circulation en cas d'ensablement partiel.
- Sur les remblais élevés prévoir des dévers unique et des rayons en plan suffisamment grands.
- Eviter de perturber trop l'écoulement du vent.

### I.12 CONCLUSION.

Un bref aperçu a été donné dans ce chapitre sur les spécifiés des techniques de conceptions routières en milieu saharien.

Le comportement mécanique des chaussées sahariennes, spécifiées par suite de leur situation dans un contexte climatique aride ou semi-aride et dont le corps de chaussée est composé de

matériaux non classiques, devrait être lié dans une large mesure, en plus de la conception des structures (dimensionnement adopté, disposition constructives, modalités de mise en œuvres ...), aux conditions de pluviométrie, thermique.

L'ensablement, étant un aspect très important qui concerne non seulement le constructeur des routes et voies ferrés mais aussi l'agronome, l'urbaniste, l'industriel, le météorologiste, le géographe, il exige pour sa maîtrise plusieurs années de recherche et d'expérimentation du fait que la nature satisfait toujours des caprices spéciaux et recouvre à chaque fois ses droits et son équilibre.

## CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJET.

### II.1 PRESENTATION DE LA RN03 – LOCALISATION DE LA SECTION DU PROJET.

La section de route, objet de ce travail, se trouve au niveau du passage de la RN03 par la commune de Hassi Messaoud.

La route nationale (RN3 ou N3) est un axe Nord-Sud long de 2 120 km qui relie Skikda au Nord et Djanet au Sud. Débutant, ainsi, au bord de la mer Méditerranée pour prendre fin au cœur du désert dans le Tassili. Elle a été réalisée en 1864 sous l’administration coloniale. (Figure II.1)

La section de l’infrastructure, objet de cette étude, est constituée par la partie de la RN03 qui traverse la commune de Hassi Messaoud entre le PK 706+200 et le PK 713+200.

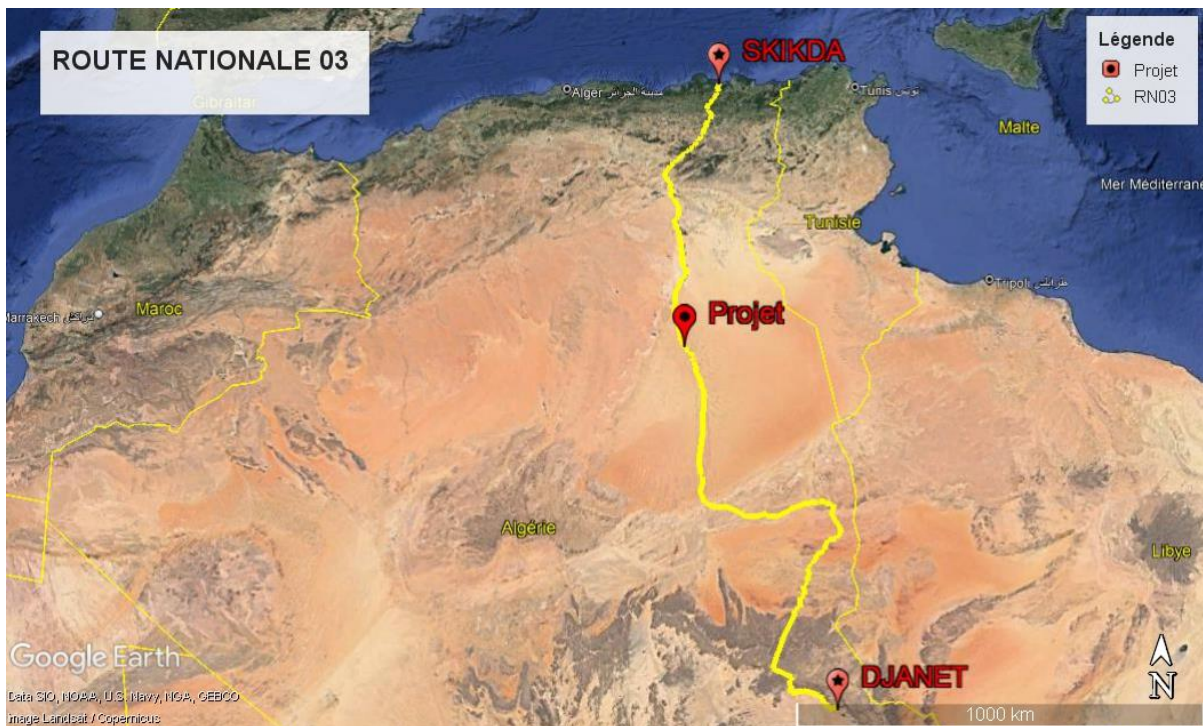


Figure II.1 Représentation de la RN03

Le projet de ce PFE, concerne l’étude d’expertise de la chaussée dégradée sur le tronçon de la RN03 s’étalant du PK 706+200 à PK 713+200 au niveau de la commune de Hassi Messaoud, en vue de la conception d’un renforcement, sur un linéaire total de 7.5 kms (Figure II.2). Le projet s’étend entre le carrefour de 24 Février et le carrefour des puits historiques.

Pour ce projet, il a été favorisé d’utiliser des points de références sur le projet. Le carrefour 24 Février a, donc, été établi comme étant un PR0+000 et le carrefour des puits historiques comme PR7+500, ceci est fait à la demande du maître d’ouvrage pour faciliter la compréhension du projet et la réalisation de l’étude.

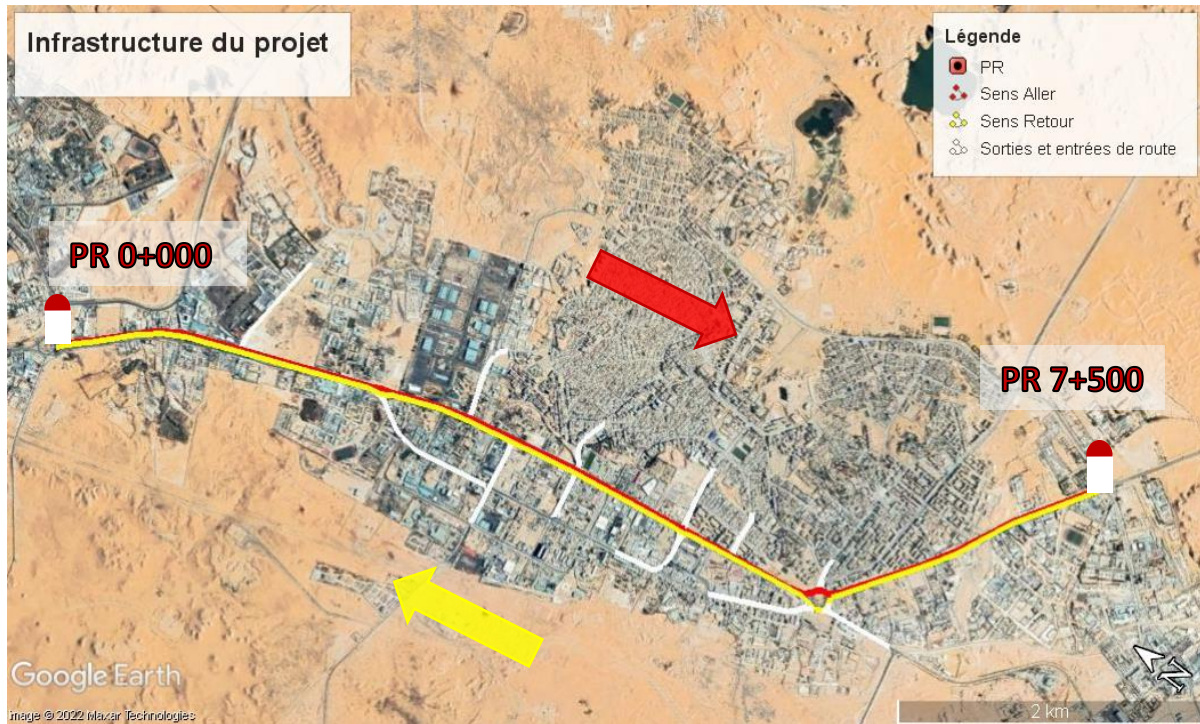


Figure II.2 Représentation du Projet

## II.2 PRESENTATION DE LA WILAYA D'OUARGLA.

La wilaya d'Ouargla est le cœur économique et le poumon de l'Algérie grâce au pétrole de Hassi Messaoud. (Figure II.3) Sa superficie est de 211 980 km<sup>2</sup>, et sa population est estimée à 633967 habitants. Elle comprend 5 daïras et 8 communes.



Figure II.3 Wilaya d'Ouargla

### II.3 PRESENTATION DE LA COMMUNE DE HASSI MESSAOUD.

Hassi Messaoud compte parmi les 8 communes de la wilaya d'Ouargla. Elle est située à 86 km au sud-est d'Ouargla (Figure II.4) ; à 172 km au sud de Touggourt et à 800 km au sud-est de la capitale Alger.

Elle a une superficie de 71 237 km<sup>2</sup> et une population de 45 147 habitants.



Figure II.4 Commune de Hassi Messaoud

#### II.3.1 Historique.

Le nom «Hassi Messaoud» signifie "le puits de Messaoud" en arabe, du nom de Messaoud Rouabeh, un puisatier de la région.

Hassi Messaoud, alors simple lieu-dit dans le désert saharien, est sortie de l'anonymat en juin 1956. Cette année-là, en pleine guerre d'Algérie, la société française SN Repal découvre du pétrole dans le sous-sol sous forme de grès imprégné. Hassi-Messaoud confirme les richesses du sous-sol déjà suggérées par le travail des prospecteurs à Edjeleh, à proximité de la frontière libyenne. Le premier puits porte le nom de MD1. En pleine guerre froide entre les États-Unis et l'Union soviétique, la France voit dans cette découverte de pétrole un espoir de maintenir quelque temps une indépendance énergétique face aux deux superpuissances de l'époque. L'exploitation du gisement commence vraiment le 7 janvier 1958, le pétrole coule dans l'oléoduc provisoire qui le conduit, sur 180 kilomètres, jusqu'à Touggourt, lieu de transit pour la métropole. L'étendue reconnue de la nappe dépasse 800 km<sup>2</sup>. Les puits font 3 000 mètres de profondeur, chacun revenant à 600 millions de francs de l'époque. La couche pétrolière est située à une profondeur moyenne de 3 300 mètres, avec une épaisseur utile de 80 mètres.

Lorsque l'exploitation du pétrole commence, Hassi-Messaoud compte 1 500 habitants. La liaison avec le Nord de l'Algérie s'effectue avec un avion de type «Breguet deux-ponts» qui se pose régulièrement chaque jour. En attendant celle-ci, par la piste, en partie goudronnée, les routiers ont amené, en un temps record, les 700 cabines alimentées qui équipent les bases des sociétés.

L'industrie pétrolière de Hassi Messaoud est ensuite nationalisée, le 24 février 1971.

En 1983, la Sonatrach société des pétroles algériens installe à Hassi Messaoud ses cadres basés jusque-là à Alger. La Sonatrach fait construire en trois ans 1850 pavillons dans une cuvette de 100 hectares située à quelques kilomètres du centre de Hassi Messaoud.

De l'indépendance du pays jusqu'en 1985, Hassi Messaoud est appelée Centre Industriel Saharien (CIS), et était gérée par la Sonatrach et les compagnies parapétrolières actives dans toute la région. En 1984, Hassi Messaoud devient une commune à part entière. C'est aussi l'occasion pour le gouvernement algérien de donner une population pérenne à Hassi Messaoud, où les employés de la compagnie pétrolière Sonatrach ne font que passer. Des agriculteurs sont installés dans des bâtiments neufs, et cultivent le lit de l'oued Igharghar, entre les puits de pétrole. Mais l'expérience n'a duré que quelques années.

À partir de 1992, de nouveaux arrivants s'installent, fuyant le terrorisme islamiste. Non autorisée, cette émigration interne aboutit à la constitution d'un bidonville. La population de Hassi Messaoud, recensée officiellement, est multipliée par cinq en l'espace de onze ans. Lors du recensement général de la population et de l'habitat de 1987, la population résidente n'était que de 8 300 personnes. Lors du recensement 1998, elle passe à près de 38 000 habitants, non inclus ceux qui habitent la ville et qui ne sont pas recensés comme résidents.

En 2008, Hassi Messaoud possède un champ pétrolifère avec des réserves estimées à 8 milliards de barils, et le champ gazier Hassi R Mel bénéficie de réserves estimées à 50 milliards de pieds cubes de gaz et 2 milliards de barils de pétrole brut.

### **II.3.2 Géologie régionale et reliefs.**

Le champ pétrolier de Hassi Messaoud est un réservoir de grès cambrien de 270 m d'épaisseur dans un dôme de 3300 m de profondeur et de 1300 km<sup>2</sup> en superficie du bassin structural de l'Oued Mya. Le sommet du dôme est marqué par une discordance à la base des sédiments du Trias et du Mésozoïque constitués de sel, d'anhydrite, de schiste, de calcaire, de dolomie et de marne, tous recouverts de grès mio-pliocène.

Le potentiel en sol est important et les superficies exploitées dans le cadre de la mise en valeur sont très grandes. La région est connue par sa morphologie sableuse avec des plates-formes pierreuses (ergs et hammadas).

Les altitudes de Hassi Messaoud varient entre un minimum de 86m et un maximum de 873m avec une moyenne de 341 m (Figure II.5).

Au plan géomorphologique, le paysage est constitué de formations montagneuses dénudées et fortement érodées, entrecoupées de vastes étendues constituées de plaines d'épandage fluvial.



Figure II.5 Reliefs de Hassi Messaoud

### II.3.3 Climat.

Hassi Messaoud a un climat désertique chaud (classification climatique de Köppen BWh). Son climat est plus précisément d'aridité absolue (classification de De Martonne 1926). D'autre part le catalogue de dimensionnement des chaussées neuves du CTPP classe la région comme étant de climat IV. (Figure II.6)

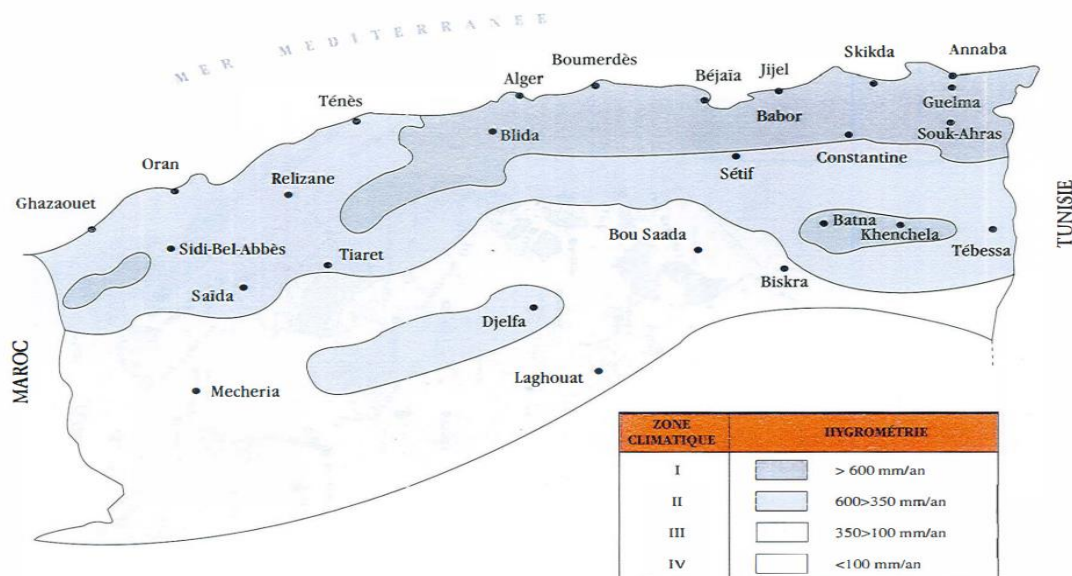


Figure II.6 Carte climatique de l'Algérie.

Ceci est d'autant plus évident grâce au diagramme ombrothermique (Figure II.7) montrant la période sèche continue caractéristique à la région.

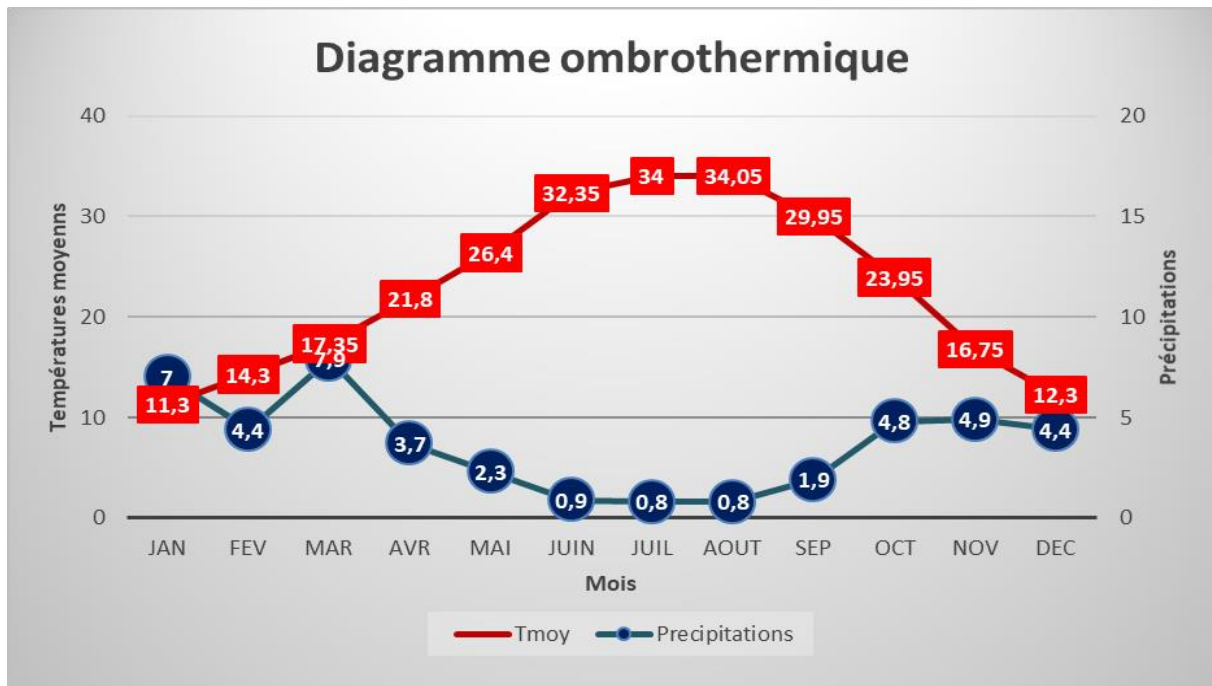


Figure II.7 Diagramme ombrothermique de Hassi Messaoud.

Cette région est caractérisée par des étés longs et extrêmement chauds et des hivers courts et chauds, peu de précipitations tout au long de l'année. Ainsi, que par le phénomène très spécifique ou on aperçoit des températures beaucoup plus élevées la journée que la nuit, ce qui risque d'être très problématique pour tous types d'infrastructures. (Tableau II.1).

Tableau II.1 Données Climatique de Hassi Messaoud

Mois	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Annuel
Moyenne de Temp max (°C)	17.4	21	24	28.8	33.2	39.5	41.5	41.5	36.7	30.5	22.9	18.3	29.6
Moyenne de Temp min (°C)	5.2	7.6	10.7	14.8	19.6	25.2	26.5	26.6	23.2	17.4	10.6	6.3	16.1
Précipitation moyenne (mm)	7	4.4	7.9	3.7	2.3	0.9	0.8	0.8	1.9	4.8	4.9	4.4	43.8
Moy d'humidité relative (%)	59.7	48.7	39.7	34.5	30.1	25.4	22.9	25.1	34.6	44.4	52.3	60.0	39.8
Heures d'ensoleillement (h)	8.9	9.8	10.6	11.5	12.3	12.8	12.6	12.0	11.1	10.2	9.3	8.7	10.8
Vitesse des vents (Km/h)	12	14	15	17	16	15	13	12	12	11	12	12	13.4

Les tempêtes de sable sont fréquentes avant l'heure d'été (de mars à juin), durant de 6 heures à 4 jours. Ces orages varient dans leur intensité mais en général ils empêchent toute activité à l'extérieur et la conduite automobile devient très dangereuse.

On remarque grâce à la rose des vents de la zone (Figure II.8), que ces vents sont majoritairement orienté en direction Nord-Est, ce qui oblige l'évitement de cette orientation lors de la construction.

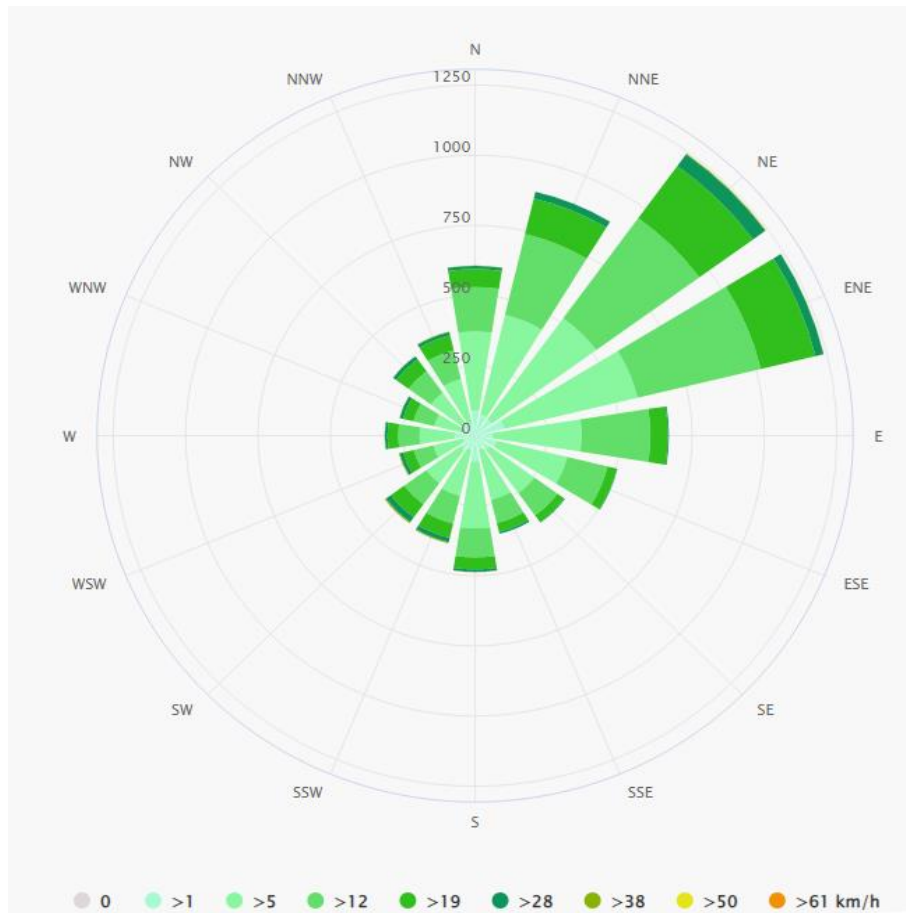


Figure II.8 Rose des vents –Hassi Messaoud-.

### II.3.4 Ressources hydrauliques.

La région de Hassi Messaoud s'intègre dans le bassin hydrogéologique du Sahara Septentrional. Les ressources en eaux souterraines de la zone de Hassi Messaoud sont contenues dans deux grands aquifères, qui sont le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire. Hassi Messaoud ne possède aucun barrage hydraulique.

### II.3.5 Transport.

Hassi Messaoud se trouve sur la route nationale N3 entre Touggourt et Biskra au nord et Illizi et Djanet au sud. Au nord de la ville, la N49 bifurque à l'ouest de la N3, reliant Ouargla. Hassi Messaoud est le point d'arrivée de l'oléoduc In Amenas-Haoud El Hamra (près de Hassi Messaoud) et du gazoduc In Amenas-Hassi Messaoud construit par les Français en 1958 (T. SCHLÜTER, 2008).

La ville dispose d'une station de bus et de taxis qui dessert toutes les grandes villes du pays. Hassi Messaoud est desservi par l'aéroport d'Oued Irara, situé à 8,5 km au sud-est du centre-ville. Il propose un service de passagers régulier domestique.

### II.3.6 Situation socio-économique.

Hassi Messaoud est la commune la plus riche d'Algérie, selon un classement établi par le Ministère de l'Intérieur et des Collectivités locales, avec des ressources évaluées à 8 milliards de dinars en 2012 grâce, principalement, à ses grandes ressources pétrolières (Figure II.9).

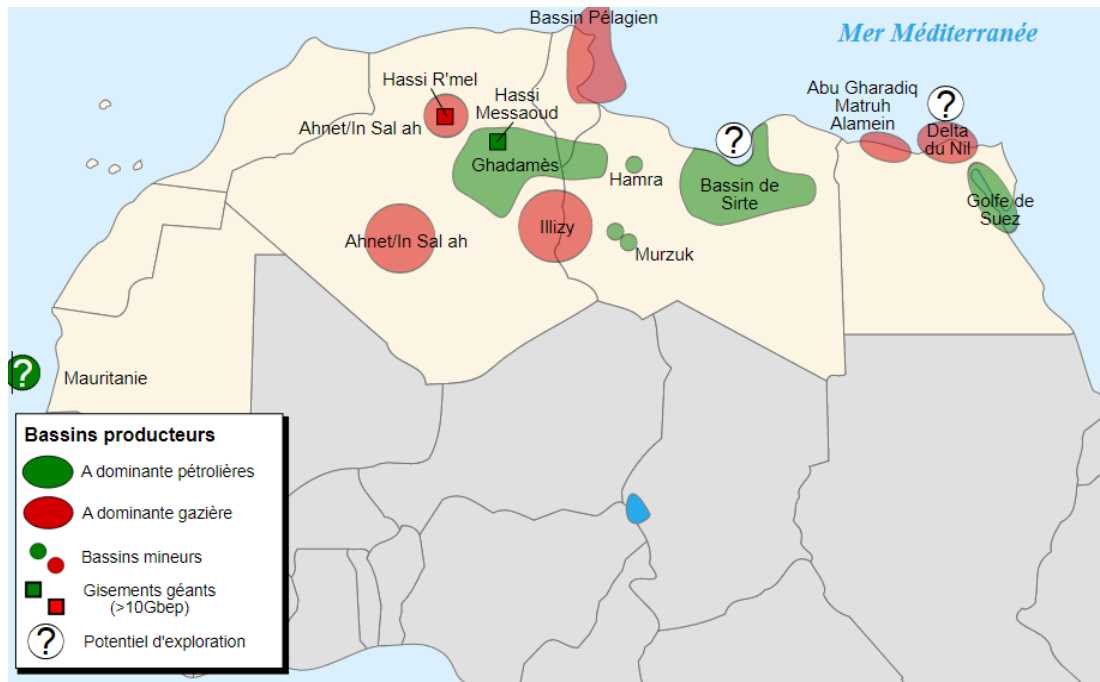


Figure II.9 Répartition des bassins producteurs de gaz et de pétrole en Afrique du Nord.

Hassi Messaoud possède un hôpital général de 92 lits, et 28 centres médico-sociaux (CMS). (ABID, 2018)

L'université la plus proche étant celle d'Ouargla est à 200km de la ville de Hassi Messaoud.

Etant donné l'importance de la zone et son caractère économique, il est important de préciser l'importance de son trafic, et en particulier celui des poids lourds qui représente plus du quart du trafic total.

### II.3.7. Matériaux disponibles.

La région de Hassi Messaoud est caractérisée par la dominance en matériaux de gypse pulvérulent (Figure II.10).

Dans ce cas, l'origine du gypse est due essentiellement à l'influence de la nappe sub-affleurante trop chargée en sels solubles et à l'intensité de l'évaporation qui peut être atteinte dans la région. Un autre facteur non négligeable est aussi responsable de cette distribution, c'est le vent, caractéristique climatique actuelle des régions sahariennes.

Le sol gypseux étant alors à la fois soluble et créant une croûte de gypse en cas de sécheresse ; il est très difficile à maîtriser dans cette zone, qui est caractérisée à la fois par ces eaux souterraines et par ses températures élevées causant de grandes évaporations.

Il est tout de même important de noter que, malgré les inconvénients évidents du matériau, on peut dans ce cas utiliser ce matériau comme couche d'assise pour les structures routières (tel qu'il a été décidé pour la section de la RN03 où se trouve notre projet), car son abondance reste un avantage non négligeable.

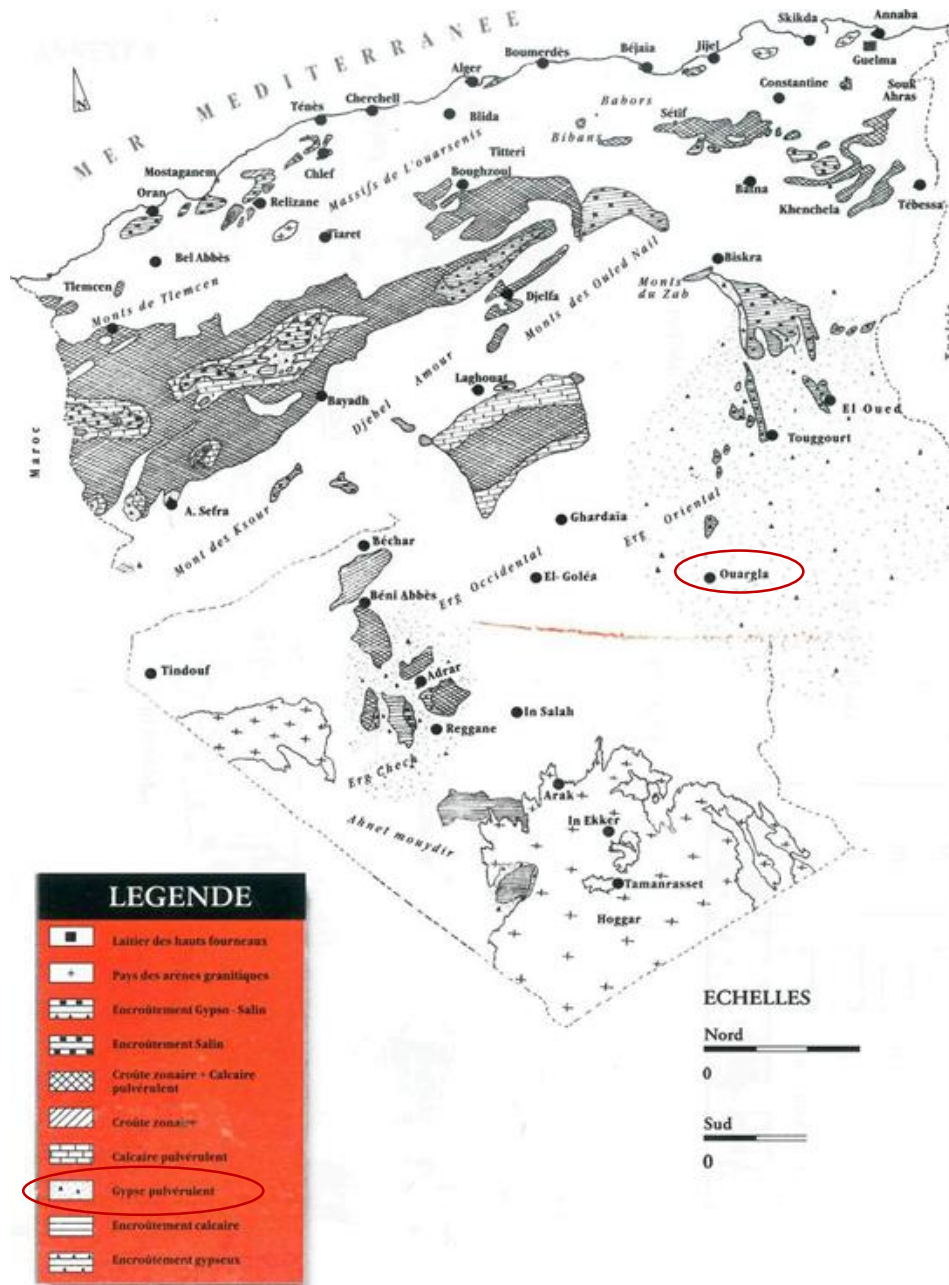


Figure II.10 Matériaux disponibles par zone. (CTTP, 2001)

#### II.4. OBJECTIFS DU PROJET.

Etant donné les nombreux problèmes survenus sur le tronçon de la RN03 passant par Hassi Messaoud, principalement les nombreuses pathologies enregistrées et les difficultés que présente la structure, il s'est avéré nécessaire de s'intéresser à tous ces points par la proposition d'un projet de renforcement dont le principal objectif est de trouver des solutions techniques pour la remise en service optimale de cette chaussée, tout en assurant une bonne mise en œuvre. Les objectifs du projet peuvent ainsi être résumés comme suit :

- L'amélioration du niveau de service de la route.
- L'augmentation de la capacité portante de la route.
- La mise en place d'une structure adéquate capable de supporter le trafic existant à moyen et long terme.
- L'assurance d'une fluidité de la circulation et la sécurité des voyageurs sur ce tronçon où le trafic est en croissance.

## CHAPITRE III : DEGRADATIONS DES CHAUSSEES ROUTIERES.

### III.1 INTRODUCTION.

Pour une bonne conduite du projet de renforcement, il est fondamental de commencer par l'enregistrement systématique des dégradations présentes sur l'infrastructure, objet de l'étude. Ainsi, pour un bon traitement, il est tout aussi nécessaire de comprendre le fonctionnement et les sources de ces dégradations afin de pouvoir les affronter.

On rappelle dans ce chapitre les modes de fonctionnements des structures de chaussées et on présente les principales dégradations qui les touchent.

### III.2. PRESENTATION DE LA CHAUSSEE.

#### III.2.1. Définition de la chaussée.

D'un point de vue géométrique, c'est la surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules, dans des conditions de sécurité et de confort adaptées.

D'un point de vue mécanique, le rôle de la chaussée est de répartir les charges mécaniques sur le sol support.

#### III.2.2. Caractéristiques structurelles de la chaussée.

Une chaussée est composée d'une superposition de couches de différents matériaux.



Figure III.1 Structure de chaussée.

On distingue, en partant du haut vers le bas, les couches suivantes :

#### La couche de surface :

C'est la couche supérieure de la chaussée, qui subit directement les efforts des véhicules et les facteurs naturels, d'où ses deux rôles principaux :

- L'absorption des efforts horizontaux tangentiels (cisaillement) importants et la transmission des charges verticales, dues à l'accélération et au freinage.
- La garantie à l'utilisateur d'une surface de roulement compatible avec les exigences de l'automobiliste moderne.

Cette couche comporte :

- La couche de roulement : appelée aussi couche d'usure, c'est la couche supérieure de la chaussée, elle est constituée d'un matériau traité au liant hydrocarboné elle a pour rôles :

En matière de sécurité : l'offre d'une bonne rugosité (adhérence) indispensable pour assurer aux véhicules des possibilités de freinage convenable et une bonne stabilité transversale.

En matière de confort : la présentation d'un bon uni afin que l'utilisateur ne ressente pas dans son véhicule de secousses brutales ou de vibrations excessives.

En matière de pérennité : la garantie d'une bonne imperméabilité.

- La couche de liaison : c'est une couche déposée sur la couche de base comme cure pour permettre la circulation des véhicules avant la mise en place de la couche de roulement et de participer au confort et à la sécurité des usagers.

#### **La couche d'assise :**

Elle est généralement constituée de deux couches.

- La couche de base : Elle est constituée de matériaux résistants, son rôle est de transmettre les charges à la couche de fondation provenant de la circulation. (Résister aux charges verticales de la circulation).
- La couche de fondation : Elle a pour rôle d'assurer la transmission convenable des charges verticales (contraintes), apportées par la couche de base sur le terrassement et aussi assurer un bon drainage.

#### **Le sol support :**

Généralement surmonté, éventuellement, d'une couche de forme qui constitue la plate-forme support de chaussée. Cette dernière a une double fonction :

Pendant les travaux : l'assurance de la protection du sol support, ainsi que la circulation des engins.

En service : l'homogénéisation des caractéristiques mécaniques des matériaux constituant le sol ou le remblai, et l'amélioration de la portance à long terme.

#### **La couche d'accrochage :**

C'est une couche mince de liants hydrocarbonés appliquée aux interfaces des différentes structures des enrobés.

Il existe trois grandes familles de liants d'accrochage différenciés selon leur composition chimique :

- Bitume : Il est issu de la distillation du pétrole qui est utilisé à de hautes températures, il est à la fois, adhérent (il colle fortement à la surface des granulats), souple (élastique) résistant (il résiste à la déformabilité provoqué par les charges du trafic), imperméable (il protège la chaussée des agressions de l'eau) et écologique (il est recyclable à l'infinie)
- Bitume fluidifié (cut back) : c'est un bitume dont la viscosité est réduite par ajout d'un diluant (essence, gasoil...), il est utilisé pour des enduits superficiels. Ce type de liant est considéré comme néfaste pour l'environnement.
- Bitume fluxé : bitume dont la viscosité est réduite par ajout d'une huile de fluxage pour améliorer la maniabilité du bitume.

#### **La couche d'imprégnation :**

C'est une couche appliquée sur une surface granulaire, elle permet de coller les granulats des premiers centimètres.

### III.2.3. Les différents types de chaussées.

Les structures de chaussées se classent en général par leur mode de fonctionnement en cinq familles. (SETRA, 1994 ; CEREMA, 2016)

#### III.2.3.1. Les chaussées souples.

Ce sont des chaussées dont l'assise est constituée de matériaux non traités recouverte par une épaisseur bitumineuse relativement faible (inférieure ou égale à 12 cm).

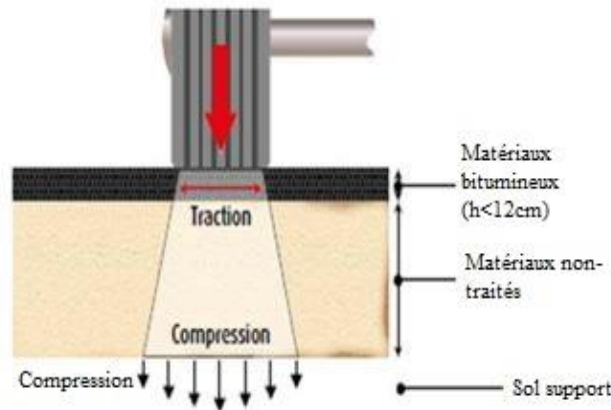


Figure III.2 Chaussée Souple

#### Mode de fonctionnement :

L'assise en matériaux non traités présente une faible rigidité qui est en relation avec l'épaisseur de la couche granulaire et la rigidité du sol, cela a pour effet de rendre ces chaussées particulièrement sensibles aux variations d'état hydrique du sol support.

La couverture bitumineuse relativement mince ( $\leq 12$  cm) assure une faible diffusion des contraintes horizontales dues au trafic et subit à sa base des efforts répétés de traction par flexion.

#### Mode d'endommagement :

Les efforts verticaux transmis aux matériaux non traités et au sol support sont relativement élevés, ce qui a pour effet de générer le développement de déformations plastiques au sein des couches non liées (sol, couches granulaires) et d'entraîner l'apparition de déformations permanentes en surface (orniérage à grand rayon, flaches et affaissements), ces déformations croissent avec le cumul du trafic. Les efforts répétés de traction-flexion à la base de la couverture bitumineuse entraînent une fatigue de celle-ci, qui se traduit en surface par l'apparition de fissuration longitudinale évoluant rapidement vers un faïençage à mailles fines. Le comportement de ces chaussées reposant essentiellement sur la capacité portante des couches non traitées (sol et matériaux granulaires), tout accroissement de la teneur en eau de ces matériaux fragilise la structure.

#### III.2.3.2. Les chaussées bitumineuses épaisses.

Ce sont des chaussées dont l'assise (couche de base et fondation) est constituée totalement en matériaux bitumineux, et dont l'épaisseur totale des matériaux bitumineux dépasse 12cm (limite supérieure dans les chaussées souples).

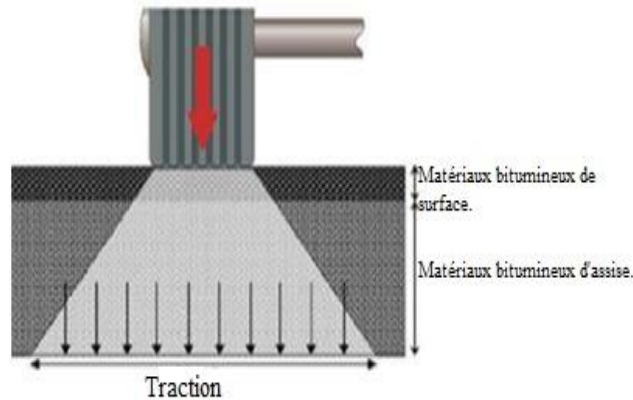


Figure III.3 Chaussée bitumineuse épaisse

**Mode de fonctionnement :**

La diffusion des contraintes verticales transmises au sol support est atténuée fortement, grâce à la rigidité et à la résistance en traction des couches d'assise en matériaux bitumineux. Les efforts induits par les charges roulantes prennent la forme d'une traction par flexion dans les couches liés.

Ces chaussées, comportant plusieurs couches, si elles sont collées, les déformations maximales se trouvent à la base de la couche la plus profonde. Mais si les couches sont décollées, chacune d'elles se trouvera sollicitée en traction et risque la rupture par fatigue. La qualité des interfaces a, donc, un rôle important dans le comportement de ces chaussées.

**Mode d'endommagement :**

Dans le cas d'une chaussée bitumineuse épaisse, les premières dégradations affectent généralement les couches de surface :

- Orniérage par fluage de la couche de surface, favorisé par des températures élevées, un trafic lourd lent ou des choix inadaptés de matériaux et de formulation.
- Arrachement de gravillons sous l'effet des efforts tangentiels engendrés par le trafic.
- Apparition d'une fissuration anarchique traduisant un durcissement par vieillissement du bitume de la couche de roulement.

A plus long terme, une apparition de fissures longitudinales par fatigue dans les bandes de roulement : les efforts répétés de traction-flexion à la base de l'assise bitumineuse entraînent une dégradation par fatigue de celle-ci, se traduisant par l'apparition d'une fissuration remontant peu à peu du fond de la structure jusqu'à affecter la couche de roulement. La fissuration longitudinale observée dès lors en surface évolue vers du faïençage dont la dimension des mailles se réduit peu à peu, cette transformation s'amorçant dans les zones les plus faibles (qualité de portance du support, caractéristiques du matériau lié, zone de décollement entre couches).

**III.2.3.3. Les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques.**

Ce sont des chaussées dont l'assise est constituée par un matériau traité aux liants hydrauliques qui est surmontée par une couche de surface en matériaux bitumineux, elles sont classées sous la famille semi-rigide dont l'épaisseur totale est de l'ordre de 20 à 50cm.

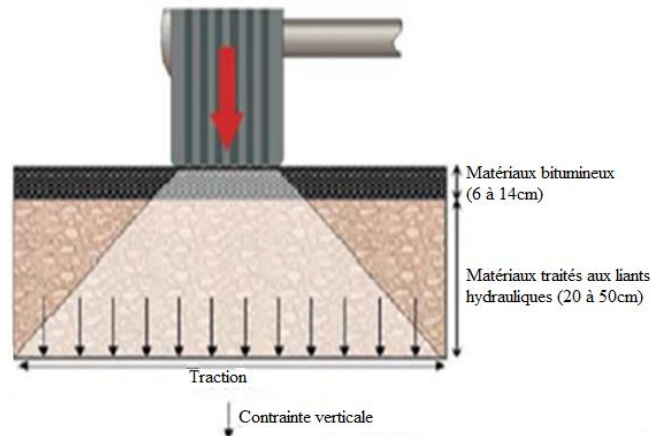


Figure III.4 Chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques

#### Mode de fonctionnement :

Les contraintes verticales transmises au sol support sont assez faible grâce à la grande rigidité des matériaux traités aux liants hydrauliques. Par contre, l'assise traitée subit des contraintes de traction par flexion.

Lorsque la liaison des couches d'assise est assurée, la contrainte maximale de traction se produise à la base de la couche de fondation, sinon les couches travaillent toutes deux en traction à leur base.

#### Mode d'endommagement :

Au droit des fissures transversales de retrait, les fissures transversales tendent à se dédoubler et à se ramifier sous l'effet du trafic. Les précipitations entraînent une dégradation de la structure. Sous l'effet du trafic lourd, l'eau présente dans les fissures transversales fait l'objet d'un pompage (surpression-dépression) ayant pour conséquences :

- Une diminution de la qualité du collage des interfaces et une désagrégation de la partie supérieure de l'assise et des parois de la fissure.
- Une augmentation de l'allongement à la base de la couverture bitumineuse.
- Un accroissement des contraintes de traction à la base des couches traitées et indirectement de la contrainte verticale sur le support de chaussée.
- En l'absence d'entretien (scellement des fissures de retrait), la dégradation de la fissuration transversale peut se traduire par l'apparition de remontées de boues en surface en période humide, la formation de flaches associées à du faïençage et des départs de matériaux (nids-de-poule).

Sur l'ensemble de la chaussée, par suite de coefficients de dilatation thermique différents entre les matériaux bitumineux et hydrauliques et des contraintes tangentielles induites par l'action du trafic, l'interface entre matériaux bitumineux et matériaux hydrauliques peut être amenée à se détacher. Les quelques centimètres supérieurs de l'assise traitée étant souvent de plus faible résistance, un glissement partiel peut rapidement apparaître, ce qui a alors pour conséquence une dégradation rapide de la couche bitumineuse, par fatigue structurelle.

#### III.2.3.4. Les chaussées à structure mixte.

Ce sont des chaussées dont l'assise est constituée de deux couches de matériaux différents : matériaux bitumineux pour les couches de surface et de base, et matériaux traités aux liants

hydrauliques pour la couche de fondation. Le rapport entre les épaisseurs des deux types de matériaux est voisin de 1. (CTTP, 2001)

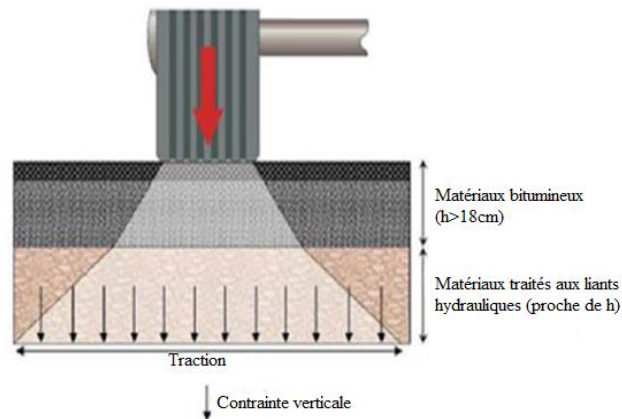


Figure III.5 Chaussée à structure mixte

**Mode de fonctionnement :**

La couche de fondation sert à diffuser et atténuer les efforts verticaux transmis au sol support grâce à sa grande rigidité.

La couche de base permet de ralentir les fissures transversales de la couche de fondation et de réduire les contraintes de flexion à la base de cette dernière.

**Mode d'endommagement :**

La fissuration transversale de retrait de la couche de fondation affecte au fil du temps les couches bitumineuses. Ces fissures, sous l'effet conjugué du trafic et des pénétrations d'eau, évoluent en se dédoublant, entraînant une dégradation des matériaux bitumineux.

Les efforts répétés de traction à la base de l'assise hydraulique entraînent sa dégradation par fatigue, traduite par l'apparition d'une fissuration longitudinale remontant peu à peu dans la structure. Lorsque le grave hydraulique est dégradé et/ou que l'interface entre les matériaux hydrauliques et bitumineux présente des signes de faiblesse, la couche de base est sollicitée à son tour par fatigue, ce qui se traduit alors par l'apparition d'une fissuration longitudinale en surface.

**III.2.3.5. Les chaussées en béton de ciment.**

Ce sont des structures constituées d'une couche de béton de ciment recouverte par une couche mince de roulement en matériau bitumineux. La couche de béton repose soit sur le sol support directement ou sur une couche de fondation (qui peut être en matériaux non traités, en béton de ciment ou traités aux liants hydrauliques), ce type de chaussée a un comportement très particulier et son entretien est totalement différent des autres types.

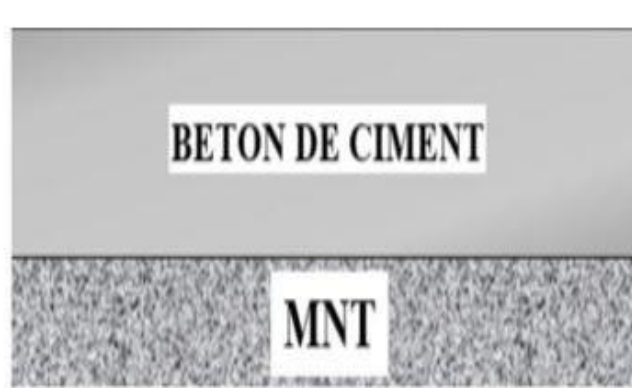


Figure III.6 Chaussée en béton de ciment.

#### **Mode de fonctionnement :**

Sous l'action d'une charge, la couche de béton induit les phénomènes suivant :

- Effet de répartition de la charge sur le sol support : les contraintes de compression qui sont, donc, transmises au sol seront relativement faibles.
- Apparition de deux types de contraintes au sein de la couche de béton : une contrainte de compression en partie supérieure et une contrainte de traction par flexion en partie inférieure. Si on répète l'opération de chargement/déchargement un grand nombre de fois, cette couche se fatigue et finit par se fissurer.

#### **II.2.4. Les matériaux de la chaussée.**

Pour obtenir une chaussée d'une bonne qualité, il faut d'abord assurer de faire un choix judicieux des matériaux à utiliser, lui permettant de résister aux agressions des agents extérieurs (essentiellement l'environnement de la route et le climat), et aux surcharges d'exploitation (trafic).

Il est à noter que chaque couche de chaussée exige des matériaux spécifiques et qui doivent répondre à des exigences précises.

##### **II.2.4.1. Enrobé Bitumineux.**

L'enrobé bitumineux est un matériau composite constitué d'un mélange de granulats (gravier, sables, fines) et d'un liant hydrocarboné (bitume, éventuellement des additifs), les granulats assurent la structure rigide de l'enrobé et le bitume procure la cohésion de l'ensemble et il est responsable du caractère visqueux de l'enrobé.

##### **II.2.4.1.1. Composition des enrobés bitumineux.**

Les enrobés bitumineux ont deux composants principales :

##### **Liants hydrocarbonés :**

Le mot "liant" peut être défini comme substance qui sert à coller de façon durable, des particules généralement solides, l'adjectif "hydrocarboné" désigne l'assemblage d'atomes de carbone et d'hydrogène, la substance additionnée aux particules solides développe au sein d'un mélange des forces d'adhésion et de cohésion, assurant une certaine rigidité et une résistance à la déformation en traction, une résistance à la compression et une résistance au cisaillement.

**Granulats :**

Les granulats utilisés dans les enrobés peuvent être divisés en deux grandes catégories : les granulats naturels en provenance de carrières, sablières et gravières et les granulats d'autres origines tels que des granulats recyclés, des sous-produits d'origine industrielle ou des granulats fabriqués pour un usage spécifique.

Classification des granulats : Les granulats sont classés en différentes classes granulaires selon la taille des éléments qui est exprimée en millimètre. Une classe granulaire (d/D) est répertoriée par la taille du plus petit grain « d » et du plus gros grain « D ».

On peut distinguer les classes granulaires suivantes :

**Tableau III.1 Les classes granulaires.**

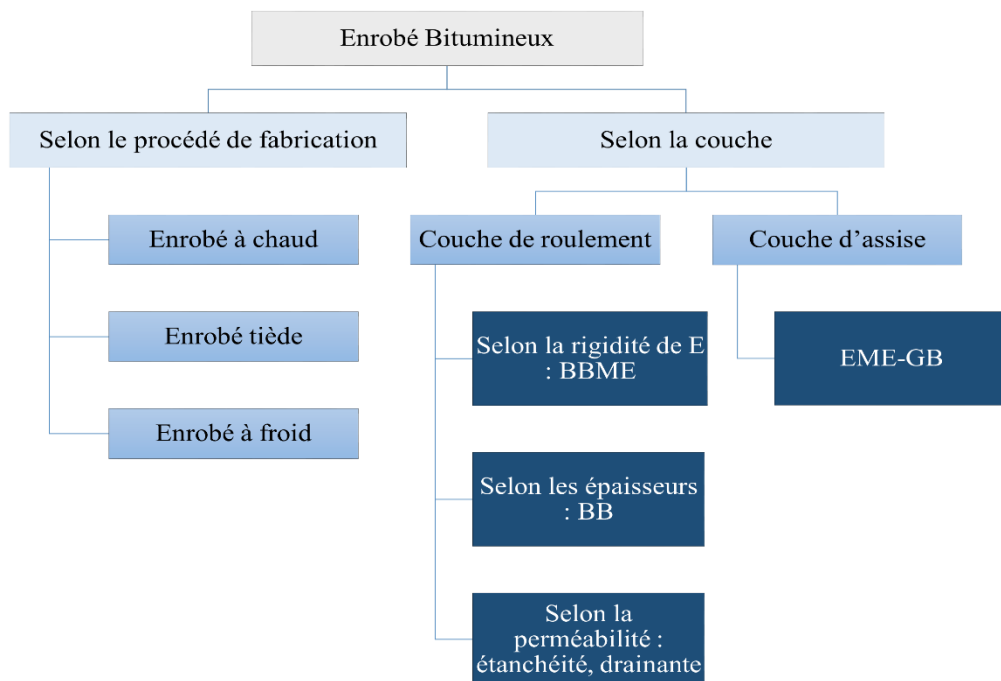
Granulats	Diamètre (mm) (d/D)	
	d (mm)	D (mm)
Les fines	0	≤ 0,080
Les sables	0	≤ 6,6mm
Les gravillons	d ≥ 2	D ≤ 31,5 mm
Les cailloux	d ≥ 20	D ≤ 80
Les graves	0	6,3mm < D ≤ 80 mm

Le filler est constitué des éléments très fins, de diamètre inférieur à 63 microns. Il provient du dépoussiérage de granulats ou de production industrielle par mouture de roche, ce filler a une surface spécifique très élevée et absorbe une part importante du liant.

Le mélange du filler avec le liant constitue le mastic qui confère sa stabilité à l'enrobé, il se caractérise par une faible teneur en argile qui est primordiale afin de garantir un bon comportement mécanique.

**III.2.4.1.2. Classification des enrobés bitumineux.**

Dans le domaine routier, il existe plusieurs types d'enrobés bitumineux, le schéma suivant représente les principales différences entre ces plusieurs types :



**Figure III.7 Classification des enrobés bitumineux.**

### **Béton bitumineux BB :**

Le béton bitumineux (BB) est un mélange à granularité continue se composant de gravillons, de sable, de filler, de liant bitumineux et d'additifs éventuels. Les classes granulaires des bétons bitumineux retenues généralement dans le cahier des charges sont les suivantes : BB 0/8, BB 0/12, BB 0/14.

Ce type de matériau est bien adapté aux couches de surface des chaussées à forts trafics en raison des bonnes caractéristiques mécaniques, Il est aussi bien utilisé pour les chaussées neuves qu'en renforcement.

### **Grave-bitume GB :**

La grave bitume (GB) est un mélange à granularité continue 0/20 se composant de granulats, de sable, de filler, de liant bitumineux et d'additifs éventuels, elle est appropriée pour couche de base de routes de réseau RP1 (autoroutes et aéroports).

Elle est fabriquée, mise en œuvre et compactée à chaud et assure la portance de la chaussée et la répartition des charges du trafic transmis par les couches de surface.

### **Sable bitume SB :**

Le sable bitume (SB) est un mélange d'un ou plusieurs sables avec du bitume pur. Généralement, le mélange nécessite l'ajout de fines provenant soit des matériaux de concassage-broyage (sable fileries, fines calcaires), soit des pulvérulents industriels (chaux, ciment).

Le bitume utilisé doit être assez dur, de classe 40/50 ou 20/30 afin d'assurer une rigidité et une stabilité convenable, leur domaine d'utilisation est principalement l'emploi en couche de base pour les chaussées du réseau principal de niveau 2.

### **Bétons bitumineux à module élevé BBME :**

Les BBME sont obtenus à partir d'un mélange de bitume pur ou modifié et de granulats. Ils se caractérisent par un module de rigidité « E » plus élevé que les enrobés classiques et par une bonne tenue à l'orniérage.

Cet enrobé est destiné aux couches de roulement des routes nationales et régionales empruntées par un trafic moyen et dense.

### **Enrobe à module élevé EME :**

Ce mélange est destiné aux couches de liaison soumises à un trafic lourd (principalement pour diminuer l'orniérage). Ce sont des enrobes préparés à partir d'un mélange de liant hydrocarboné, de granulats et/ou d'additifs minéraux ou organiques, dosés, chauffés et malaxés dans une installation appelée centrale d'enrobage, ils sont destinés à la réalisation des assises dans le cadre de travaux neufs ou de renforcement de chaussées.

Ils se caractérisent par un module de rigidité élevé atteignant 17000MPa et une plus grande résistance à la fatigue que les enrobés classiques (DJABRI et HAMMANA, 2016). On distingue deux classes de performance :

- EME Classe 1 : Correspond à des graves bitumes à module élevé obtenues par l'emploi d'un bitume dur, aux dosages voisins de ceux des graves bitumes (GB).
- EME Classe 2 : Correspond à un enrobé à module élevé comportant de plus un très bon comportement en fatigue, du fait du dosage élevé en bitume dur.

### III.2.4.2. Le sol gypseux.

Le terme de « sols gypseux » désigne les sols à teneur supérieur à 2 % de gypse.

L'origine du gypse en quantité importante dans le sol est en relation avec la présence de roches sédimentaires gypseuses, la topographie et l'aridité du milieu. Les sols gypseux (au sens large) sont largement répandus et apparaissent typiques des régions arides et semi- arides.

Le gypse s'accumule suite à l'évaporation d'une eau minérale et de sa précipitation, il peut être hérité d'un matériau parental ou précipité de solution de sol hyper saturée ; il se dissout en saison humide et se précipite en saison sèche, il peut être transporté par l'eau et par le vent et se déposer par la suite.

Lors de l'oxydation des ions sulfates présents dans la solution du sol, l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) qui en résulte réagit dans les sols calcaires avec le  $CaCO_3$  pour former le gypse ( $CaSO_4$ ). Dans les sols irrigués, la lixiviation des sols salins contenant du sulfate et du calcium dans la solution du sol peut conduire à la précipitation et à l'accumulation du gypse dans l'horizon de subsurface. La formation du gypse peut résulter du remplacement du NaCl par  $CaSO_4$  quand l'eau d'irrigation contient une quantité substantielle de calcium et de sulfate. Ce résultat peut être obtenu également lors de la lixiviation partielle des sels du sol parce que le NaCl est beaucoup plus soluble que le  $CaSO_4$ .

#### III.2.4.2.1. Caractéristiques du sol gypseux.

Les propriétés des sols gypseux dépendent largement de la teneur en gypse et de la position de la croûte gypseuse dans le profil. (FAO., 1990)

##### Propriétés physiques :

- Texture : La détermination standard en laboratoire de la distribution granulométrique (texture) des sols gypsifères est un processus fastidieux et long. Le gypse, qui inhibe la dispersion du sol, est généralement éliminé des échantillons de sol avant analyse par lessivage du sol soit avec de l'eau distillée, soit par extraction avec une solution d'oxalate d'ammonium (Coutinet 1965), ou toute solution concentrée de chlorure dans laquelle le gypse est plus soluble que l'eau pure. Étant donné que le gypse a des effets marqués sur les propriétés physiques des sols, il est très souhaitable de déterminer la distribution granulométrique sans enlever la fraction de gypse.

A l'heure actuelle, aucune méthode de détermination de la distribution granulométrique des sols gypseux n'est entièrement satisfaisante et la mise au point d'une méthode fiable sans élimination de la fraction gypseuse est nécessaire.

- Structure : La plupart des sols gypseux ont une structure peu favorable à la construction, l'horizon de surface est dominée par une couche massive ou fine, peut être fortement cimenté, avec la formation de croûtes dures, s'opposant par fois à la circulation de l'eau et au développement des racines.

Il a aussi été admis par différentes études que la présence de pourcentages précis de gypses peut changer le comportement du sol. Ces différentes observations sur les propriétés structurales des sols gypsifères sont parfois contradictoires et pourraient être dues à la variation du degré de dureté et de cristallisation des particules de gypse dans les sols.

- Porosité : Poch (1996) a montré que l'augmentation de l'accumulation du gypse dans le sol influence l'espace poral par le remplacement des larges pores, par des pores d'entassement dont le diamètre équivalent maximum est de 20  $\mu m$ . Ceci est dû au colmatage par les cristaux :

lorsque le gypse est présent sous forme poudreuse, la porosité est élevée, alors que les croûtes gypseuses sont dures et présentent une faible porosité.

**Propriétés chimiques :**

- Solubilité : La solubilité du gypse dépend principalement de la taille des particules, même si elle peut parfois être due à plusieurs autres facteurs. On peut alors dire que l'augmentation de la solubilité de ce sol évolue inversement à la taille des particules de ce dernier. (Figure II.8)

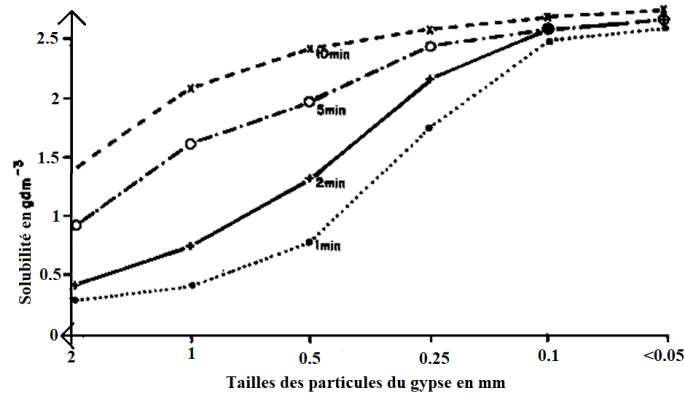


Figure III.8 Influence de la taille des particules du sol sur la solubilité.

- Interactions gypse-Calcium : La plupart des sols gypsifères contiennent du carbonate de calcium en diverses quantités et formes. Le gypse et le carbonate de calcium dans les sols ne sont pas indépendants l'un de l'autre. Il est aussi couramment observé que lorsque la teneur en carbonate de calcium diminue, la teneur en gypse augmente. Boyadgiev (1974) a tenté d'expliquer ce phénomène à partir des formes de carbonate de calcium et de gypse et de la présence de sels solubles dans les sols (Figure II.9)

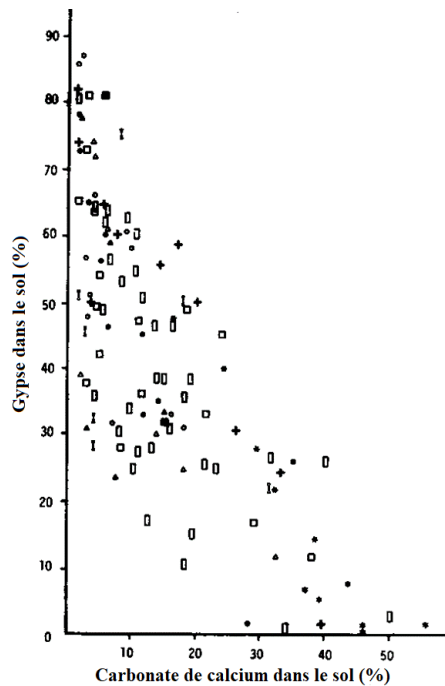


Figure III.9 Relation entre les teneurs en gypse et en carbonate de calcium dans différents sols de Tunisie, affectés par des croûtes superficielles de gypse.

- Propriétés d'échange cationique et cations échangeables : Les particules de gypse n'ont pas de charge négative et, par conséquent, on s'attend à ce que la capacité d'échange totale des sols gypsifères diminue à mesure que la teneur en gypse du sol augmente.

La capacité d'échange cationique des sols dépend, en général, de la teneur en matière organique, de la texture du sol et du type de minéraux argileux. La plupart des sols gypsifères sont pauvres en matière organique et par conséquent la contribution des colloïdes organiques à la capacité d'échange cationique est une petite partie du total.

- PH : A l'échelle de l'Algérie, Ouamer-Ali (2009) a trouvé une corrélation non significative entre le gypse et le pH. Quelle que soit la teneur en gypse (même à des taux très faibles), le pH se trouve compris entre les valeurs 7 et 9 avec une gamme préférentielle allant de 7,5 à 8,4. Ce qui fait que les valeurs du pH n'ont aucune influence sur la variation des taux de gypse.

**Propriétés thermiques :**

On sait depuis longtemps que le gypse se déshydrate à température relativement peu élevée pour donner du plâtre dont la réhydratation à l'eau est à son tour aisée. Selon Vieilleffon (1979), dans les milieux géologiques, les formes du sulfate de calcium les plus répandues sont la forme hydratée ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) « le gypse » et, la forme déshydratée ( $\text{CaSO}_4$ ) « l'anhydrite ».

La première forme semble seule exister dans les sols, excepté dans certains déserts chauds. Il existe aussi des formes d'hydratation intermédiaires ; le gypse peut se déshydrater pour donner d'autres sels ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) en perdant 3/4 de son eau, c'est la forme semi hydratée (Figure II.10).

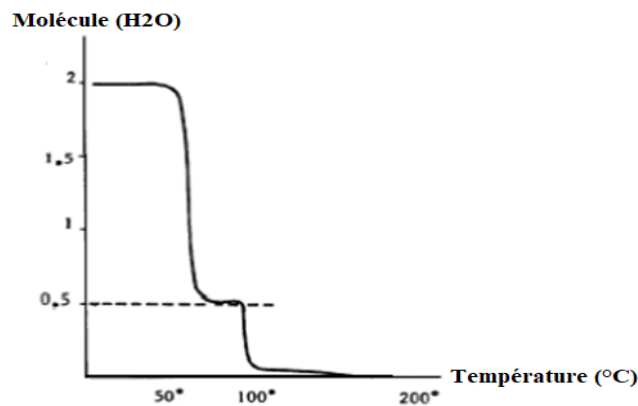


Figure III.10 Déshydratation du gypse à température croissante (Weisser et al. In Vieilleffon, 1979).

**III.2.4.2.2. Avantages et inconvénients des sols gypseux.**

**Avantages :**

- La rigidité : Le processus de laminage et d'empilement du sable de gypse, en plus de la douceur du matériau, assure la formation d'une couche solide et résistante aux chocs.
- Matériau local : Ce qui signifie une disponibilité et un moindre coût.
- Maniable : Le sable gypseux est un matériau pratique lorsqu'il est utilisé dans la technologie routière et autres, et il est facile de mener dans les essais, et ses résultats sont donnés en peu de temps.

**Inconvénients :**

- Substance sensible à l'eau : Le rapport de teneur en eau requis pour le sable gypseux utilisé est déterminé par l'essai de Proctor, le pourcentage d'eau étant un facteur direct de cohésion du sable.
- Foliation ou glissement : Elle est causée par le vent dans la couche de sable de gypse dans les routes, on le remarque lors de sa préparation.
- Homogénéité : Considérant qu'il s'agit d'une substance naturellement formée par l'action du vent et des précipitations sous forme de couches, il faut alors prélever toute la quantité que l'on souhaite utiliser et la mélanger pour obtenir une substance homogène.
- Propriétés mécaniques faibles par rapport à béton bitumineux et le gravier concassé.

**III.2.4.2.3. Utilisation des sols gypseux dans la construction routière.**

Dans de très vastes régions du Sahara (notamment dans le cas du projet de la RN03), le sable gypseux est le seul matériau pouvant être utilisé pour la construction routière. Dans notre cas, il a été utilisé comme sol support.

Il est cependant important de noter que les chaussées en sable gypseux présentent certaines dégradations et sont de qualité moindre comparé, par exemple, à celles en calcaire.

En Algérie, plusieurs chaussées ont du sol gypseux comme couche de base, notamment les routes nationales passant par des zones sahariennes, tel que la RN16 El Oued-Tougourt, RN3...

Parmi les dégradations pouvant apparaître sur ce type de chaussées, on a :

- Les fissurations : ce type de dégradation se divise en deux familles : fissures longitudinales et fissures transversales. Elles proviennent des accotements et forment des maillages de différentes dimensions, appelé mailles larges ou mailles serrées.

Horta (1979) a montré que la cause de ces fissures est la déshydratation du gypse durant les périodes sèches, causant une diminution significative de volume, et provoquant, par conséquent, une traction qui conduit à l'apparition de fissures dans la couche de base puis à un transfert progressif vers la couche de roulement. (SONATRACH, 1979)

Alloul (1981) a expliqué la cause des fissurations de ces chaussées par la diminution de portance, en période hivernale, du sable gypseux de la couche de base suite à l'état humide de cette dernière (cet état est présent même en période sèche lorsque la teneur en eau qui dépassent 2%). Cette imbibition ne réduit pas d'une façon importante la portance de la chaussée. Elle réduit cependant beaucoup plus la résistance au cisaillement du sable gypseux produisant des glissements horizontaux par endroit, sous le revêtement, sous l'effet des coups de freins ou de l'effort de traction des roues motrices des camions (Peltier, 1959).

- Le gonflement : il a été observé sur ces chaussées des gonflements en surface. Ce phénomène est généralement attribué à une trop grande finesse du gypse ou à la présence d'une fraction d'argile active.

- Les boursoufflures : aussi appelées boursoufflures salines ou les cloques, elles sont aussi très spécifiques des climats arides. Elles sont causées par les chlorures, en particulier le chlorure de sodium (NaCl), et se définissent par le soulèvement de la couche de roulement suite à des pressions exercées vers le haut par ces derniers.

De très faibles quantités de chlorures dans les matériaux suffisent pour déclencher le phénomène. Il y a donc lieu, de limiter la teneur en chlorures des matériaux utilisés à un maximum de 0.5% recommandé (Horta, 1979).

### **III.2.5. Les déformations des chaussées.**

L'application d'une charge sur une chaussée provoque des contraintes de compression et de traction dans les couches d'enrobé, le bas de la couche subit une traction alors que le haut est comprimé.

Lorsque la charge est en mouvement, la chaussée subit une déformation horizontale de type contraction/extension, dans le sens longitudinal dû à l'approche, au passage et à l'éloignement de la roue, les déformations transversales sont quant à elles uniquement des extensions pour l'ensemble du passage de la roue. (LCPC, 1998)

## **III.3. LES FACTEURS INFLUANT SUR L'ENDOMMAGEMENT DES CHAUSSEES ROUTIERES.**

### **III.3.1. Introduction.**

L'état de la surface de la chaussée est un paramètre important à la sécurité et au confort des usagers de la route, il peut traduire un désordre superficiel mais également interne à la chaussée causé par la fatigue sous l'action répétée des charges produites par le mouvement intensif des poids lourds et les contraintes d'origine thermique. (CEREMA, 2016)

### **III.3.2. Les facteurs influant sur la dégradation des chaussées.**

#### **III.3.2.1. Facteurs extérieurs.**

##### **III.3.2.1.1. Trafic :**

Le trafic est le premier des facteurs extérieurs provoquant la ruine des chaussées, le passage des véhicules, spécialement le poids lourd qui provoque respectivement des fissures et des déformations permanentes qui sont :

- L'orniérage par fluage pour les couches de surface bitumineuse.
- Le poinçonnement des couches non liées (sol support et GNT).
- La sollicitation des couches traitées en traction/extension par flexion.

Le trafic exerce également une augmentation de pression dans les fissures où l'eau s'est infiltrée. Par conséquent, cette eau sous pression attaque les éventuels points faibles des matériaux et de la structure, à savoir le décoller des interfaces entre couches et déchausser les granulats.

##### **III.3.2.1.2. Conditions climatiques.**

Les agents atmosphériques qui provoquent ou qui aggravent la dégradation des chaussées sont essentiellement :

##### **Action de l'eau :**

L'action de l'eau, quand elle atteint les matériaux du corps de chaussée, peut être expliquée par l'effet de la variation de la teneur en eau sur les propriétés de résistance et de rigidité de ces matériaux.

Une augmentation de la teneur en eau d'un matériau chaussée, au-delà de l'optimum correspondant à sa densité optimale, provoque une diminution de sa résistance au cisaillement et de sa rigidité, cela est l'origine de l'augmentation des déflexions et, donc, de la perte de portance de la structure de chaussée.

### **Effet de température :**

Les variations de la température à la surface d'une chaussée provoquent des phénomènes de tractions et de contractions qui entraînent les fissures. L'effet de la température est présenté sous plusieurs formes :

- La chaleur qui ramollit les couches de surface et accélère le vieillissement des produits hydrocarbonés.
- Le froid qui amène un gonflement des revêtements.
- Le cycle chaleur-froid qui altère la stabilité des matériaux et rend des surfaces bitumineuses cassantes, et donc sujettes à la fissuration et à l'effritement.

#### **III.3.2.2. Facteurs liés à la structure.**

Les malfaçons peuvent avoir comme origine des fautes diverses, commise lors de la conception et de l'exécution des travaux. Il existe plusieurs erreurs que l'ingénieur et la main d'œuvre peuvent commettre :

- Un sous dimensionnement par rapport au trafic qui, compte tenu du sol support, provoque l'apparition rapide et l'évolution accélérée des dégradations des chaussées.
- Les sous-épaisseurs, ponctuelles ou étendues, induisent dès l'origine un excès de sollicitation dans la zone sous-dimensionnée, qui se traduit, à plus ou moins long terme, par l'apparition prématurée de fissures ou de faïençage.
- Les défauts de collage entre deux couches supposées solidaires, conduisent à une sollicitation excessive de chacune des couches de la structure.

#### **III.3.2.3. Facteurs liés aux matériaux.**

Une utilisation d'un mauvais matériau peut être la cause de la dégradation d'une chaussée.

##### **III.3.2.3.1. Matériaux non traités.**

- Une teneur en eau trop élevée altère les performances mécaniques des matériaux non traités, aussi bien en rigidité qu'en résistance à la déformation permanente.
- La teneur en fines et la propreté de ces fines (valeur de bleu de méthylène, ou MB) sont également des facteurs déterminants ; telles que des valeurs élevées de ces caractéristiques 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 sensibilité conduit généralement à une fissuration des couches supérieures et à l'orniérage.

##### **III.3.2.3.2. Matériaux bitumineux.**

#### **La teneur en liant :**

L'optimum de la teneur en liant est déterminé lors de l'étude de formulation du mélange, la teneur en liant 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 (décohésion de la liaison liant/granulats).
- Une perte de rigidité du mélange.

Un surdosage 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 :**

Il peut conduire à une plus grande sensibilité du mélange à l'orniérage.

**La surchauffe des mélanges bitumineux :**

Ce cas est provoqué par la fabrication en centrale, et entraîne un vieillissement prématuré du liant, ce qui conduit généralement au désenrobage et à la fissuration thermique des couches de surface.

**Le sur-compactage des couches de surface :**

Cela peut induire un risque accru d'orniérage, et un manque de macro-texture.

**Le sous-compactage des matériaux bitumineux :**

Ce cas aussi est défavorable, car il peut également conduire, en plus d'un affaiblissement des caractéristiques mécaniques (module et fatigue), à un risque d'orniérage par post-compactage.

**III.4. LES DEGRADATIONS DES CHAUSSEES.**

Ces dégradations représentent une modification de la surface de la route, lui donnant un aspect altéré. Elles affectent le corps de chaussée et le sol support, pour apparaître par la suite au niveau de la couche de roulement. Elles peuvent apparaître sous plusieurs formes et localisation selon chaque cas de route.

De façon générale, chaque dégradation, peut-être de trois niveaux de sévérité incluant les notions suivantes :

- **Faible :** Ce niveau correspond au stade initial de la dégradation : les premiers indices apparaissent parfois de façon intermittente sur un segment de route et l'évaluateur doit être attentif pour y déceler les symptômes de détérioration. Ce niveau est souvent difficile à percevoir pour un observateur se déplaçant en véhicule à une vitesse de l'ordre de 50 km/h. À la vitesse maximale permise, le confort au roulement n'est pas altéré ou l'est très peu.

- **Moyen :** Ce niveau désigne une dégradation continue et facilement perceptible pour un observateur se déplaçant à une vitesse de l'ordre de 50 km/h. À la vitesse maximale permise, le confort au roulement est sensiblement diminué par la plupart des dégradations.

- **Majeur :** Ce niveau indique que la dégradation est accentuée et évidente, même pour un observateur se déplaçant à une vitesse de l'ordre de 50 km/h. Le confort au roulement est généralement diminué et, dans certains cas, la sécurité à la vitesse maximale permise peut être compromise.

Une intervention de réfection ou de correction devrait être envisagée dans les meilleurs délais possibles lorsque ce niveau est atteint. (Quebec, 2002)

L'évaluation du niveau de sévérité des dégradations se fait grâce à un paramètre (D) traduit par un chiffre donnant une impression générale sur le confort et l'aspect visuel de la couche de roulement. Ce paramètre, inférieur à 5, est représentatif de plusieurs caractéristiques

géométrique de la dégradation représenté, pour chaque cas, tel que la gravité (G) et l'étendu (E).

Pour la classification de l'état de dégradation de la sous-section, il suffit alors de comparer le paramètre obtenu aux plages suivantes :

$D < 2$  : *Etat bon.*

$2 \geq D > 4$  : *Etat moyen.*

$D \geq 4$  : *Etat mauvais.*

Les dégradations étant diverses et variées, elles peuvent être divisées en quatre grandes familles (CTTP, 1996) :

- Les déformations.
- Les fissurations.
- Les arrachements.
- Les remontées.

### III.4.1. Les déformations.

#### III.4.1.1. Les tassements.

Ce sont les abaissements de niveau de la route. Elles affectent généralement des surfaces importantes.



Figure III.11 Les tassements.

#### Causes fréquentes :

- Un changement localisé de la teneur en eau du sol support.
- Un compactage insuffisant lors de la réalisation.
- L'effet du gel et du dégel des sols.
- Un trafic lourd très important lors de l'exploitation.

#### Niveau de sévérité :

Les indicateurs utilisés pour le calcul du paramètre D (Tableau III.2) sont :

- Gravité (G) : Profondeur en mm.
- Etendu (E) : % de la surface atteinte par rapport à la surface totale de la sous-section.

Tableau III.2 Paramètre D pour le tassement, les affaissements, les flaches et les fissures longitudinales.

<b>E \ G</b>	<b>&lt; 20mm</b>	<b>20 à 40mm</b>	<b>&gt; 40mm</b>
<b>&lt; 10%</b>	1	3	4
<b>10 à 50%</b>	2	4	5
<b>&gt; 50%</b>	3	5	5

### III.4.1.2. Les affaissements.

Ce sont des variations du niveau du profil longitudinal ou transversal de la route. Ils se trouvent aussi bien au niveau de l'axe de la route que sur les bords de chaussée et peuvent être localisés ou généralisés.



Figure III.12 Les affaissements.

#### Causes fréquentes :

- Un mauvais drainage superficiel (dénivellation locale empêchant l'évacuation normale des eaux superficielles).
- Un mauvais drainage latéral avec stagnation d'eau dans le fossé ou nappe phréatique trop haute.
- Matériau de la couche de base ou de fondation argileux ou pollué.
- Sous dimensionnement et tassement des couches inférieures.
- Chaussée non calée à la rive.
- Pénétration de l'eau dans le corps de la chaussée.

#### Niveau de sévérité :

Les indicateurs utilisés pour le calcul du paramètre D (Tableau III.2) sont :

- Gravité (G) : Profondeur en mm.
- Etendu (E) : % de la surface atteinte par rapport à la surface totale de la sous-section.

### III.4.1.3. Les flaches.

Ce sont des dépressions (tassements) locales de forme arrondie ou ovale.



Figure III.

13 Les flaches.

#### Causes fréquentes :

- Dégradations des couches inférieures du corps de chaussée en un point sensible (présence de matériaux sans consistance...).
- Pollution du corps de chaussée.
- Drainage inexistant.
- Rupture de canalisation entérée.

#### Niveau de sévérité :

Les indicateurs utilisés pour le calcul du paramètre D (Tableau III.2) sont :

- Gravité (G) : Profondeur en mm.
- Etendu (E) : % de la surface atteinte par rapport à la surface totale de la sous-section.

### III.4.1.4. Les bourrelets.

Ce sont des gonflements longitudinaux ou transversaux apparaissant à la surface de la chaussée.

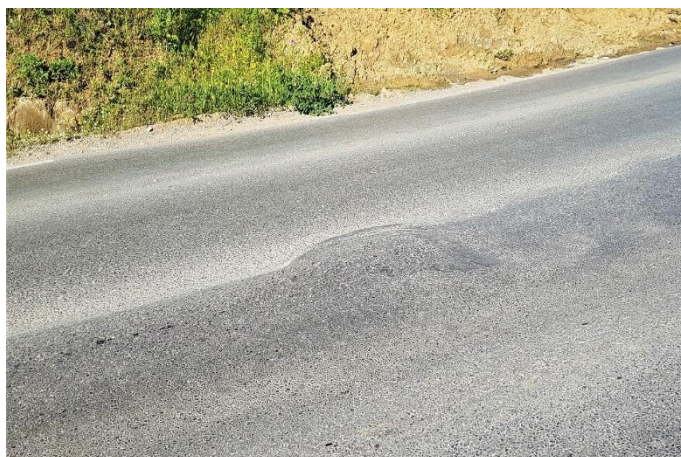


Figure III.14 Les bourrelets.

**Causes fréquentes :**

- Fluage d'une ou de plusieurs couches du revêtement, entraînant des déplacements de matières (d'où la création de bourrelets).
- Température élevée dans l'enrobé.
- Mélanges d'enrobé peu stable.
- Manque de liaison entre le revêtement bitumineux et la couche sous-jacente (couche de collage).
- Efforts tangentiels importants (zones d'arrêts et démarrage).

**Niveau de sévérité :**

Les indicateurs utilisés pour le calcul du paramètre D (Tableau III.3) sont :

- Gravité (G) : Profondeur en mm.
- Etendu (E) : % de la surface atteinte par rapport à la surface totale de la sous-section.

**Tableau III.3 Paramètre D pour les bourrelets, les tôles ondulées, les bosses et les épaufrures.**

		<b>G</b>		
		<i>&lt; 20mm</i>	<i>20 à 40mm</i>	<i>&gt; 40mm</i>
<b>E</b>	<i>&lt; 10%</i>	1	3	4
	<i>10 à 50%</i>	2	3	5
	<i>&gt; 50%</i>	3	4	5

**III.4.1.5. Les tôles ondulées.**

Ce sont des ondulations perpendiculaires à l'axe de la chaussée, rencontrées fréquemment dans les routes non-revêtues.



**Figure III.15 Les tôles ondulées.**

**Causes fréquentes :**

- Mauvaise qualité de mise en œuvre de la couche de surface si elle existe.
- Faible stabilité de l'enrobé.
- Zone fortement sollicitée par les efforts tangentiels.
- Couche de base granulaire instable sous revêtement mince.

**Niveau de sévérité :**

Les indicateurs utilisés pour le calcul du paramètre D (Tableau III.3) sont :

- Gravité (G) : Profondeur en mm.
- Etendu (E) : % de la surface atteinte par rapport à la surface totale de la sous-section.

**III.4.1.6. Les bosses.**

Ce sont des soulèvements localisés de la chaussée.



Figure III.16 Les bosses.

**Causes fréquentes :**

- Absorption d'humidité (par des matériaux sujets au gonflement).
- Soulèvement de la chaussée dû au gel en un point spécifique.

**Niveau de sévérité :**

Les indicateurs utilisés pour le calcul du paramètre D (Tableau III.3) sont :

- Gravité (G) : Profondeur en mm.
- Etendu (E) : % de la surface atteinte par rapport à la surface totale de la sous-section.

**III.4.1.7. Les ornières.**

Ce sont des dépressions longitudinales se développant sous le passage des roues.

Il existe des ornières dites à faible rayon (ne représentant que le passage de la roue et donc de largeur relativement faible, de l'ordre de 250mm) et à grand rayon (s'étendant sur une grande largeur de la route, soit > 250mm).



Figure III.17 Les ornières à petit rayon.



Figure III.18 Les ornières à grand rayon.

**Causes fréquentes :**

- Fluage de l'enrobé.
- Sous-dimensionnement du corps de chaussée.
- Trafic lourd et intense.
- Contamination et / ou présence d'eau dans les couches inférieures de la chaussée.
- Granularité incorrecte.
- Bitume trop mou (souple) pour la région ou température élevée dans l'enrobé.
- Sur compactage sous l'action d'une circulation lourde canalisée.

**Niveau de sévérité :**

Les indicateurs utilisés pour le calcul du paramètre D (Tableau III.4) sont :

- Gravité (G) : Profondeur en mm.
- Etendu (E) : % de la surface atteinte par rapport à la longueur totale de la sous-section.

Tableau III.4 Paramètre D pour les ornières et les nids de poules.

G \ E	< 20mm	20 à 40mm	> 40mm
< 10%	1	3	5
10 à 50%	2	4	5
> 50%	3	5	5

**III.4.2. Les fissurations.**

**III.4.2.1. Les faïençages.**

Ce sont des cassures en mailles de revêtement. Elles peuvent être à mailles fines ou à mailles larges.



Figure III.19 Les faïençages à mailles larges.



Figure III.20 Les faïençages à mailles fines.

**Causes fréquentes :**

- Contamination du corps de chaussée par de l'argile.
- Mauvais accrochage de la couche de base sur la couche de roulement.
- Fatigue du revêtement (vieillesse du liant).
- Sous dimensionnement des couches de chaussées.
- Perméabilité de la couche de base inférieure à celle de la couche de roulement.
- Dégradation des couches inférieures (couche de base principalement), désagrégation, tassement.

**Niveau de sévérité :**

Les indicateurs utilisés pour le calcul du paramètre D (Tableau III.5) sont :

- Gravité (G) : Largeur des fissures en mm.
- Etendu (E) : % de la surface atteinte par rapport à la surface totale de la sous-section.

Tableau III.5 Paramètre D pour les faïençages et les fissures paraboliques et fines.

G \ E	< 2mm	2 à 10mm	> 10mm
< 10%	1	4	5
10 à 50%	2	5	5
> 50%	3	5	5

**III.4.2.2. Les fissures paraboliques de glissement.**

Ce sont des fissures ou déchirements de la chaussée en forme de demi-lune ou de croissant à axe longitudinale.



Figure III.21 Les fissures paraboliques de glissement.

**Causes fréquentes :**

- Glissement de la couche de roulement dans les zones où le revêtement est soumis à des efforts importants de cisaillement (zones de freinage-accélération).
- Défaut d'accrochage de la couche de roulement à la couche inférieure ou épaisseur insuffisante de la couche de roulement.
- Dégradation d'une couche de base traitée au liant hydraulique.

**Niveau de sévérité :**

Les indicateurs utilisés pour le calcul du paramètre D (Tableau III.5) sont :

- Gravité (G) : Largeur des fissures en mm.
- Etendu (E) : % de la surface atteinte par rapport à la surface totale de la sous-section.

**III.4.2.3. Les fissures fines.**

Ce sont de petites fissures superficielles. Elles sont généralement rapprochées.

**Causes fréquentes :**

- Mauvais dosage en bitume où excès de fines en surface.
- Cylindrage au mauvais moment (ex : quand le mélange est trop chaud).
- Base non stable lors du compactage.

**Niveau de sévérité :**

Les indicateurs utilisés pour le calcul du paramètre D (Tableau III.5) sont :

- Gravité (G) : Largeur des fissures en mm.
- Etendu (E) : % de la surface atteinte par rapport à la surface totale de la sous-section.

**III.4.2.4. Les fissures longitudinales et en dents de scie.**

Ce sont des cassures du revêtement qui affectent la surface et le corps de la chaussée selon l'axe longitudinale de la route. Elles sont généralement en dents de scie.



Figure III.22 Les fissures longitudinales.

**Causes fréquentes :**

- Ouverture du joint longitudinal de la couche bitumineuse de surface (défaut d'exécution).
- Fatigue du revêtement dans les traces des roues (problème de dimensionnement).
- Fissure de réflexion à l'endroit d'un épaulement ou d'un élargissement.
- Retrait des matériaux de la couche de base ou de fondation.
- Instabilité d'une chaussée établie sur un mauvais remblai.
- Sous dimensionnement des couches inférieures.
- Non accrochage de la couche de roulement sur la couche de base.
- Efforts horizontaux importants (zone de freinage).
- Largeur insuffisante de la chaussée poussant la circulation trop près de la rive.
- Action du gel.
- Mauvais drainage.

**Niveau de sévérité :**

Les indicateurs utilisés pour le calcul du paramètre D (Tableau III.2) sont :

- Gravité (G) : Largeur des fissures en mm.
- Etendu (E) : % de la surface atteinte par rapport à la surface totale de la sous-section.

**III.4.2.5. Les fissures transversales.**

Ce sont des cassures du revêtement en bords de chaussée.



Figure III.23 Les fissures transversales.

**Causes fréquentes :**

- Non accrochage de la couche de roulement sur la couche de base.
- Faible épaisseur du corps de chaussée.
- Mauvaise exécution du joint de reprise.
- Manque de compactage d'une tranche traversant la chaussée.
- Remontée de fissures, suite à un retrait du matériau des couches inférieures traitées aux liants hydrauliques.

**Niveau de sévérité :**

Les indicateurs utilisés pour le calcul du paramètre D (Tableau III.6) sont :

- Gravité (G) : Largeur en mm.
- Etendu (E) : Nombre de fissures transversales par sous-section.

Tableau III.6 Paramètre D pour les fissures transversales.

G \ E	< 2mm	2 à 10mm	> 10mm
< 2	1	3	4
2 à 15	2	3	5
> 15	3	5	5

**III.4.2.6. Les épaufrures.**

Ce sont des cassures du revêtement suivant une ligne transversale avec ou sans rupture du corps de chaussée.



Figure III.24 Les épaufrures.

**Causes fréquentes :**

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

**Niveau de sévérité :**

Les indicateurs utilisés pour le calcul du paramètre D (Tableau III.3) sont :

- Gravité (G) : % de la largeur de l'épaufrure par rapport à la largeur de la chaussée.
- Etendu (E) : % de la longueur affecté par rapport à la longueur de la sous-section.

**III.4.3. Les arrachements.**

**III.4.3.1. Les nids de poule.**

Ce sont des cavités de taille variée et de forme arrondie à bords francs, créées à la surface de la chaussée par enlèvement des matériaux.



Figure III.25 Les nids de poule.

**Causes fréquentes :**

- Evolution d'un autre défaut causant une désintégration avec arrachement du matériau.
- Circulation des points faibles de la chaussée.

- Dégel et fortes proportions d'eau dans la chaussée combinées avec le passage d'essieux lourds.
- Mauvaise adhérence des gravillons au film de liant.
- Mauvaise répartition du liant.
- Granulats pollués.
- Sous dosage en liant.

**Niveau de sévérité :**

Les indicateurs utilisés pour le calcul du paramètre D (Tableau III.4) sont :

- Gravité (G) : Profondeur en mm.
- Etendu (E) : Nombre de nids de poule par sous-section.

**III.4.3.2. Les pelades.**

Ce sont des arrachements par plaque plus ou moins grande de l'enrobé de la couche de roulement.



Figure III.26 Les pelades.

**Causes fréquentes :**

- Stade final d'un faïençage ou d'une flache.
- Rupture du liant sous effet mécanique.
- Pollution du corps de chaussée.
- Arrachement des matériaux sous l'effet mécanique.
- Epaisseur ou stabilité insuffisante de la couche de roulement.
- Mauvaise adhésivité de la couche de roulement sur le support.
- Perméabilité de la couche de base inférieure à celle de la couche de roulement.

**Niveau de sévérité :**

Les indicateurs utilisés pour le calcul du paramètre D (Tableau III.7) sont :

- Gravité (G) : Epaisseur en mm de la couche d'enrobée atteinte.
- Etendu (E) : % de la surface affectée par rapport à la surface de la sous-section.

Tableau III.7 Paramètre D pour les pelades.

E \ G	G		
	< 10mm	10 à 50mm	> 50mm
< 10%	1	2	4
10% à 50%	1	3	5
> 50%	2	5	5

### III.4.3.3. Les plumages.

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



Figure III.27 Les plumages.

#### Causes fréquentes :

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

#### Niveau de sévérité :

Les indicateurs utilisés pour le calcul du paramètre D (Tableau III.8) sont :

- Gravité (G) : % de la zone atteinte par mètre carré.
- Etendu (E) : % de la surface affectée par rapport à la surface de la sous-section.

Tableau III.8 Paramètre D pour les plumages et les désenrobages.

E \ G	G		
	< 10%	10 à 50%	> 50%
< 10%	1	2	3
10% à 30%	2	4	5
> 30%	3	5	5

#### III.4.3.4. Les désenrobages.

Ce sont des disparitions de pellicule de liant enveloppant les granulats de la surface de la couche de roulement.



Figure III.28 Les désenrobages.

#### Causes fréquentes :

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

#### Niveau de sévérité :

Les indicateurs utilisés pour le calcul du paramètre D (Tableau III.8) sont :

- Gravité (G) : % de la zone atteinte par mètre carré.
- Etendu (E) : % de la surface affectée par rapport à la surface de la sous-section.

#### III.4.4. Les remontées.

Il s'agit d'apparition en surface de remontées des couches inférieures de boue, d'eau, de liant ou de sel. La présence de ce défaut constitue un danger de glissement et de dérapage pour les véhicules.



Figure III.29 Les remontées.

**Causes fréquentes :**

- Température élevée dans le revêtement.
- Liant inadapté (bitume ou cut-back (liant entre les couches) trop mou « souple »).
- Surdosage en liant.
- Disparition de la couche de gravier.
- Contamination de la couche de surface par les fines de couches inférieures.

**Niveau de sévérité :**

Il n'y a dans ce cas qu'un seul indicateur utilisé pour le calcul du paramètre D :

- Etendu (E) : % de la surface atteinte par rapport à la surface de la sous-section.

$E < 5\% : 1$

$E \text{ de } 5 \text{ à } 50\% : 2$

$E > 50\% : 3$

**III.5. CONCLUSION.**

On dit que pour bien savoir affronter un ennemi, on doit d'abord bien le connaître. Dans ce chapitre, on a présenté les différents types de chaussée et leurs modes fonctionnements, ainsi que leur les dégradations possibles pouvant les affecter.

En connaissant ces dégradations et surtout leurs causes, il est possible pour l'ingénieur d'identifier les problèmes réels pouvant sous-tendre le projet et ainsi pouvoir leurs trouver des solutions dans le présent projet.

## **CHAPITRE IV : AUSCULTATION DES CHAUSSEES ROUTIERES.**

### **IV.1 INTRODUCTION.**

L'auscultation des chaussées est la description de l'état de santé de la chaussée et l'établissement de son diagnostic afin d'y apporter des remèdes nécessaires pour son maintien dans un niveau de service appréciable.

Elle est essentielle lors de l'étude de renforcement car elle permet de bien se familiariser avec la chaussée et les dégradations qu'elle présente, elle a alors pour objectif de :

- Déterminer les propriétés de chaque couche de chaussée.
- Apporter les informations nécessaires sur la chaussée pour établir la technique de renforcement appropriée.

### **IV.2. PRINCIPE DE L'AUSCULTATION DES CHAUSSEES.**

L'auscultation se décompose en trois phases clés (Figure IV.1) qui sont (CEREMA, 2016) :

**Phase 1 :** Recueillir des informations en différents points de l'itinéraire.

Dans l'état actuel des procédés d'investigation sur chaussée, il faut avoir des informations sur :

- L'historique de la chaussée (l'historique de la chaussée, l'environnement, les contraintes géométriques et le climat/température).
- Le trafic.
- L'état visuel de surface de la chaussée (dégradation, orniérage, fissuration...).
- La planéité des surfaces (l'uni) et l'adhérence de la chaussée (le frottement).
- La déformabilité de la chaussée sous charge (déflexion).
- Les épaisseurs des couches de chaussée (régularité des épaisseurs).

**Phase 2 :** Découpage de l'itinéraire étudié en zones homogènes.

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

Le découpage en zones homogènes doit être réalisé à partir de pré-découpages issus :

- Des données de situation et des données historiques.
- Des données de trafic.
- Des dégradations relevées lors du relevé visuel.
- Des déflexions.
- De l'état d'adhérence et de la planéité de la surface de chaussée.
- De la composition des couches de chaussée.

**Phase 3 :** Investigations complémentaires sur les sections témoins.

Cette phase consiste à chercher et à préciser le comportement identifié sur les zones homogènes, par des analyses plus fines sur des sections témoins identifiées dans les zones homogènes (selon leur longueur). Un programme d'investigations complémentaires sera réalisé sur ces sections témoins (mesures de rayon de courbures sur zones témoins, mesures de déflexion sur fissures transversales), afin de connaître les propriétés et les défauts des couches de la chaussée.

Dans un second temps, on vérifie que le résultat de la section témoin est bien représentatif de l'ensemble de la section homogène.

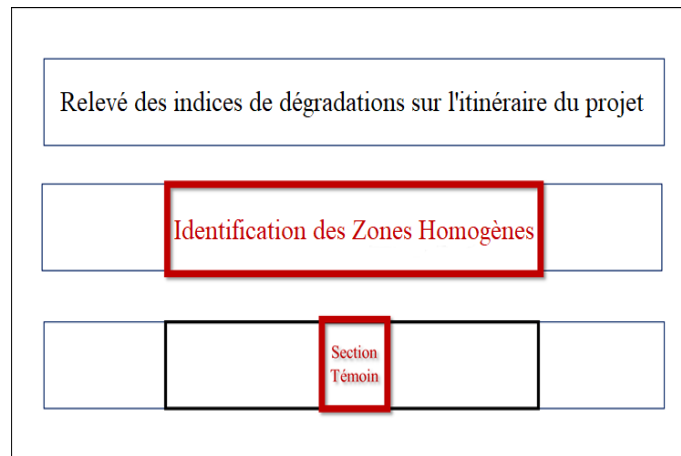


Figure IV.1 Phases de l'auscultation des chaussées.

### IV.3. RECUEIL DES INFORMATIONS SUR LE TRONCON D'ETUDE.

#### IV.3.1. Dégradations de la chaussée.

Pour l'étude de l'état de la route, une campagne de relevé visuel de l'état de la chaussée est primordiale. Cela consiste à identifier et répertorier visuellement les dégradations présentées par la chaussée.

Ce relevé sera alors considéré comme un indicateur de base de l'état générale de la chaussée et permettra d'avoir un repère pour l'étude des problèmes de la chaussée et de leurs gravités.

L'identification de ces dégradations, permet aussi, en remontant à leur source de mieux comprendre et appréhender le comportement de la chaussée.

#### IV.3.1.1. Méthodologie d'inspection et d'évaluation des dégradations de la chaussée.

- Division du projet en tronçons de 100m.
- Localisation de toutes les dégradations apparentes de la chaussée sur chaque tronçon.
- Classification du type de la dégradation.
- Relevé des caractéristiques géométriques de chaque dégradation.
- Calcul du coefficient de dégradation et évaluation de la gravité.
- Evaluation de l'état de dégradation de chaque tronçon.
- Identification des zones homogènes présentant des dégradations de mêmes degrés de gravité.

#### IV.3.1.2. Auscultation des dégradations de la chaussée étudiée.



##### IV.3.1.2.1. Localisation des dégradations.

Plusieurs déformations ont été observées sur le tronçon d'étude de la RN03. Il est donc nécessaire de bien savoir caractériser et situer ces déformations avant même le début de l'étude.

**Sens Aller :** Allant du Carrefour 24 Février au carrefour des puits historique.

Ce sens de circulation montre la présence de quelques ornières au début et à la fin du trajet, mais surtout la présence très fréquente de fissurations sous différentes formes. (Figure IV.2 à Figure IV.4, Tableau IV.1).

Tableau IV.1 Exemples de dégradations du projet -sens aller-.

Localisation	Type de dégradation	Exemple	Gravité
PR 00+100.	Orniérage à petit rayon.		Faible.
PR 00+100.	Faïençage à mailles fines.		Moyen.

PR 00+300

Fissure longitudinale de joint + Ornière à petit rayon.



Moyen.

PR 1+200.

Fissure de joint transversale.



Majeur.

PR 2+100.

Faïençage à mailles fines accompagné d'un affaissement



Majeur.

PR 02+200.

Faiçençage à mailles fines accompagné d'un affaissement.



Majeur.

PR 02+300.

Faiçençage a mailles fines.



Majeur.

PR 02+336.

Faiçençage a mailles larges.



Majeur.

PR 02+500.

Fissure de joint longitudinale.



Majeur.

PR 02+500.

Fissure longitudinale.



Majeur.

PR 02+500.

Fissure de joint transversale.



Majeur.

PR 2+500.

Faiençage à mailles larges.



Majeur.

PR 02+520.

Fissure longitudinale de joint + Faiençage à mailles larges.



Majeur.

PR 3+000.

Faiençage à mailles larges.



Majeur.

PR 03+400.

Fissure  
longitudinale.



Majeur.

PR 4+000.

Faiçençage à  
mailles larges.



Majeur.

PR 04+500.

Faiçençage à  
mailles larges.



Majeur.

PR 04+500.

Fissure transversale.



Moyen.

PR 04+550.

Faiçençage à mailles larges.



Majeur.

PR 05+000.

Faiçençage à mailles fines + affaissement.



Majeur.

PR 05+100.

Ornière a petit rayon +  
Faiçençage à mailles larges.



Majeur.

PR 05+315.

Ornière a petit rayon +  
Faiçençage à mailles larges.



Majeur.

PR 7+200.

Fissure  
longitudinale  
de joint.



Majeur.

### Localisation des dégradations



Figure IV.2 Exemple de localisation des dégradations du PR0+000 au PR 02+500 –sens aller-.



Figure IV.3 Exemple de localisation des dégradations du PR02+500 au PR 05+000 –sens aller-.




Figure IV.4 Exemple de localisation des dégradations du PR05+000 au PR 07+500 –sens aller-.

**Sens retour :** Allant du carrefour des puits historiques au carrefour 24 Février.

On remarque, que la chaussée du sens de circulation retour (du carrefour des puits historiques vers le carrefour 24 Février) est encore plus dégradée que celle du sens aller. Elle comporte déjà, plus de types de dégradations (affaissements, bourrelets) en plus de ceux présent dans le sens aller (fissurations de différents types et ornières), mais elles sont aussi plus nombreuses et plus graves. (Figure IV.5 à Figure IV.7, Tableau IV.2).

Tableau IV.2 Exemple de dégradations du projet -sens retour-.

Localisation	Type de dégradation	Exemple	Gravité
PR 00+100.	Orniérage à petit Rayon.		Faible.

PR 01+000. Bourrelet.



Moyen.

PR 01+500. Faïençage à mailles larges.



Majeur.

PR 01+800. Faïençage à mailles fines + affaissement.



Majeur.

PR 01+837.

Faiçençage à mailles fines.



Majeur.

PR 03+400.

Désenrobage.



Moyen.

PR 03+400.

Faiçençage à mailles larges.



Majeur.

PR 03+500. Faïençage à mailles larges.



Majeur.

PR 04+300. Fissure Longitudinale.



Faible.

PR 05+000. Fissure transversale.



Moyen.

PR 05+050.

Fissure de joint longitudinale.



Moyen.

PR 05+100.

Fissure transversale.



Majeur.

PR 05+150.

Faiçonnage à mailles fines.



Moyen.

PR 05+300.

Fissure  
longitudinale.



Majeur.

PR 06+056.

Fissure de  
joint  
transversale.



Moyen.

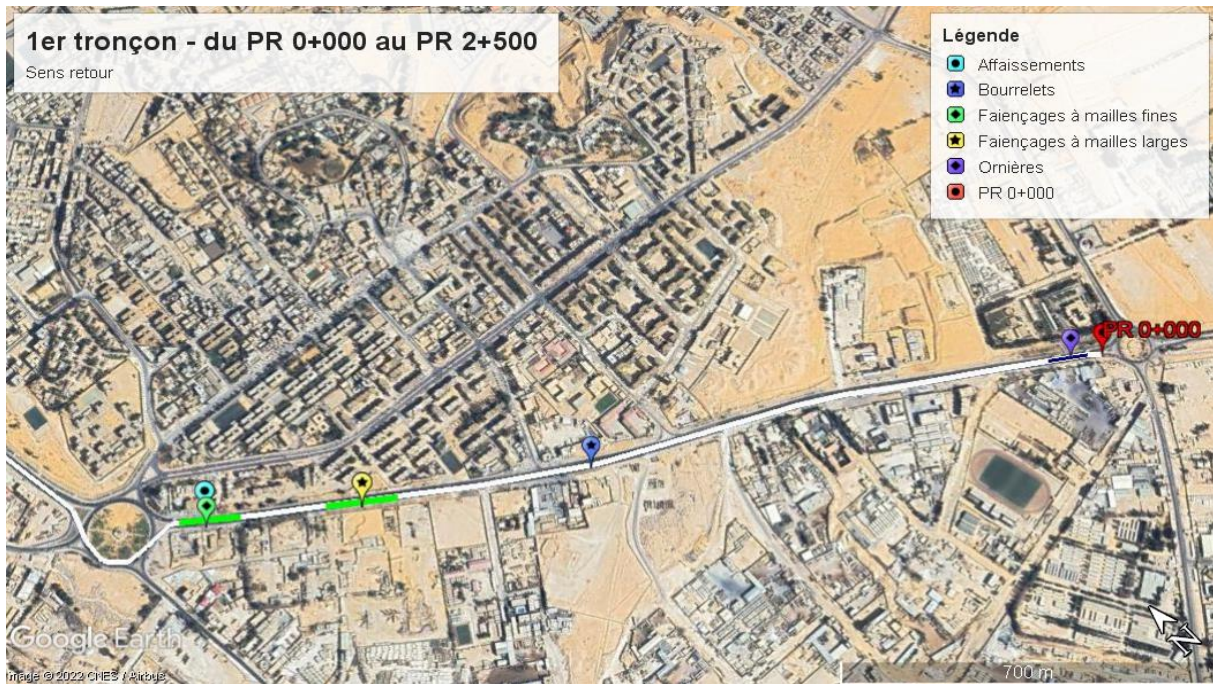
PR 07+300.

Faiçonnage à  
maille large.

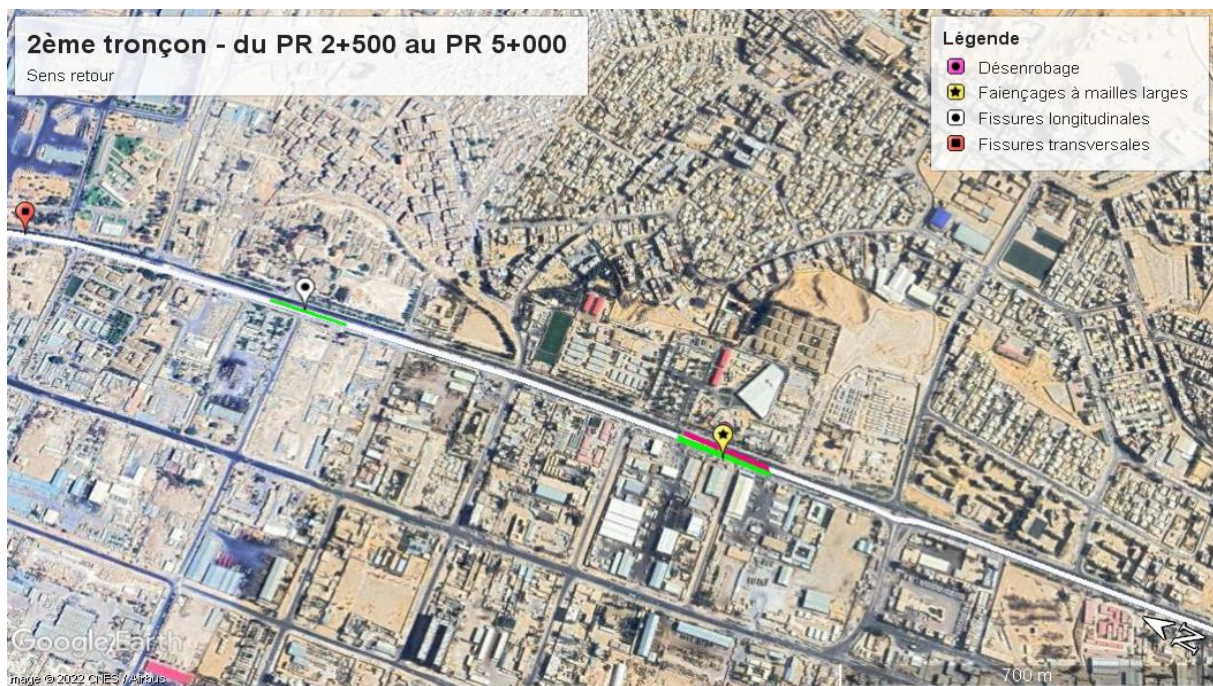


Majeur.

**Localisation des dégradations :**



**Figure IV.5 Exemple de localisation des dégradations entre le PR00+000 et PR 02+500 –sens retour-.**



**Figure IV.6 Exemple de localisation des dégradations entre le PR02+500 et PR 05+000 –sens retour-.**



Figure IV.7 Exemple de localisation des dégradations entre le PR05+000 et PR 07+500 –sens retour-.

#### IV.3.1.2.2. Détermination des zones homogènes des dégradations.

Après un relevé rigoureux des différentes dégradations avec de leurs localisations et leurs étendue et degré de gravité, il a été possible d'établir leur niveau de gravité et ainsi de définir les zones homogènes présentes sur la chaussée.

**Sens Aller :** Allant du Carrefour 24 Février au carrefour des puits historiques.

Il a été établi, dans ce sens, la possibilité de considérer deux zones homogènes sur la base des dégradations de chaussée relevées. (Figure IV.8)

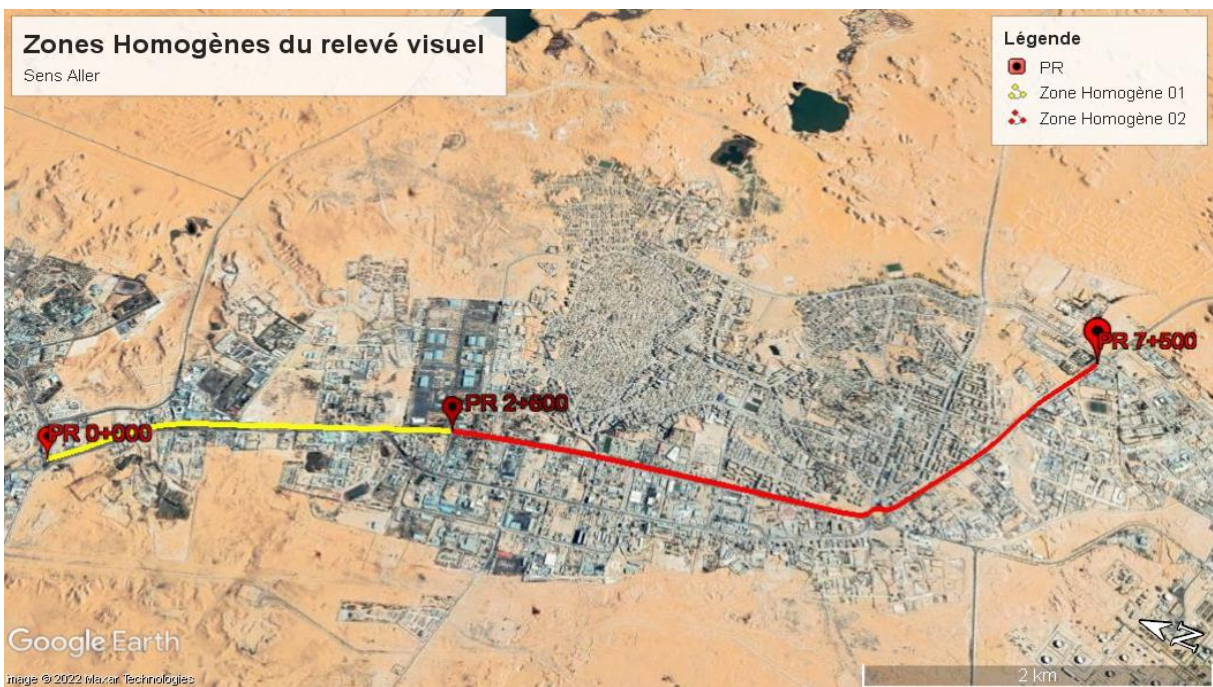


Figure IV.8 Zones homogènes des dégradations– sens aller-.

Il est aussi important d’avoir une bonne estimation de l’état de santé de la chaussée dans chacune de ces zones. (Figure IV.9).

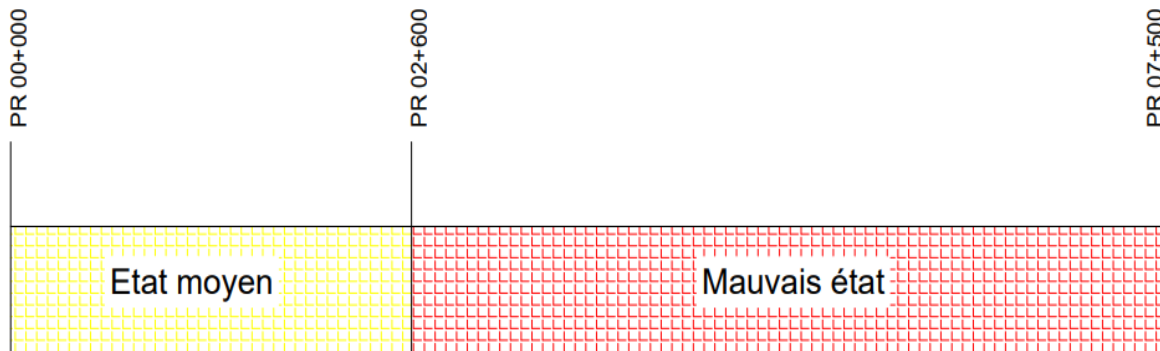


Figure IV.9 Etat de gravité des dégradations des zones homogènes – sens aller-.

**Sens retour :** Allant du carrefour des puits historiques au carrefour 24 Février.

Pour le sens retour, on a pu définir quatre zones homogènes pour bien représenter les dégradations relevées sur la chaussée. (Figure IV.10)

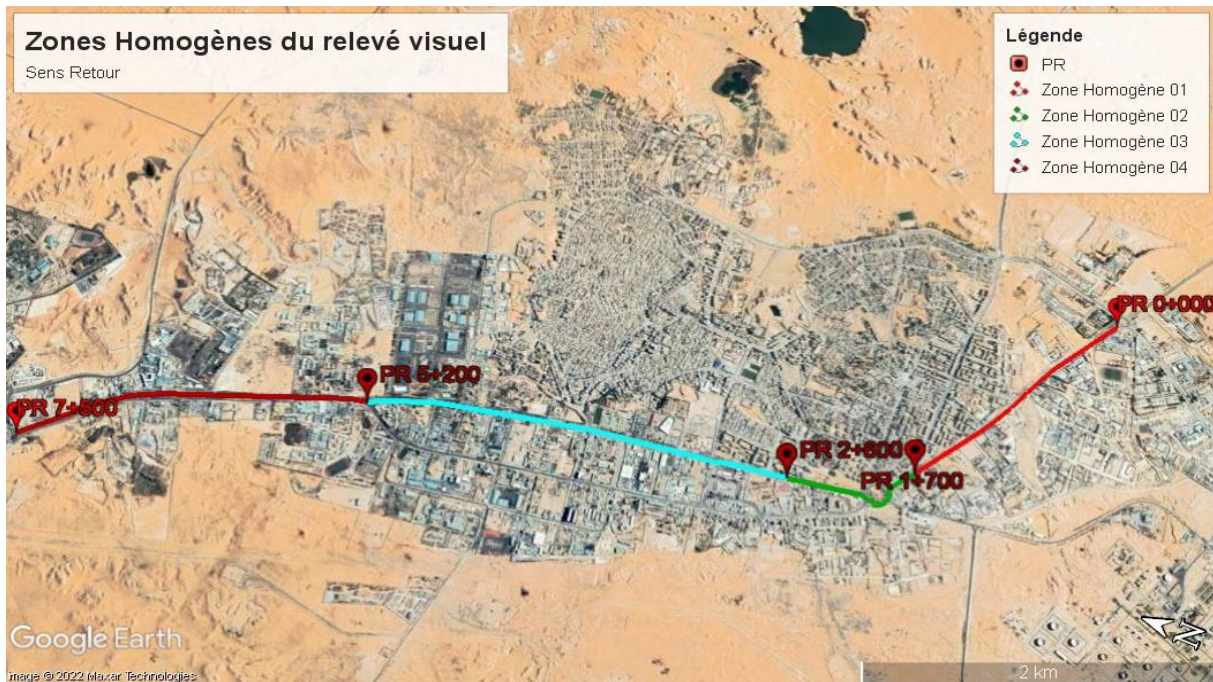


Figure IV.10 Zones homogènes des dégradations – sens retour-.

Dans ce cas, également, on a réalisé une estimation de l’état de santé de chaque zone, et on a pu remarquer de grandes différences entre chacune d’entre elles, ayant même une zone comportant des niveaux de dégradations variant de bon à moyen jusqu’au mauvais état. (Figure IV.11)

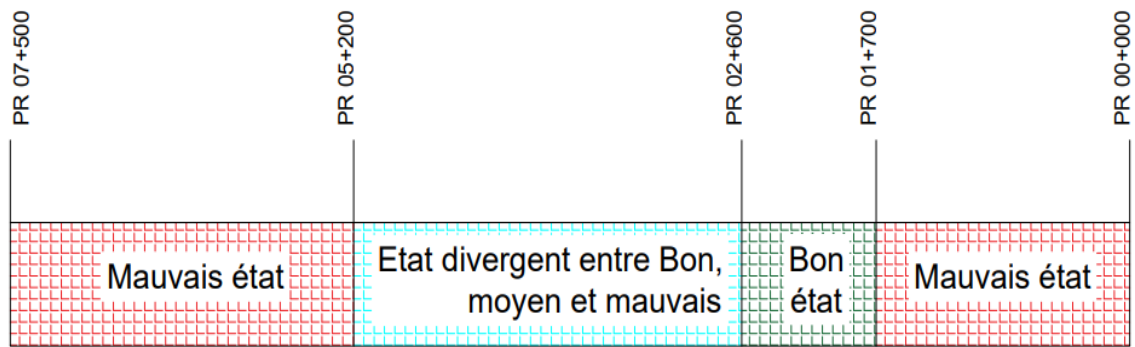


Figure IV.11 Etat de gravité des dégradations des zones homogènes – sens retour-.

### IV.3.2. Historique du projet.

Les éléments historiques de la chaussée, qui concernent la structure et sa réalisation (âge, constitution, qualité de la plate-forme, épaisseur théorique et de chantier de l'assise, qualité de fabrication et de mise en œuvre des matériaux, entretiens réalisés, etc.), jouent un rôle particulier pour l'analyse de l'état résiduel des chaussées étudiée.

Aussi, il faut considérer les conditions d'environnement des structures de chaussée, qui ont une incidence sur l'évolution de ces dernières et expliquent parfois les causes de la dégradation présente sur la chaussée.

D'ailleurs, le climat reste un élément capital du projet. Des données devrons alors y être relevé, telles que :

- Pluviosité au cours des derniers mois (moyennes mensuelles pluriannuelles).
- Températures des derniers mois (minimales et maximales) de la saison estivale et hivernale. (CEREMA, 2016)

D'autre part, l'environnement de l'itinéraire est tout aussi important dans la bonne prise d'une image complète du projet ; cette étude est caractérisée par :

- La largeur de la chaussée, le nombre de voies, la largeur des accotements.
- La situation par rapport au terrain naturel (déblai, remblai, profil mixte).
- L'assainissement de surface de la chaussée (collecte et évacuation des eaux de ruissellement).
- Les fossés : présence ou non, état (curé ou non), profondeur (inférieure ou supérieure à 0,7 m), points hauts, points bas. (CEREMA, 2016).

Pour finir, il faut prendre en compte les contraintes géométriques, qui ont une incidence sur la faisabilité et le choix des solutions de conception, ces données doivent être recueillies auprès du maître d'ouvrage, notamment celles concernant :

- Le niveau de surface à respecter (ouvrage d'art – seuils en traverse...).
- Les corrections de profil en travers (traces sinueux).
- La profondeur de décaissement (présence de réseaux enterrés).
- Les possibilités de calibrage en largeur (type de profil de plate-forme, accotements, plantations...).

### IV.3.2.1. Application au projet.

D'après les données du projet recueillis au niveau du CTTTP et de l'APC de Hassi Messaoud, il a été noté que des travaux de réhabilitation ont été réalisés sur ce tronçon de la chaussée en 2010. Tel qu'il a été question de :

- Décapage de l'ancien corps de chaussée de la route, nettoyage, arrosage, compactage et mise à niveau de la couche de forme en sable gypseux.
- Réalisation d'une couche de fondation en grave concassée (GNT).
- Pose d'une couche d'imprégnation en cut-back 0/1.
- Réalisation d'une couche de base en grave bitumineux (GB) 0/20.
- Pose d'une couche d'accrochage en émulsion de béton.
- Réalisation d'une couche de roulement en béton bitumineux (BB) 0/14.

On considère alors la chaussée comme parfaitement neuve à partir de cette date.

On pourra donc, lors de l'étude, considérer le tronçon comme une seule zone homogène du point de vue de l'historique de la chaussée (Figure IV.12).

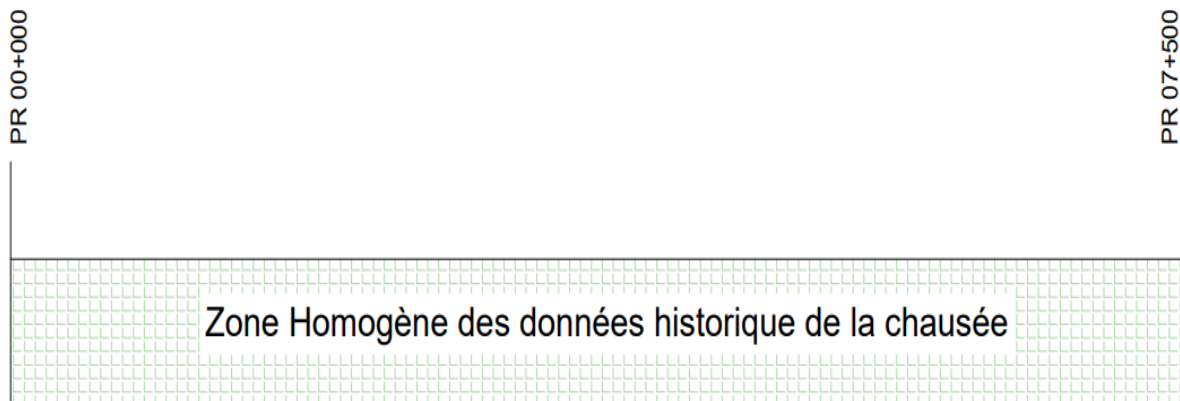


Figure IV.12 Zone homogène des données historiques de la chaussée.

Des données sur la composition de la chaussée ont, elles aussi, pu être recueillies, tel que ce qui suit (Figure IV.13) :

- Une couche de roulement en Béton Bitumineux (BB) de 6cm.
- Une couche de base en Gravier Bitumineux (GB) de 10cm.
- Une couche de fondation en Grave Non-Traité (GNT) de 15cm.
- Une couche de Tuf allant de 15 à 20cm.
- Une couche de Sable Gypseux (SG) variant entre 10 et 35cm.

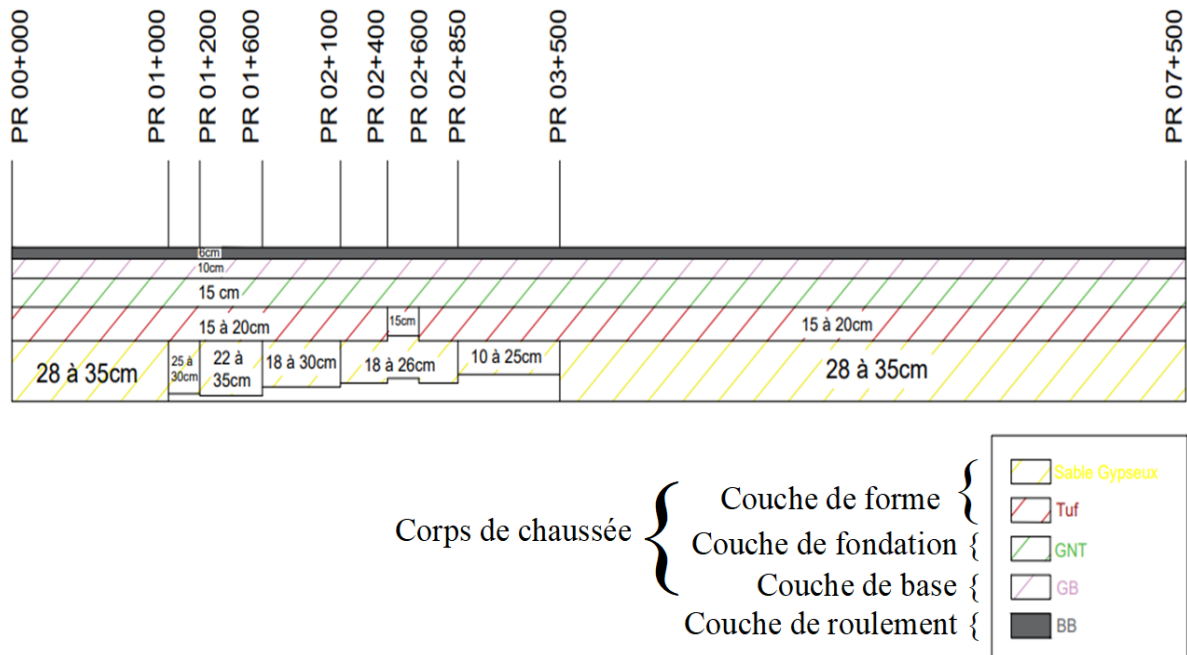


Figure IV.13 Structure théorique du corps de chaussée.

Il est important de noter que ces données restent théoriques, on peut donc y trouver beaucoup de divergences par rapport à ce qui se trouve réellement dans la chaussée. On ne pourra vraiment nous assurer de leurs degrés d’exactitude qu’après la réalisation de la campagne de carottage.

Nous bénéficions aussi de données sur la géométrie de la chaussée, tel que :

**Sens Aller :** Allant du Carrefour 24 Février au carrefour des puits historiques.

Tableau IV.3 Géométrie de l’infrastructure –sens aller-.

Localisation des sections		Géométrie (m)				
PR début	PR Fin	Voie 01 + Voie 02	Voie 03	Déclivité	Sinuosité	Relief
00+000	01+000	8,90		Faible	Faible	Plat
01+000	02+000	8,40				
02+000	02+900	11,00				
02+900	03+300	11,00				
03+300	03+500	9,00				
03+500	03+800	11,00				
03+800	04+400	11,00				
04+400	05+300	8,00				
05+300	07+500	8,00				

**Sens retour** : Allant du carrefour des puits historiques au carrefour 24 Février.

**Tableau IV.4 Géométrie de l'infrastructure –sens retour-.**

Localisation des sections		Géométrie			
PR début	PR Fin	Voie 1 + Voie 02	Déclivité	Sinuosité	Relief
00+000	01+000	08,90	Faible	Faible	Plat
01+000	02+600	08,40			
02+600	04+000	11,00			
04+000	05+000	11,00			
05+000	05+300	09,00			
05+300	07+500	11,00			

### IV.3.3. Le trafic.

Le trafic est une donnée nécessaire pour le développement des infrastructures de transport, et pour le dimensionnement de la chaussée. Elle permet aussi de comprendre l'évolution et la dégradation de la structure de chaussée.

#### IV.3.3.1. Analyse des trafics.

Plusieurs méthodes permettant l'analyse du trafic, ces méthodes peuvent être classées en deux catégories :

##### Comptages :

Les comptages sont effectués en un point donné d'une voie de circulation, pour déterminer le volume et la variation de trafic. On distingue deux types de comptage :

- Comptage automatique : On distingue ceux qui sont permanents et ceux qui sont temporaires.

En ce qui concerne les comptages permanents, ils sont réalisés en certains points choisis pour leur représentativité sur les routes les plus importantes : réseau autoroutier, réseau routier national et le chemin de wilaya les plus circulés.

Les comptages temporaires s'effectuent une fois par an durant un mois pendant la période où le trafic est intense sur les restes des réseaux routiers à l'aide de postes de comptages tournant.

- Comptage manuel : Ils sont réalisés par les agents qui relèvent la composition du trafic pour compléter les indicateurs fournis par les comptages automatiques. Les comptages manuels permettent de connaître le pourcentage de poids lourds et les transports en communs.

##### Enquêtes Cordon :

Il est plus souvent avantageux de compléter les informations recueillies à travers des comptages par des données relatives à la nature du trafic et à l'orientation des flux, une enquête cordon est une enquête de circulation « Origine-Destination » qui permet d'obtenir des informations sur les déplacements routiers. Elle consiste à interviewer des automobilistes ou des chauffeurs de poids-lourds sur le déplacement qu'ils sont en train de réaliser.

### IV.3.3.2. Composition du trafic.

Le trafic est en général composé de :

- Véhicule léger.
- Autocar ou Autobus.
- Poids lourds.
- Transport léger.

Pour les études de réalisation, renforcement d'une route, on se limitera seulement aux poids lourds.

Le poids lourd est un véhicule routier de plus de 3,5 tonnes de poids total autorisé en charge affecté soit au transport de marchandises, soit au transport de personnes. La connaissance de ce trafic poids lourds est indispensable pour :

- Etablir le diagnostic de la chaussée en place.
- Proposer des solutions de conception de la solution de renforcement.

### IV.3.3.3. Application au projet.

#### Données du projet.

- Données général du projet et des compagnes de comptage :

- Année de dernières rénovations : 2010.
- Année de comptage : 2019.
- Année de mise en service du renforcement : 2023.
- Durée de vie de la chaussée :  $N = 10$  ans.
- Coefficient d'accroissement annuel :  $i = 5\%$ .

- Répartition des zones homogènes et leurs données de trafic :

Après une double campagne de comptage, manuelle et automatique, il a été remarqué que le projet se divise sur la base du trafic en deux zones homogènes selon le trafic :

**Sens Aller :** Allant du Carrefour 24 Février au carrefour des puits historiques.  
(Figure IV.14)

- Section comprise entre le carrefour 24 Février et SNTV.
- Section comprise entre SNTV et le carrefour des puits historiques.

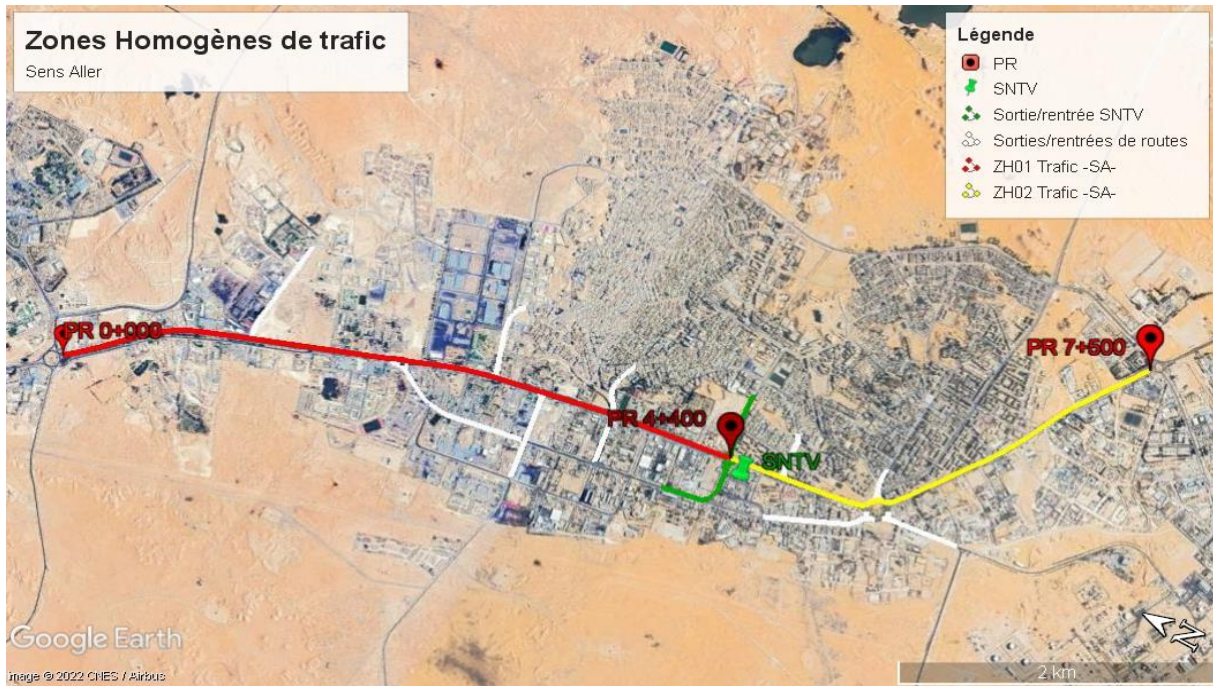


Figure IV.14 Zones homogènes des données du trafic –sens aller-.

**Sens retour :** Allant du carrefour des puits historiques au carrefour 24 Février.  
(Figure IV.15)

- Section comprise entre carrefour des puits historiques et SNTV.
- Section comprise entre SNTV et le carrefour 24 Février.

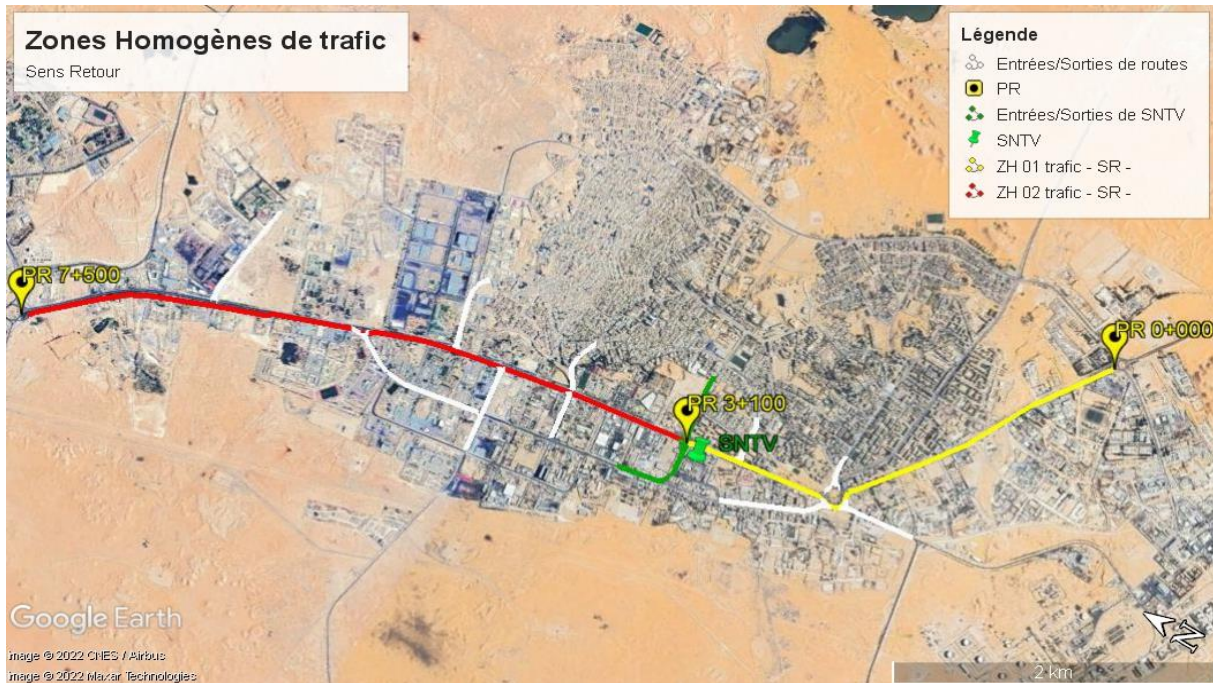


Figure IV.15 Zones homogènes des données du trafic –sens retour-.

Des données sur ces deux zones ont alors été relevées (Figure IV.16 et Figure IV.17), tel que :

- Le TJMA (Trafic Journalier Moyen) : Il représente le trafic total de l'année divisé par 365 jours.
- Le pourcentage de poids lourds : Il représente le quota de poids lourd par rapport au trafic total.

Données du trafic du **sens aller** : du carrefour 24 Fevrier au carrefour des puits historiques :

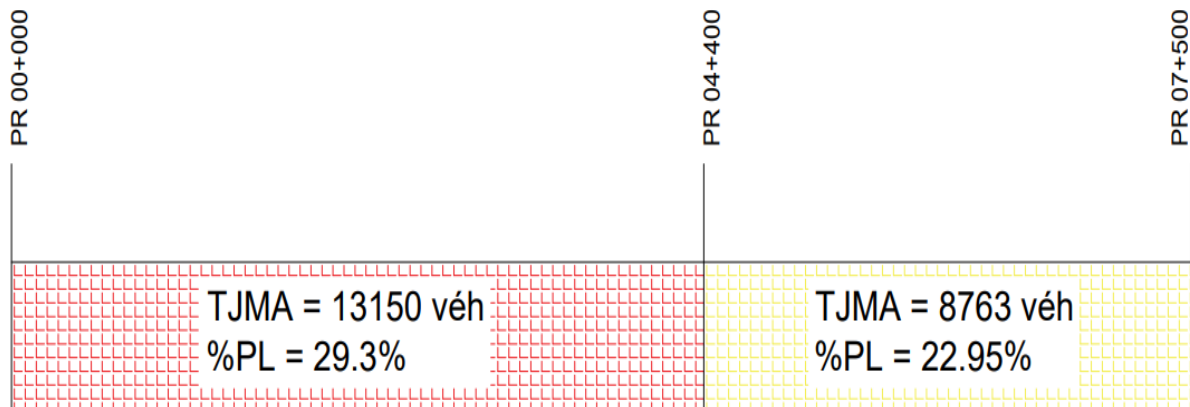


Figure IV.16 Données des zones homogènes du trafic -sens aller-.

Données du trafic du **sens retour** : du carrefour des puits historiques au carrefour 24 Fevrier :

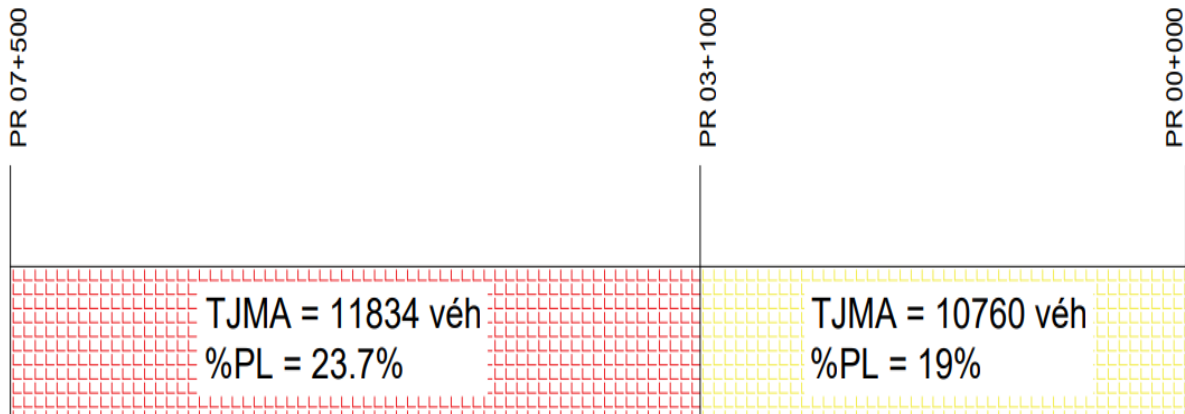


Figure IV.17 Données des zones homogènes du trafic -sens retour-.

Ceci, nous permet déjà d'avoir une idée sur la classe du trafic en fonction du TJMA (Tableau IV.3). (CEREMA, 2016)

Tableau IV.5 Définition des classes de trafic.

Classe	T5		T4		T3		T2		T1		T0		TS		TEX
	0	25	50	85	150	200	300	500	750	1200	2000	3000	5000		
TJMA	0	25	50	85	150	200	300	500	750	1200	2000	3000	5000		

On note que le trafic qui sollicite la chaussée est de classe **TEX** sur tout le tronçon et dans les deux sens.

- Répartition du trafic par voie de circulation :

Le projet représente une chaussée unidirectionnelle à 2 voies. On considère alors la répartition du trafic tel que 90% du trafic de poids lourd se trouve sur la voie lente de droite. (CTTP, 2001)

- Coefficient d'agressivité moyen :

Le CAM représente l'agressivité du trafic poids lourds considéré, divisé par le nombre de poids lourds constituant ce trafic. L'agressivité d'un trafic PL est la somme arithmétique des agressivités de l'ensemble des véhicules de PL, elle est estimée vis à vis de l'endommagement par la fatigue de la chaussée provoquée par le passage d'un essieu de charge P, par rapport au dommage dû au passage d'un essieu standard de référence de charge P0.

Il est déterminé à partir de stations de pesage en marche, en fonction du trafic local et de la pente de fatigue des matériaux de structure.

Dans ce projet, le maître d'ouvrage a donné comme instruction de prendre la valeur du CAM = 0.8.

**Calculs du trafic.**

- Trafic poids lourds à l'année de mise en service TPL :

Il représente la moyenne du trafic total de poids lourds sur la voie la plus chargée par jour. Il permet de déduire la classe du trafic (Tableau IV.4).

**Tableau IV.6 Classe du trafic RPi en fonction du TPLi.**

	Classe de trafic RPi	TPL0	TPL1	TPL2	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6	TPL7
PL/J/Voie plus chargée	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	-	-	-	-

Il se calcule par la formule :

$$TPL = (1 + i)^n * TJMA * \%PL.$$

Tel que :

- n : C'est le nombre d'années s'écoulant entre l'année de comptage et celle de mise en service de l'infrastructure : n=4.

On aura donc :

**Tableau IV.7 TPLi du projet pour les différentes zones homogènes.**

Sens	TPL (PL/jour/sens)	TPLi
Sens-aller : de carrefour 24 février vers SNTV.	4683	TPL7
Sens-aller : de SNTV vers carrefour des puits historiques.	2445	TPL6
Sens-retour : de carrefour des puits historiques vers SNTV.	2485	TPL6
Sens-retour : de SNTV vers carrefour 24 février.	3410	TPL7

- Trafic cumulé équivalent TEC :

Le TEC correspondant au nombre de poids lourds cumulé (converti en un nombre équivalent de passages de l'essieu de référence de 13 Tonnes) par sens sur la voie la plus chargée pendant la durée de la chaussée.

Il se calcule par la formule :

$$TEC = 0.9 * 365 * TPL * CAM * \frac{(1+i)^N - 1}{i}$$

On aura donc :

**Tableau IV.8 TECi du projet.**

Sens	TEC (essieux équivalents).
Sens-aller : de carrefour 24 février vers SNTV.	15 * 10 <sup>6</sup>
Sens-aller : de SNTV vers carrefour des puits historiques.	8 * 10 <sup>6</sup>
Sens-retour : de carrefour des puits historiques vers SNTV.	8 * 10 <sup>6</sup>
Sens-retour : de SNTV vers carrefour 24 février.	12 * 10 <sup>6</sup>

#### **IV.3.4. La déflexion : déformabilité de la chaussée sous charge.**

La déflexion est un autre indicateur de base de l'appréciation de l'état des chaussées. Le passage d'une charge engendre en un point d'une chaussée un déplacement vertical, appelé déflexion, qui est fonction de la distance de la charge mobile au point considéré elle caractérise la rigidité globale de la chaussée sous charge, intégrant tant la rigidité des couches de structure que celle de la plate-forme support.

Des valeurs de déflexion peu dispersées sont généralement mesurées sur une chaussée homogène et saine, alors qu'une chaussée dégradée conduit habituellement à des valeurs d'amplitude plus dispersées.

#### IV.3.4.1. Mode d'acquisition de paramètre déflexion :

Il existe de nombreux appareils de mesure de la déflexion. Leurs géométries et leurs principes de mesure différents leur confèrent des performances métrologiques diverses. Ainsi, elle est mesurée de deux manières : l'une est continue à l'aide de déflectographe, l'autre est ponctuelle à l'aide de déflectomètre à masse tombante (HWD).

##### IV.3.4.1.1. Le déflectographe.

Mesure de la déformation verticale (déflexion) en continu d'une chaussée sous l'essieu d'un poids lourd en mouvement pouvant être chargé jusqu'à 13 tonnes.

##### Objectif :

- Surveillance d'un réseau routier et l'étude de son évolution sous trafic.
- La détection des zones défectueuses à renforcer.
- Le contrôle de l'exécution et de l'efficacité des renforcements.

##### Domaine d'emploi :

- Réception de chaussées routières et autoroutières.
- Expertise.
- Auscultation dans le cadre de la gestion et de l'exploitation des réseaux routiers.

##### Caractéristique :

- Donne deux mesures instantanément : l'une au niveau de l'axe de la route et l'autre au niveau de la rive.
- Vitesse de la mesure supérieure à 3 km/h.
- Pas de mesure sur des linéaires  $\geq 4$  m.



Figure IV.18 Déflectographe.

##### IV.3.4.1.2. Heavy Weight Déflectometer (HWD) :

Le HWD est un appareil conçu pour simuler et mesurer les sollicitations d'une charge roulante, sur une chaussée par application d'un chargement par impulsions sur une plaque de charge circulaire.

##### Domaine d'application :

Le matériel HWD est un outil quasi-essentiel pour l'auscultation de réseaux routiers et pistes aéroportuaires.

**Objectif :**

- Mesurer la déformabilité des chaussées et des couches constituantes.
- Déterminer leur homogénéité lors de la réalisation.
- Apprécier la portance et le comportement à la fatigue des structures.



Figure IV.19 Défectomètre à masse tombante (HWD).

**IV.3.4.2. Méthodes de traitement des données.**

Après avoir récupéré les données nécessaires à l'étude de la déflexion d'un projet directement de l'appareil utilisé, plusieurs incohérences peuvent être remarquées. Des valeurs illogiques peuvent être observées parmi les résultats en raison, entre autre, de dégradations dans le sol. Pour pallier ce problème, il est important de bien savoir traiter ces résultats pour une détermination optimale des zones homogènes de la chaussée.

Ce traitement des données de déflexion se fait généralement par des méthodes empiriques pour mieux homogénéiser les résultats. Pour l'instant, et spécialement en Algérie, il existe deux méthodes courantes : AASHTOO ou COST. Néanmoins, lors de la réalisation de ce projet, la méthode COST a été privilégiée car elle offre une meilleure interprétation des résultats facilitant ainsi leur utilisation.

**IV.3.4.2.1. La méthode COST :**

Le COST est une méthode empirique, travaillant avec le principe de l'identification de sous-sections en utilisant les sommes cumulatives des variables où ce qu'on appelle mathématiquement les séries de variables.

Cette série se présente sous la forme :

$$S_1 = x_1 - x_m$$

$$i > 1 : S_i = x_i - x_m + S_{i-1}$$

Tel que :

- $S_i$  : Somme cumulative des variations de déflexion au point  $i$ .
- $x_i$  : Valeur de la déflexion mesurée au point  $i$ .
- $x_m$  : Moyenne de la déflexion de la section.

En utilisant cette méthode, l'étendu de la différence du niveau actuel de la déflexion de la chaussée par rapport au niveau moyen est beaucoup plus clair. Elle permet aussi de remarquer les pertes d'homogénéité entre les différentes zones, ce qui sera représenté plus concrètement par de grandes pentes sur la courbe représentant les zones très endommagées et des zones plus plate représentant les zones se rapprochant du niveau moyen.

#### IV.3.4.3. Application au projet.

**Sens Aller :** Allant du Carrefour 24 Février au carrefour des puits historiques.

Après traitement des données on a eu les résultats sous formes de graphes. (Figure IV.20).

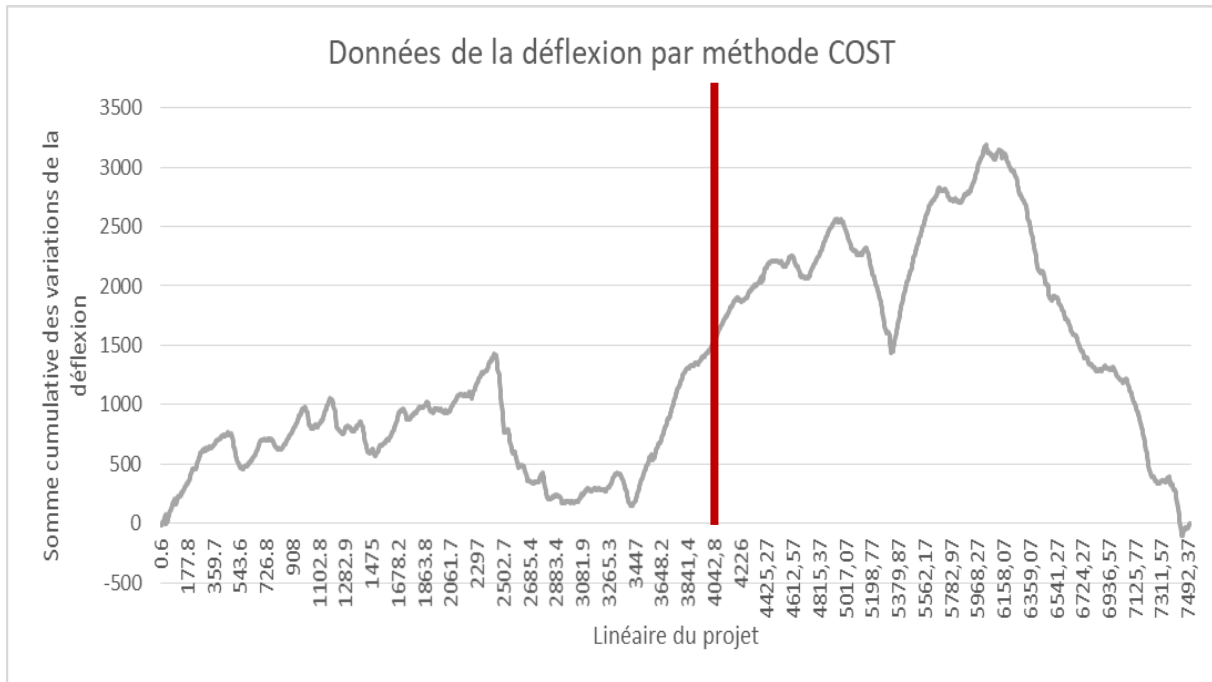


Figure IV.20 Données de la déflexion traitées par la méthode COST –sens aller-.

Après un superposition avec les données du trafic. Ceci, nous a permis de diviser l'itinéraire en 2 zones homogènes. (Figure IV.21).

- Zone Homogène 01 : du PR0+000 au PR 04+400.
- Zone Homogène 02 : du PR04+400 au PR 07+500.

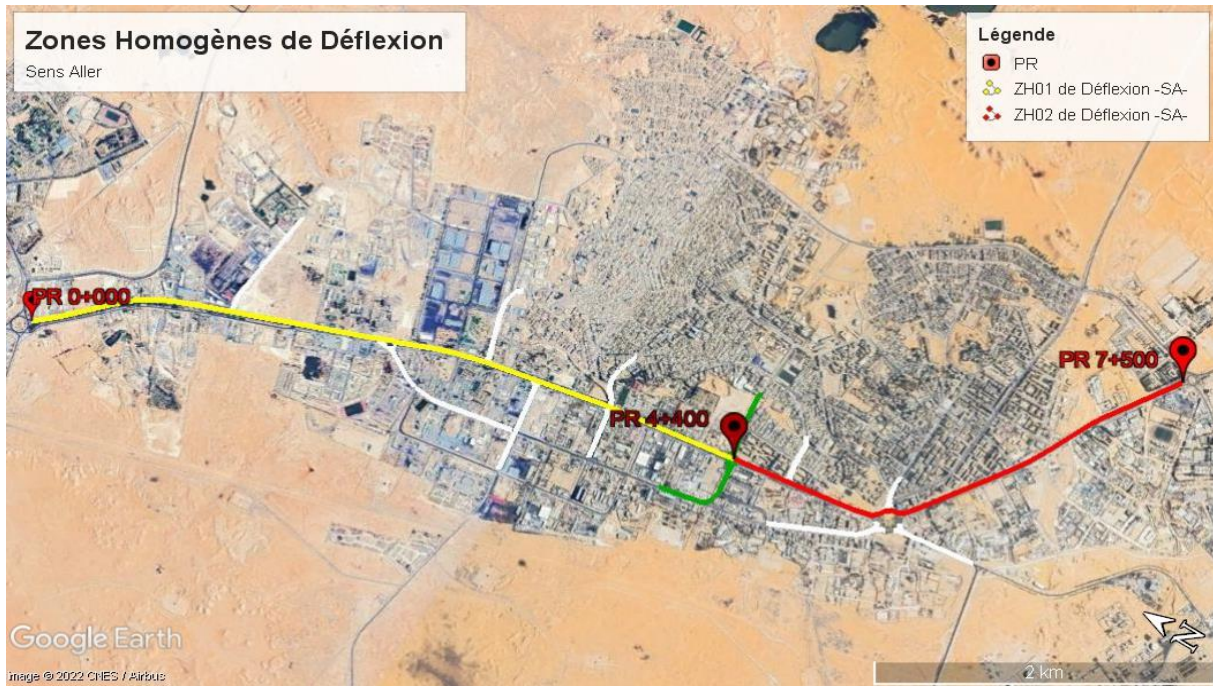


Figure IV.21 Zones homogènes de la déflexion –sens aller-.

Nous avons alors pu établir grâce à cela, les déflexions caractéristiques pour chaque zone (Figure IV.22 et Figure IV.25), qui nous permet de connaître le degré de gravité des déflexions d’une zone homogène (Tableau IV.9). (CEREMA, 2016)

Déflexion caractéristique = Déflexion moyenne de la zone + 2\*écart type des déflexions de la zone.

Tableau IV.9 Classes de déflexion caractéristique pour les chaussées souples.

Classe de déflexion	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
Seuil de déflexion caractéristique (1/100 <sup>ème</sup> mm)	De 0 à 19	De 20 à 29	De 30 à 44	De 45 à 74	De 75 à 99	De 100 à 149	De 150 à 199	De 200 à 299	≥300
Niveau global de comportement en fonction de la classe du trafic									
T1 – T0	Bon		Moyen		Mauvais				
T3 – T2	Bon			Moyen		Mauvais			
T5 – T4	Bon					Moyen		Mauvais	

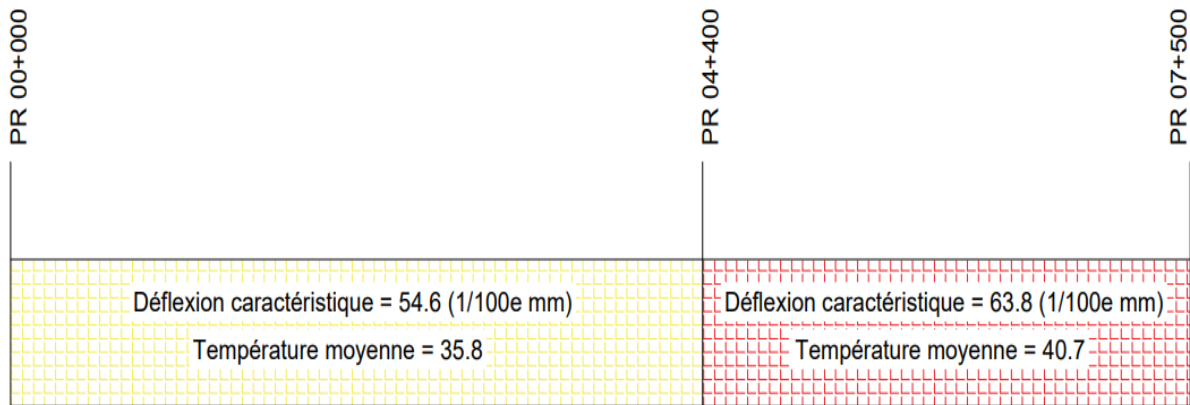


Figure IV.22 Caractéristiques des zones homogènes de déflexion –sens aller-.

Donc, dans ce sens, on a une déflexion de comportement moyen sur toutes les zones homogènes.

**Sens retour :** Allant du carrefour des puits historiques au carrefour 24 Février.

Cette fois encore, le traitement par la méthode COST a permis d’avoir une courbe représentative des variations de la déflexion. (Figure IV.23).

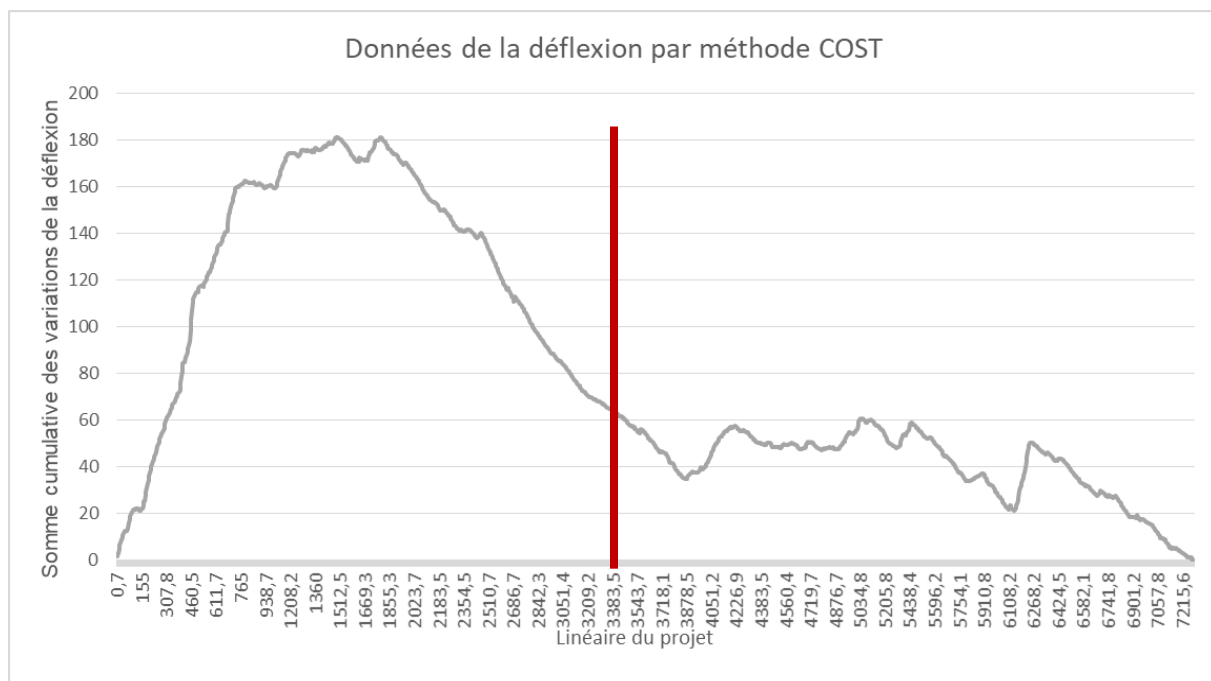


Figure IV.23 Données de la déflexion traitées par méthode COST –sens retour-.

Après une étude comparative au trafic. On peut donc distinguer la présence de 2 zones homogènes dans ce sens (Figure IV.24) :

- Zone Homogène 01 : du PR 0+000 au PR 3+100.
- Zone Homogène 02 : du PR 3+100 au PR 7+500.

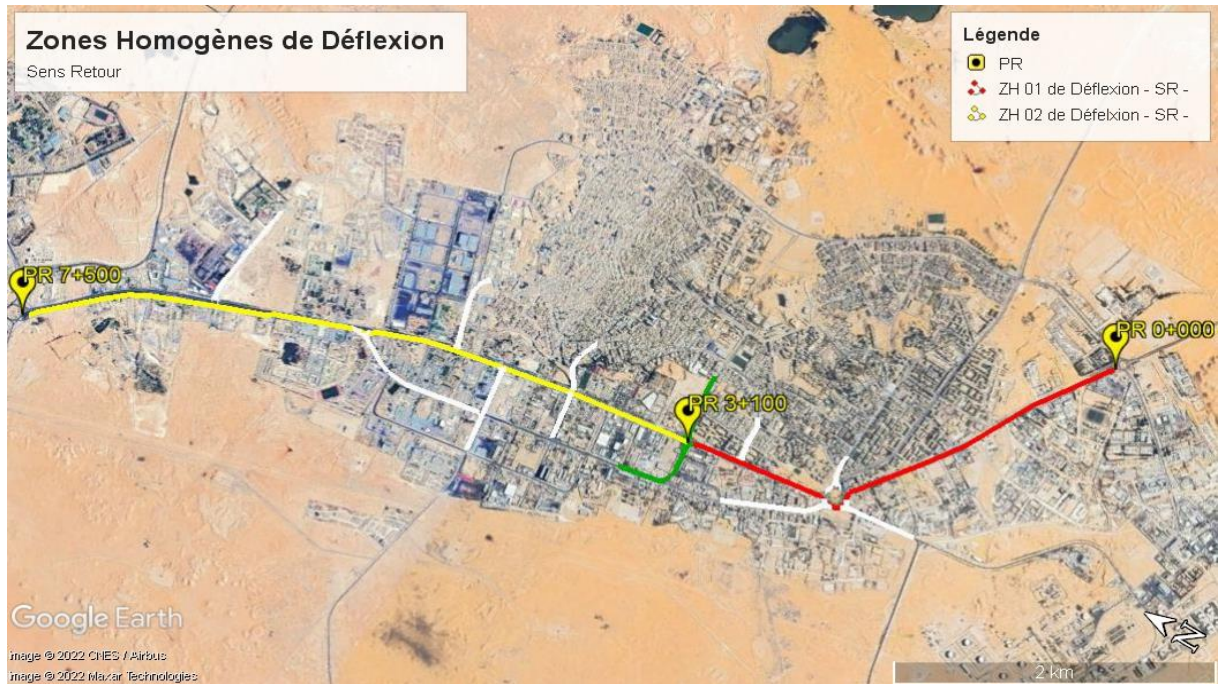


Figure IV.24 Zones homogènes de la déflexion –sens retour-.

Ayant maintenant une connaissance complète de ces zones homogènes, nous avons pu établir leurs propriétés vis-à-vis de la déflexion, tel que leurs déflexions caractéristiques et leurs températures moyennes. (Figure IV.25).

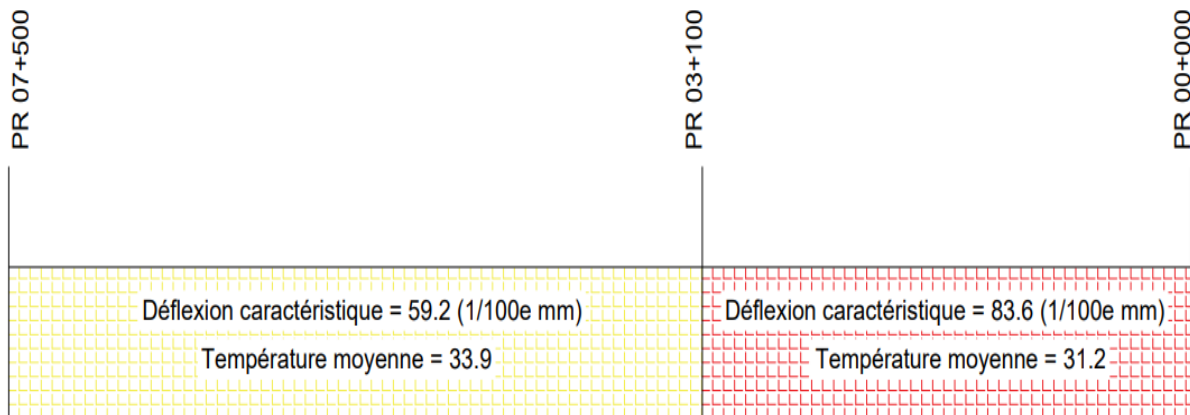


Figure IV.25 Caractéristiques des zones homogènes de déflexion –sens retour-.

Pour ce sens, on remarque donc que la déflexion dans la 1<sup>ère</sup> zone homogène est de comportement moyen, et plutôt mauvais pour la 2<sup>ème</sup> zone homogène.

### **IV.3.5. La planéité des surfaces.**

La surface des chaussées peut présenter des irrégularités géométriques, principalement dues à des défauts de construction ou à des dégradations qui apparaissent en cours de vie de la chaussée sous l'effet du trafic PL.

L'ensemble de ces irrégularités plus ou moins prononcées et répétées constitue l'uni longitudinal et/ou l'uni transversal des chaussées. C'est un indicateur de la qualité d'usage de la chaussée. (CEREMA, 2016)

#### **IV.3.5.1. Mesure de l'Uni longitudinal.**

L'uni longitudinal est mesuré par différents appareils de mesure tels que l'analyseur de profil en long (APL).

##### **IV.3.5.1.1. L'analyseur de profil en long APL.**

L'APL est un appareil « analyseur de profil en long » conçu pour effectuer le contrôle de l'Uni longitudinal des chaussées routières et aéronautiques. La mesure du profil longitudinal est basée sur la méthode « South Dakota ». Un accéléromètre est utilisé pour obtenir le déplacement vertical de la coque du véhicule roulant, et un capteur laser pour mesurer le déplacement vertical entre la roue du véhicule et surface de chaussée.

#### **Domaine d'application :**

Le matériel APL est un outil destiné à la mesure du profil en long des chaussées en services ou en cours de construction, et qui intervient sur la sécurité, le bruit, le confort de l'utilisateur ou d'adhérence de la chaussée.

L'APL peut aussi bien s'adapter (avec l'emploi en option de 3 capteurs laser) pour la mesure du Profil Transversal ou de l'Orniérage. Un Capteur mouvement d'Inertie IMS (Inertial Motion Sensor) peut aussi être ajouté (en option) pour la mesure de l'inclinaison et du gradient transverse.

#### **Avantages :**

- Garantie une haute précision du laser accordée aux standards en vigueur.
- Mesure prise pour toutes les vitesses de circulation.
- Tous les indices calculés en temps réel.
- Calibrage du laser et l'accéléromètre facile.



Figure IV.26 Analyseur de profil en long (APL).

#### IV.3.5.2. Seuils admissibles de l'Uni.

Pour une bonne évaluation des prestations de planéité de la route et une précision de son UNI, il s'est vite montré nécessaire de définir une échelle d'étalonnage universelle. Ceci a donc été exécuté sous la forme d'un indice internationale des défauts de l'uni de la route appelé IRI « Indice de Rugosité International », qui est défini comme la réponse que produirait le roulemètre étalon s'il circulait à une vitesse de 80 km/h sur la chaussée. Il est mesuré en m/Km.

L'échelle de la banque mondiale tirée de la norme établie par le « Federal Highway FHWA », a mis au point les seuils de l'IRI, tels qu'ils diffèrent de chaque cas et type de chaussée, pour avoir une classification représentative de l'état de la planéité (Figure IV.27). (SAYERS, GILLESPIE et PATERSON, 1986)

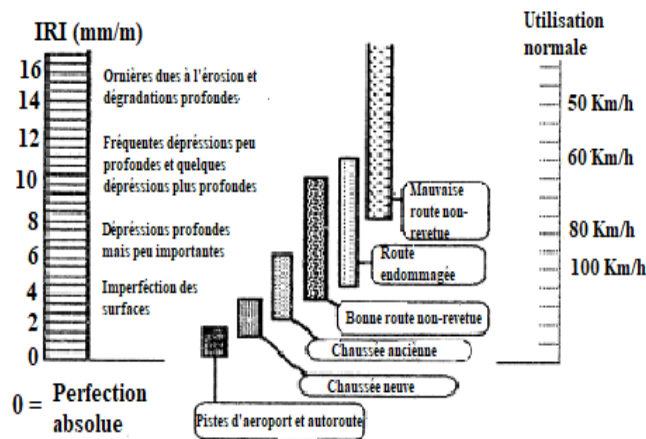


Figure IV.27 Indice IRI pour différents types de chaussées.

Ces classifications préalable ont permis de mettre en place des seuils de l'IRI que nous allons utiliser pour classer l'état général de planéité lors de l'étude de renforcement de la chaussée endommagée (Tableau IV.10).

Tableau IV.10 Seuils spécifiques de l'IRI.

Classe	Seuil admissible (m/Km)	Etat de planéité
A	$IRI < 1$	Très bon
B	$1 < IRI < 2$	Bon
C	$2 < IRI < 3$	Moyen
d	$3 < IRI$	Mauvais

**IV.3.5.3. Application au projet.**

Pour ce projet, l'étude de la planéité a été faite en utilisant un analyseur de profil en long de type Dynatest, cet appareil a permis d'avoir un traitement de données instantané grâce à son logiciel interne. On a donc pu avoir de façon précise et concise les résultats de planéité de chaque voie sous forme de graphe.

On se focalise pour chaque sens, principalement, sur la voie la plus lente car c'est la plus importante pour notre redimensionnement.

**Sens Aller :** Allant du Carrefour 24 Février au carrefour des puits historiques.

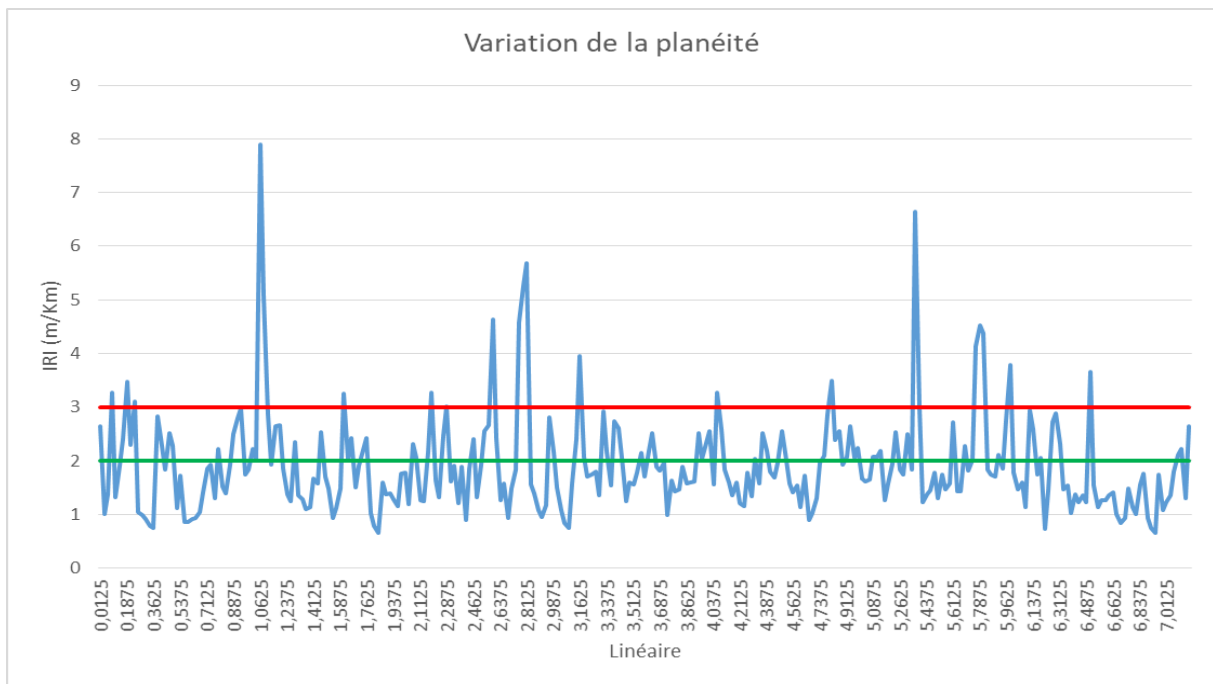
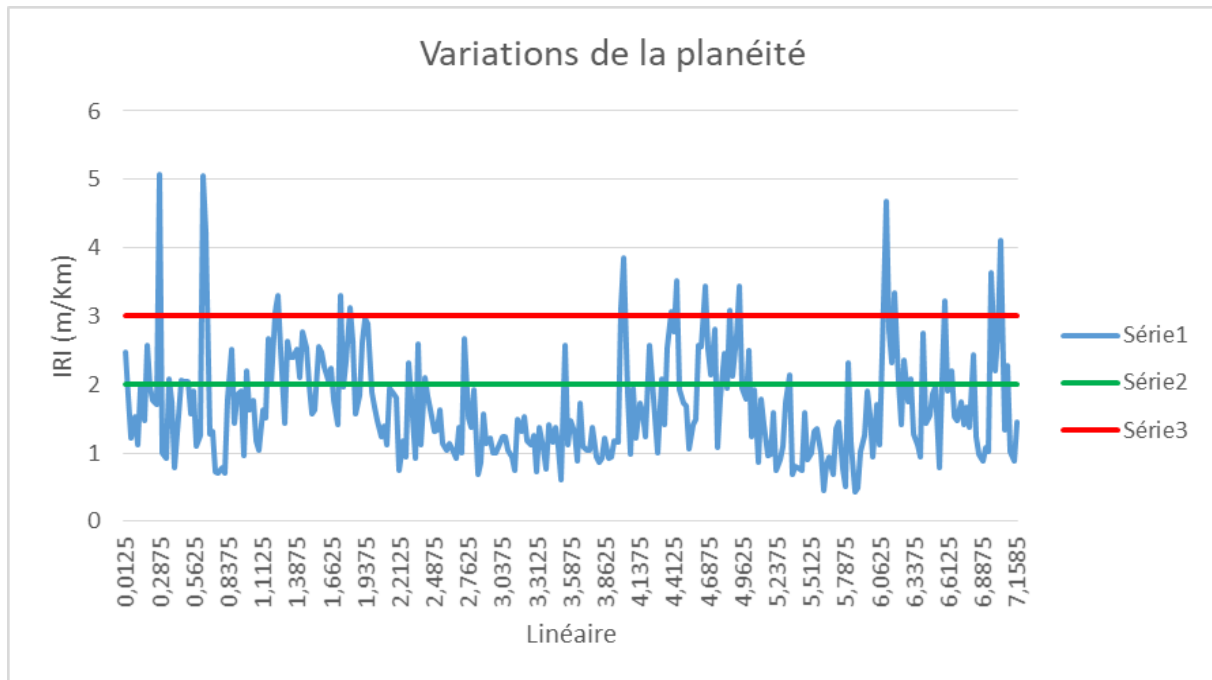


Figure IV.28 Variation de l'IRI de la planéité –sens aller-.

**Sens retour** : Allant du carrefour des puits historiques au carrefour 24 Février.



**Figure IV.29** Variation de l'IRI de la planéité –sens retour-.

On remarque quelques valeurs incohérentes avec les zones ce qui peut être signe d'une dégradation localisée ou d'une quelconque erreur du logiciel.

Il est donc important de garder en tête que la planéité n'est pas un paramètre prioritaire lors de la réalisation des zones homogènes.

#### **IV.3.6. Régularité des épaisseurs.**

Il est important lors de l'auscultation de déceler l'existence, la forme, la position ou la nature des objets et composants de la chaussée. Cela se fait notamment grâce à l'étude de la réflexion des ondes électromagnétiques sur celle-ci. Basé sur ce principe, le radar géologique est une technique d'auscultation non destructive permettant d'obtenir des indications sur la structure du sous-sol ou sur les hétérogénéités présentes. (Quebec, 2002)

##### **IV.3.6.1. Mode d'acquisition des données.**

###### **IV.3.6.1.1. Le géo-radar.**

Les mesures radar, sont réalisées en utilisant un géo-radar (Ground Penetrating Radar - GPR). Le Géo-radar constitue un procédé géophysique léger et non destructif permettant d'effectuer de manière précise et en continu des études géologiques de sub-surface et des auscultations d'ouvrages d'art.

###### **Domaine d'application :**

- L'auscultation des chaussées.
- Détection des réseaux sous terrain.
- L'auscultation des structures (l'inspection des sols, murs, ponts, dalles tunnels ...).

**Objectifs :**

Mesurer le temps de parcours et l’amplitude des ondes EM réfléchies et ou réfractées qui sont en fonction de la permittivité et la conductivité des milieux traversés.



Figure IV.30 Géo-radar.

**IV.3.6.2. Application au projet.**

L’étude par géo radar de ce projet permet normalement d’avoir une meilleure visualisation de l’épaisseur de la couche de roulement (couche BB). (Figure III.31 et Figure III.32).

**Sens Aller :** Allant du Carrefour 24 Février au carrefour des puits historiques.

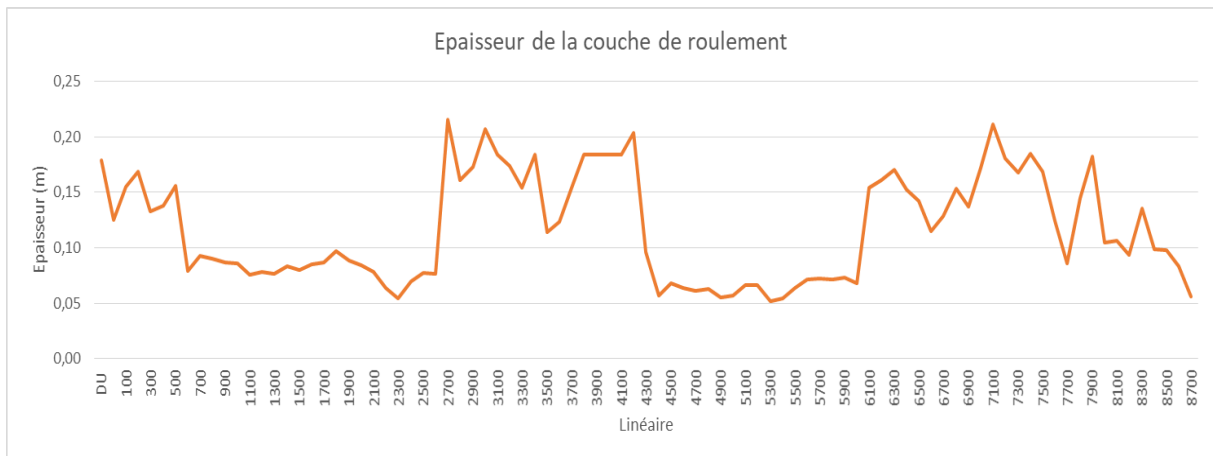
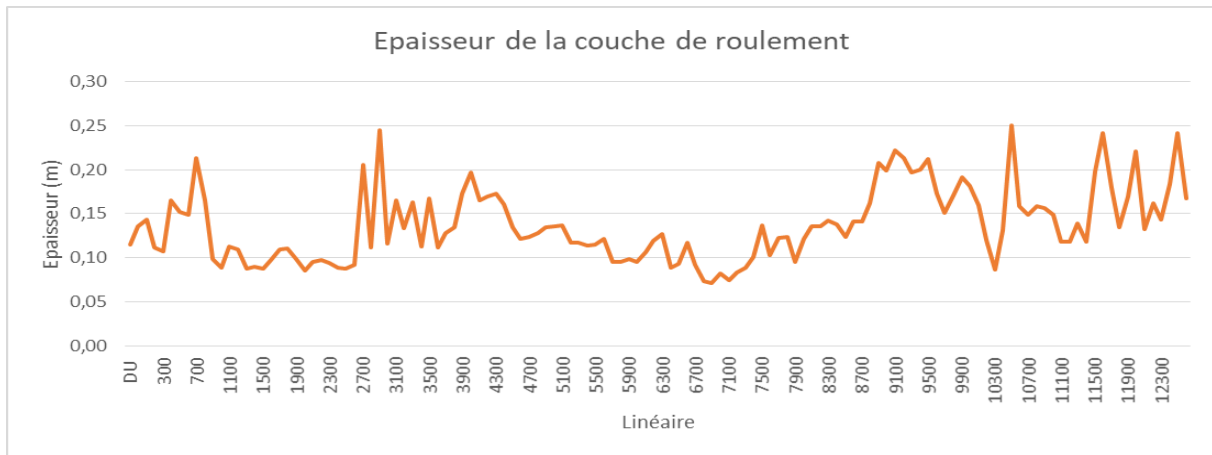


Figure IV.31 Données des épaisseurs de la couche de BB –sens aller-.

**Sens retour :** Allant du carrefour des puits historiques au carrefour 24 Février.



**Figure IV.32 Données des épaisseurs de la couche de BB –sens retour-.**

On remarque que les résultats de ces essais sont erronés car ils sont illogiques et ne concordent pas avec nos connaissances préalables à la fois de la chaussée du projet et même des chaussées en générale. Il est, donc, important de noter que ces données ne sont pas très concluantes et ne seront pas prises en compte lors de la détermination des zones homogènes globales.

#### **IV.3.7. L'adhérence.**

L'adhérence désigne la contribution du revêtement de chaussée au frottement entre le pneu et la chaussée.

L'adhérence pneu/chaussée permet de maintenir un véhicule sur la trajectoire voulue et de le freiner/accélérer quelles que soient les conditions de surface de la chaussée, elle est donc synonyme de sécurité. L'usure du revêtement sous l'action du trafic et du climat accentue davantage la perte d'adhérence de la couche de roulement.

##### **IV.3.7.1. Appareils de mesure.**

Les mesures de l'adhérence sont réalisées en utilisant un appareil « Highway/Runway ».

###### **IV.3.7.1.1. Highway/Runway.**

Il permet de la mesure d'un coefficient de frottement longitudinal, qui correspond à la capacité d'une chaussée à mobiliser des forces de frottement entre le pneumatique d'un véhicule (ou avion) et la surface du revêtement sous l'effet des sollicitations engendrées par la conduite, accélération, freinages etc...

##### **Caractéristiques :**

- Capacité de réservoir d'eau : 1000L peut aller jusqu'à 12km de mesure.
- Capable de mener un essai à deux vitesses différentes 64 km/h et 90 km/h ± 5 km/h.
- Fournit des valeurs moyennes de frottement pour segments désignés par l'utilisateur.
- Indice de friction  $\mu = \text{Force horizontale E} / \text{Force verticale P}$ .



Figure IV.33 Dynatest Highway/Runway.

#### IV.3.7.2. Application au projet.

Le projet ne nécessite pas une étude de l'état d'adhérence, le maître d'ouvrage n'a pas demandé la réalisation de cette mesure.

#### IV.4. DECOUPAGE DES ZONES HOMOGENES.

Après une étude de tous les paramètres pertinents, on peut synthétiser les zones homogènes globales. Pour assurer au mieux l'exactitude et la bonne utilisation des données, il a été décidé de se focaliser principalement sur 3 paramètres fondamentaux pour ce découpage. Ces paramètres sont :

- L'état visuel de la chaussée (les dégradations).
- Le trafic.
- La déflexion.

Il est tout de même important de noter que la priorité est tout de même d'accorder aux zones homogènes du trafic lors du choix, en vérifiant la concordance avec les déflexions caractéristiques de ces zones.

Pour les divergences entre les zones homogènes des dégradations et celles du trafic, si elles ne sont pas très importantes, on peut remplacer l'établissement de zones homogènes supplémentaires par des travaux préparatoires. Notamment principalement :

- Pour les fissures transversales et longitudinales : colmatage, scellement...
- Pour les faïençages à mailles fines et à mailles larges, avec présence d'un affaissement : traitement des purges.
- Pour les orniérages : fraisage en utilisation du BBME (Béton Bitumineux à Module Elevé) et EME (Enduit à Module Elevé).

**Sens Aller :** Allant du Carrefour 24 Février au carrefour des puits historiques.

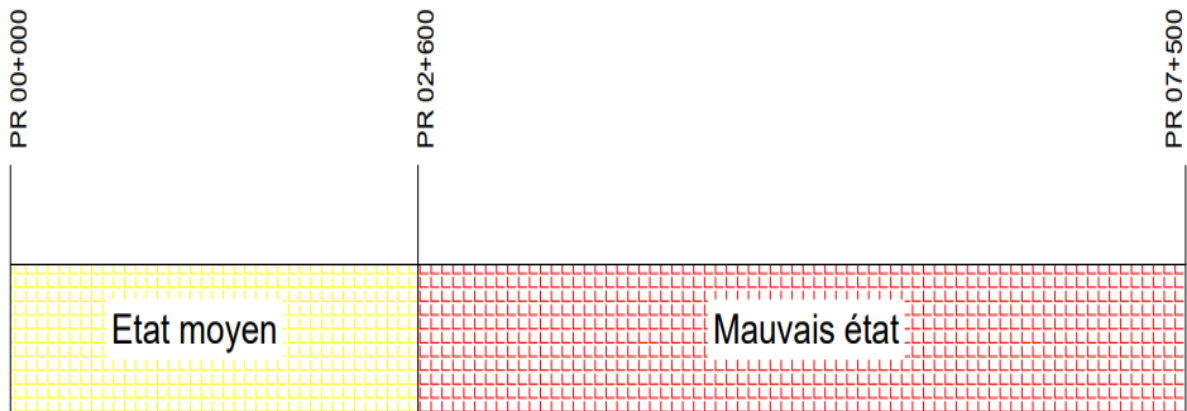


Figure IV.34 Zones homogènes de l'état de dégradations –sens aller-.

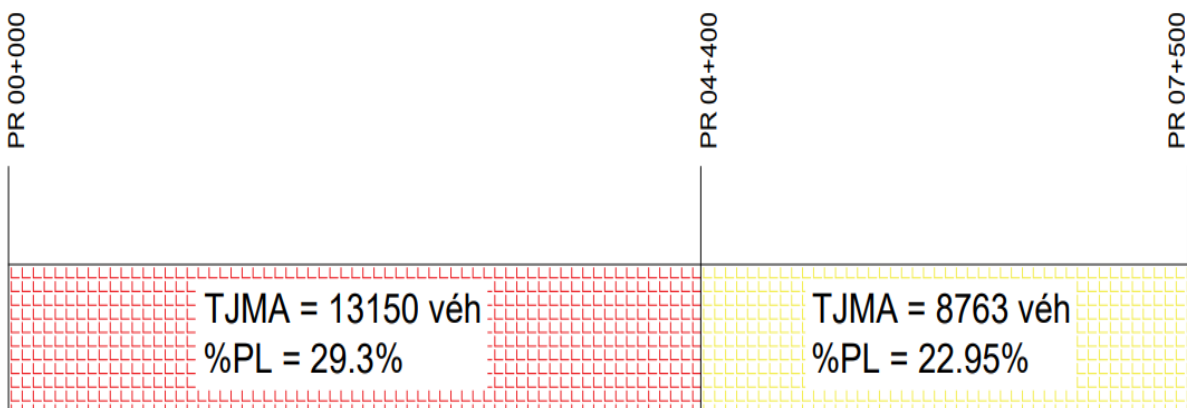


Figure IV.35 Zones Homogènes du trafic –sens aller-.

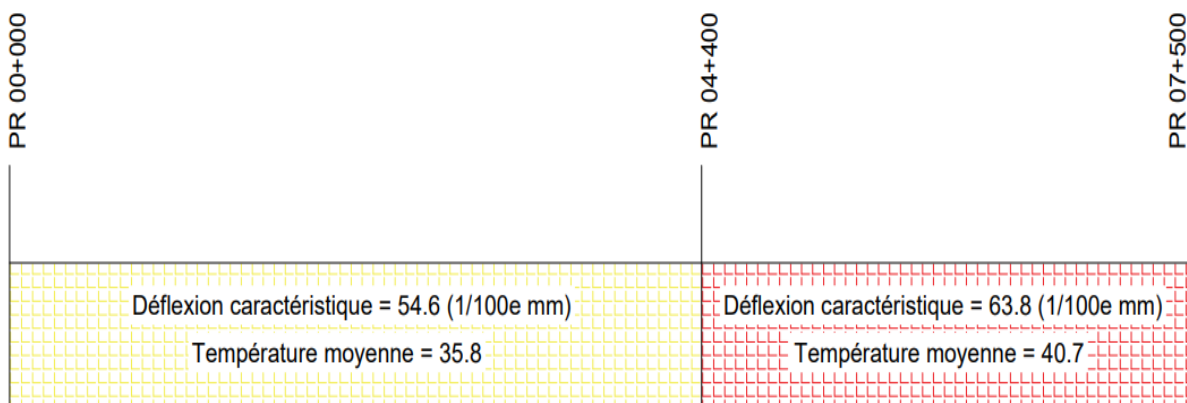


Figure IV.36 Zones Homogènes de la déflexion –sens aller-.

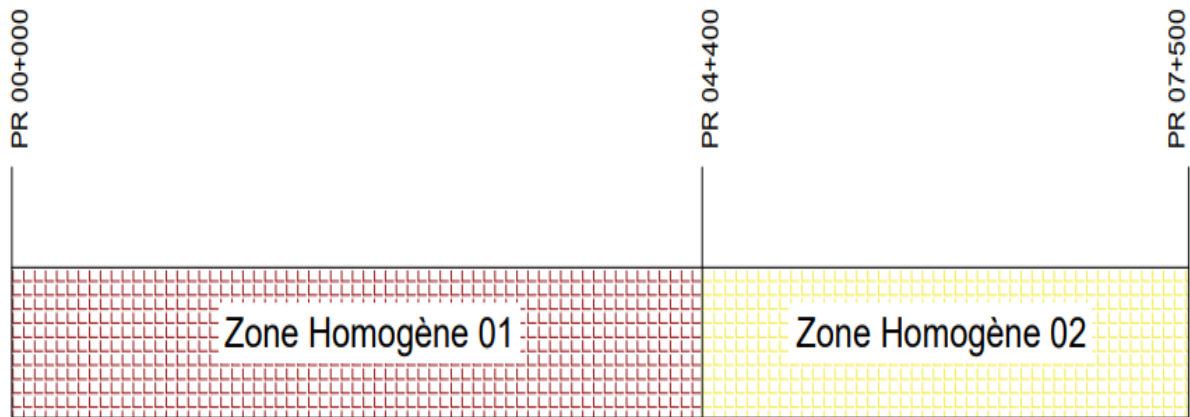


Figure IV.37 Zones Homogènes globales – sens aller-.



Figure IV.38 Représentation des zones homogènes globales sur le trajet – sens aller-.

**Sens retour :** Allant du carrefour des puits historiques au carrefour 24 Février.

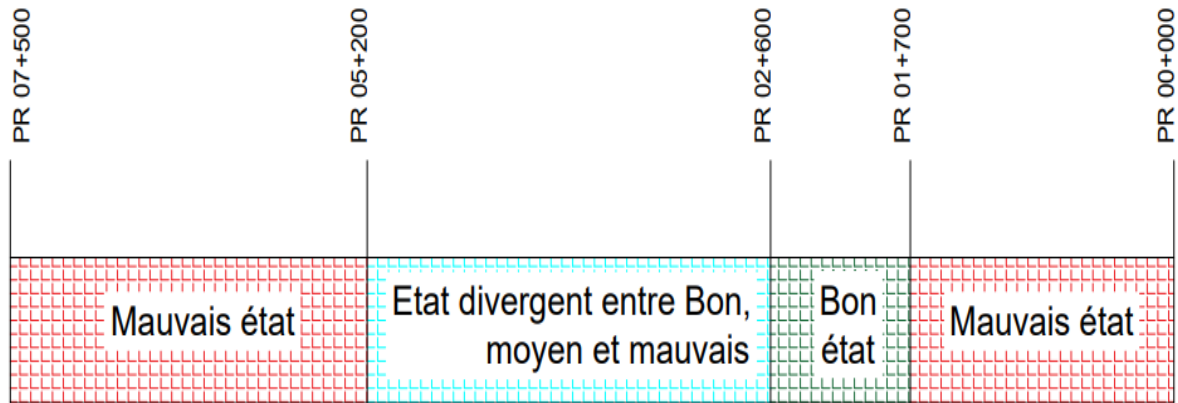


Figure IV.39 Zones homogènes de l'état de dégradations –sens retour-.

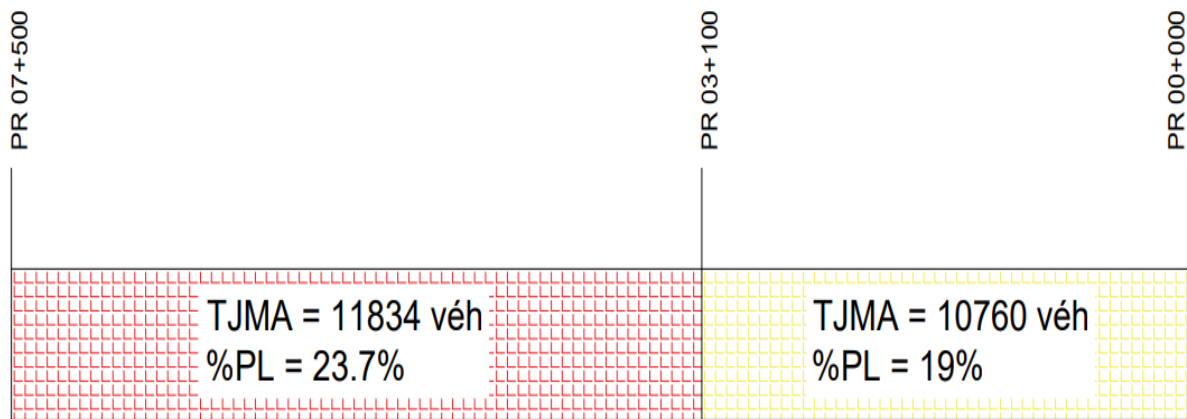


Figure IV.40 Figure 0.30 Zones Homogènes du trafic –sens retour-.

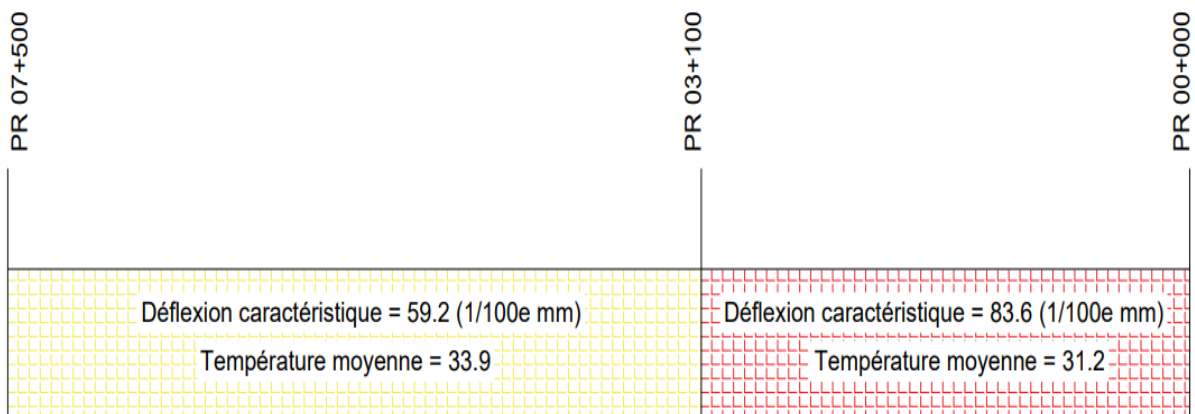


Figure IV.41 Zones Homogènes de la déflexion –sens retour-.

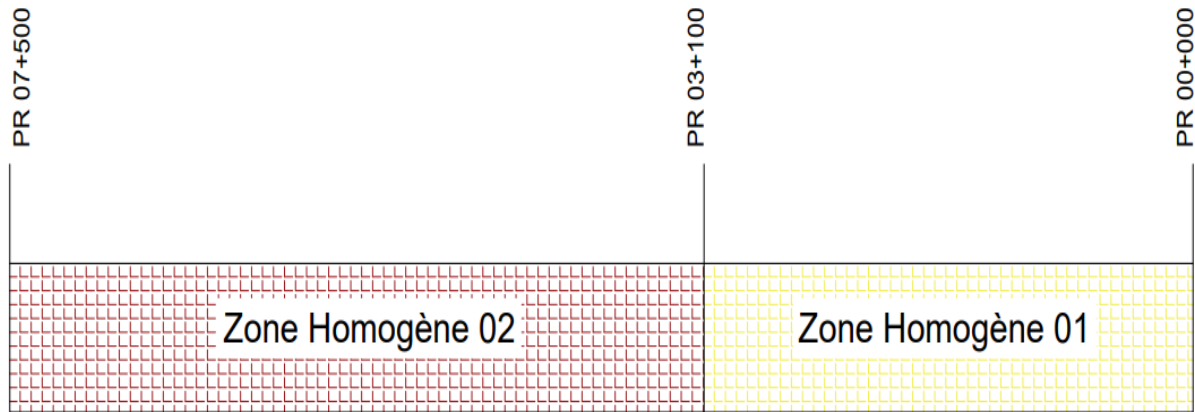


Figure IV.42 Zones Homogènes globales – sens retour-.



Figure IV.43 Représentation des zones homogènes globales sur le trajet – sens retour-.

#### IV.5. CONCLUSION.

La bonne identification des zones homogènes est essentielle à la réussite d'un projet de renforcement. Dans cette partie du PFE, on a présenté les techniques principales pour l'obtention de ces zones préliminaires. Il reste important à noter que cette étape doit être suivie d'une étude géotechnique en profondeur, grâce notamment aux campagnes de carottage, pour s'assurer de leurs exactitudes et faire les modifications d'exactitudes nécessaires.

## CHAPITRE V ETUDE GEOTECHNIQUE.

### V.1 INTRODUCTION.

Après l'établissement des zones homogènes, et pour s'assurer de leur bon fondement, il est nécessaire de mettre au point une étude géotechnique complète, notamment grâce à la réalisation de campagnes de sondage et de carottage.

Cette étude va permettre d'avoir une meilleure connaissance des terrains traversés, et des constituants de la chaussée en chaque zone, de manière plus précise et plus réelle qu'en se référant simplement aux données de l'historique.

Plus que tout cela, l'analyse des carottes va aider à comprendre et étudier l'évolution des caractéristiques et propriétés des matériaux de la chaussée avec le temps, pour comprendre à la fois leurs comportements futures et ce qui peut être réexploité.

### V.2 SONDAGES.

D'après sa définition, un sondage géotechnique est « une investigation du sous-sol, réalisée avec ou sans forage d'un trou, destinée à déterminer la nature et les caractéristiques mécaniques, physiques et éventuellement chimiques de ses constituants afin de prévoir son comportement lors de la réalisation d'un ouvrage ».

La principale caractéristique des sondages pour les projets routiers consiste en le fait qu'ils sont réalisés dans la partie accotement de notre infrastructure. Etant donné, la non-présence d'accotements dans l'infrastructure, objet de cette étude, il est donc naturel qu'aucun sondage ne sera réalisé.

### V.3 CAROTTAGES.

Le carottage est un type de forage d'exploration, visant à prélever un échantillon du sous-sol, obtenu à l'aide d'un tube appelé carottier que l'on fait pénétrer dans le sous-sol. L'échantillon ainsi obtenu s'appelle une carotte. Celle-ci est qualifiée d'échantillon stratigraphiquement représentatif, donc non perturbé.



Figure V.1 Déroulement de la campagne de carottage.

### V.3.1. Procédure de carottage.

Le nombre de carottes prélevées pour un projet dépend du budget économique de ce dernier et est donc une décision prise par le maître d'ouvrage. Ceci, va donc nous amener au choix de l'utilisation optimale de ces prélèvements sur les tronçons qui doivent être analysés.

Ce choix est alors réalisé en suivant plusieurs paramètres et en des points bien précis. Il dépendra principalement du niveau de dégradation de la zone pour pouvoir avoir des résultats représentatifs, et de la nature de ces dégradations.

Les prélèvements se feront alors, au choix, sur :

- Zone saine.
- Fissures transversales ou longitudinales.
- Faiënçages à mailles fines ou à mailles larges.

Ceci se fait principalement pour différencier les raisons de présences des fissurations :

- Le vieillissement de l'enrobé ou fissuration thermique, apparaissant par nature dans et hors bandes de roulement, et se propageant à partir de la surface.
- La fatigue en traction/extension par flexion, générée à la base de la structure et/ou de toute couche décollée, se propageant du bas vers le haut dans les bandes de roulement.
- La fatigue générée en surface de la structure, par conjugaison de la rigidité des couches bitumineuses et du trafic poids lourds, se propageant du haut vers le bas dans les bandes de roulement.

Après une bonne localisation des places de carottages optimales, on peut procéder au prélèvement. Lors de cette étape, plusieurs paramètres doivent être recensés :

- Etat des interfaces : collées, semi-collées ou décollées (Tableau IV.1). (CEREMA, 2016)
- Le nombre de couches de la chaussée et leurs épaisseurs.
- Etat des matériaux de chaque couche.

**Tableau V.1 Classification de la qualité des interfaces.**

Interface	Caractéristique
Collée	Bon accrochage, bonne liaison.
Semi-collée	Liaison détruite au carottage (surface brillante de l'interface). Paroi lisse au niveau de la liaison.
Décollée	Paroi avec formation d'une cavité au niveau de la liaison. (et/ou) Erosion des bords des deux couches concernées. (et/ou) Présence de pollution au niveau de l'interface. Matériau désagrégé en place près de l'interface entre deux couches liées.

Les carottes sont alors prêtes à subir les analyses demandés et les traitements de données nécessaires.

### V.3.2 Application sur le tronçon étudié.

Pour ce projet, il a été décidé de prélevé 10 carottes sur le tronçon au complet, divisés entre les deux sens.

**Sens Aller :** Allant du Carrefour 24 Février au carrefour des puits historiques.

Ayant déjà établi sur ce trajet, deux zones homogènes, en plus de la localisation des dégradations. Ceci, nous a permis de décider précisément des positions optimales où seront réalisées les campagnes de carottage (Figure V.2 et Figure V.3).

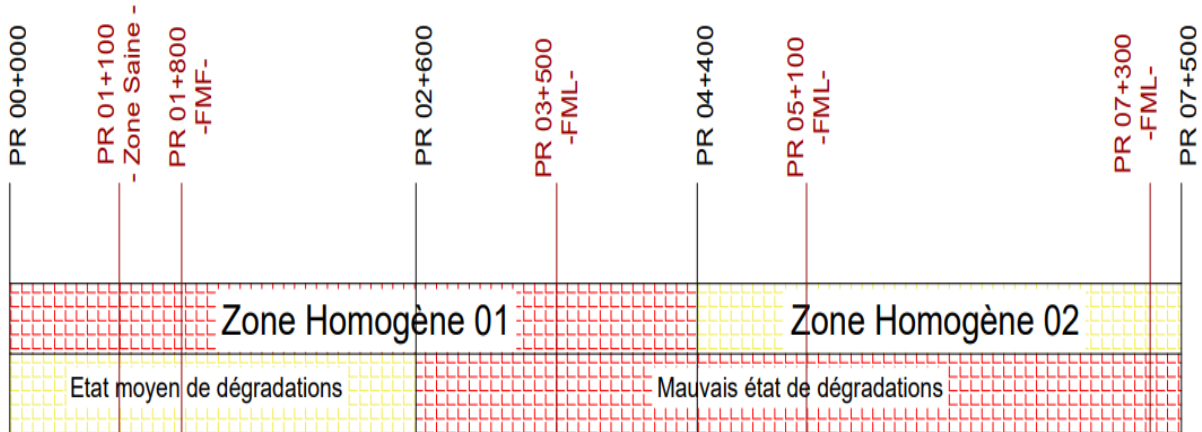


Figure V.2 Localisation des carottes sur les zones homogènes globales et de dégradations –sens aller-.

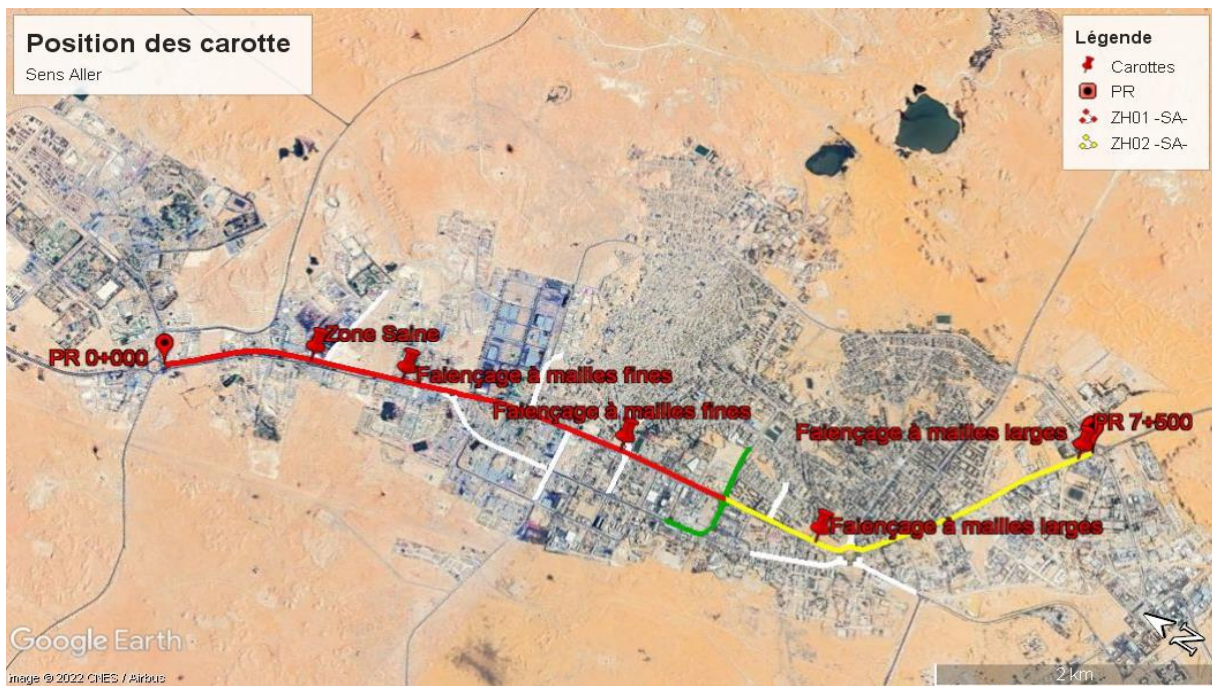


Figure V.3 Localisation des carottes –sens aller-.

### 1<sup>ère</sup> Carotte.

La carotte se trouve dans la 1<sup>ère</sup> zone homogène à un PR de 1+100 au niveau d'une zone seine.



Figure V.4 1<sup>ère</sup> carotte –sens aller-.

La carotte est en très bon état visuel, elle est aussi caractérisée par des parois lisses et un très bon accrochage entre les couches bitumineuses.

### 2<sup>ème</sup> Carotte.

La carotte se trouve dans la 1<sup>ère</sup> zone homogène au PR 1+800, sur un faïençage à mailles fines.



Figure V.5 Faïençage à mailles fines au PR 1+800.



Figure V.6 2<sup>ème</sup> carotte –sens aller-.

La carotte est en état assez dégradée, elle présente des fissures sur toute sa hauteur. Par contre, elle est aussi caractérisée par des parois lisses et un bon accrochage entre les couches bitumineuses.

### 3<sup>ème</sup> Carotte.

La carotte se trouve dans la 1<sup>ère</sup> zone homogène au PR 3+500, sur un faïençage à mailles larges.



Figure V.7 Faïençage à mailles larges au PR 3+500.



Figure V.8 3<sup>ème</sup> carotte –sens aller-.

La carottes est en bon état malgré la zone fissuré. On remarques, tout de meme, l'apparition de début de dégradations en sa partie inférieur. Elle dispose, là aussi, de parois lisses et de bon accrochages entre les couches bitumineuses.

### 4<sup>ème</sup> Carotte.

La carotte se trouve dans la 2<sup>ème</sup> zone homogène au PR 5+100, sur un faïençage à mailles larges.



Figure V. 9 Faïençage à mailles larges au PR 5+100.



Figure V.10 4<sup>ème</sup> carotte –sens aller-.

La carotte montre l'apparition de fissures par la partie supérieure qui se propage vers les couches inférieures. Elle a, tout de même, des parois lisses et un bon accrochage entre les couches bitumineuses.

**5<sup>ème</sup> Carotte.**

La carotte se trouve dans la 2<sup>ème</sup> zone homogène au PR 7+300, sur un faïençage à mailles larges.



Figure V.11 Faïençage à mailles larges au PR 7+300.



Figure V.12 5<sup>ème</sup> carotte –sens aller-.

La carotte est fissurée de part en part, elle est donc en mauvais état. Ceci n’empêche pas la présence de parois lisses et de bon accrochage entre les couches de BB et de GB.

**Sens retour :** Allant du carrefour des puits historiques au carrefour 24 Février.

Dans ce sens aussi, on a pu établir deux zones homogènes distinctes sur ce trajet. Après étude des localisations de chaque dégradations et sa gravite, on a pu déterminer les meilleurs positions possible pour la réalisation des 5 relevés de carottage (Figure V.13 et V.14).

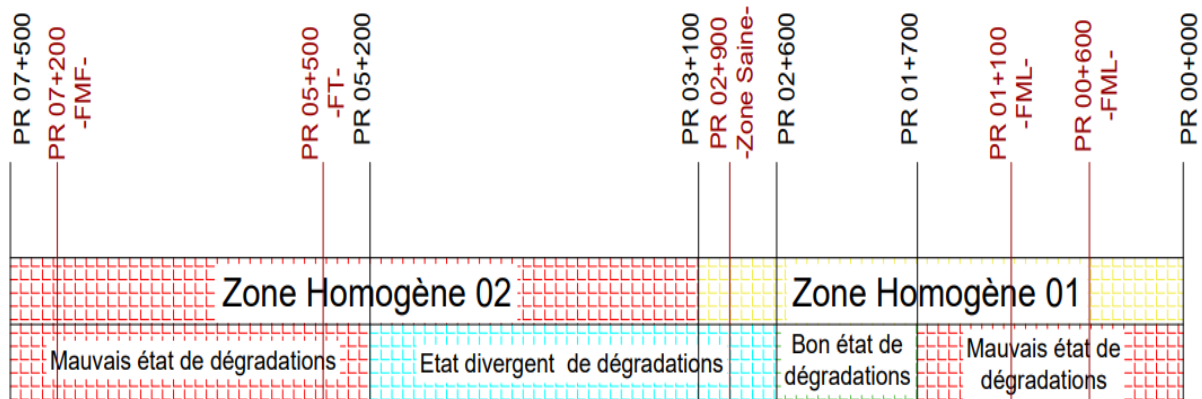


Figure V.13 Localisation des carottes sur les zones homogènes globales et de dégradations –sens retour-.

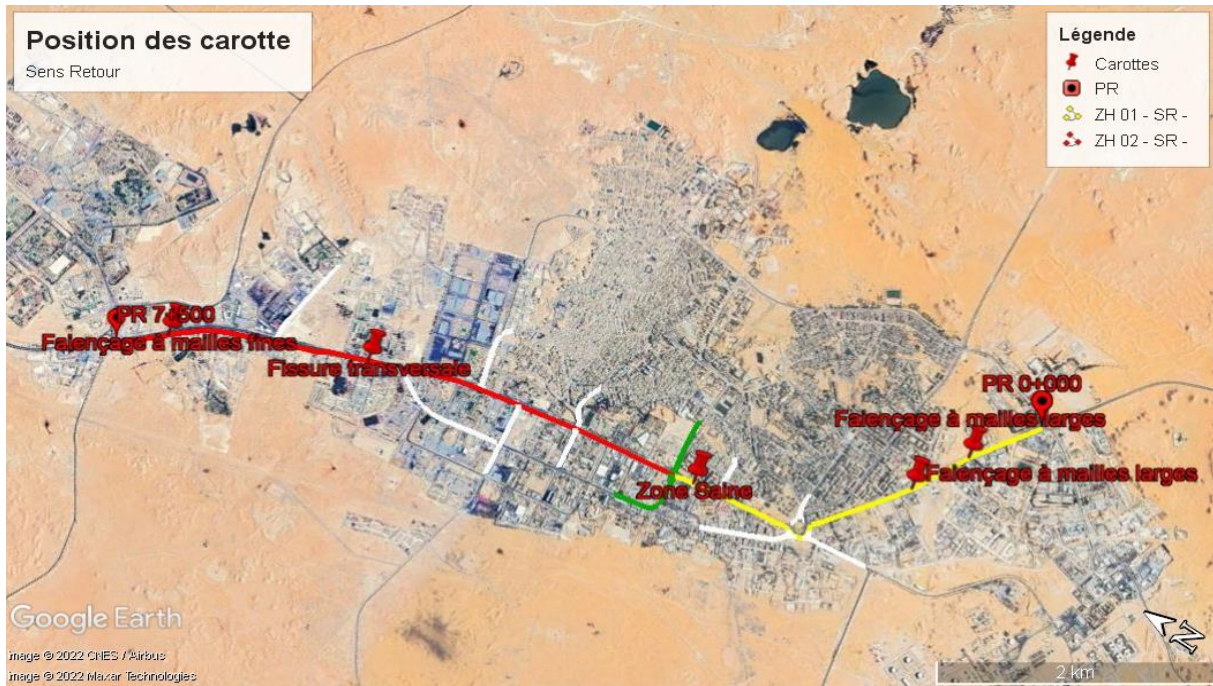


Figure V.14 Localisation des carottes –sens retour-.

### 1<sup>ère</sup> Carotte.

La carotte se trouve dans la 1<sup>ère</sup> zone homogène à un PR de 0+600 sur un faïençage à mailles larges.



Figure V.15 Faïençage à mailles larges au PR 0+600.



Figure V.16 1<sup>ère</sup> carotte –sens retour-.

La carotte est complètement fissurée, la forme de la fissure laisse à penser qu'elle s'est propagée de la surface vers le bas. On garde, tout de même, un bon accrochage entre les couches bitumineuses et des parois lises.

### 2<sup>ème</sup> Carotte.

La carotte se trouve dans la 1<sup>ère</sup> zone homogène à un PR de 1+100 sur un faïençage à mailles larges.



Figure V.17 Faiénçage à mailles larges au PR 1+100.



Figure V.18 2<sup>ème</sup> carotte –sens retour-.

La carotte montre l'apparition d'une fissure en sa partie supérieurs et des dégradations en sa partie inférieure. Là encore, elle est caractérisée par des parois lisses et un bon accrochage des couches bitumineuses.

### 3<sup>ème</sup> Carotte.

La carotte se trouve dans la 1<sup>ère</sup> zone homogène à un PR de 2+900 sur une zone saine.



Figure V.19 3<sup>ème</sup> carotte –sens retour-.

La carotte étant prélevée en zone saine, elle montre un très bon état de matériaux avec des parois lisses et un bon accrochage entre les couches bitumineuses.

### 4<sup>ème</sup> Carotte.

La carotte se trouve dans la 2<sup>ème</sup> zone homogène à un PR de 5+500 sur une fissure transversale.



Figure V.20 Fissure transversale au PR 5+500.



Figure V.21 4<sup>ème</sup> carotte –sens retour-.

La carotte est complètement fissurée, on remarque même des pertes de matériaux en bas de la fissure. Ce mauvais état des matériaux n'empêche tout de même pas, la présence de parois lisses et d'un bon accrochage entre la couche de BB et celle de GB.

### 5<sup>ème</sup> Carotte.

La carotte se trouve dans la 2<sup>ème</sup> zone homogène à un PR de 7+200 sur un faïençage à mailles fines.



Figure V.22 Faïençage à mailles fines au PR 7+200.



Figure V.23 5<sup>ème</sup> carotte –sens retour-.


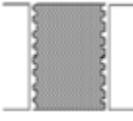

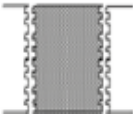
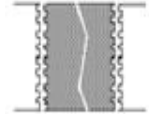
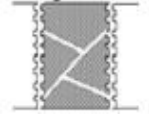

La carotte est très endommagée, elle est déjà complètement fissurée mais présente aussi des pertes de matériaux sur la partie inférieure. D'autre part, on remarque qu'elle présente des parois lisses et toujours un bon accrochage entre les couches bitumineuses.

### V.3.3 Evaluation des carottes.

Lors de la réalisation du relevé de ces carottes, il est nécessaire de faire une bonne évaluation visuelle permettant par la suite de déterminer l'état général de la carotte.

Pour assurer la bonne compréhension et interprétation de ces données, des normes ont été réalisées permettant ainsi d'avoir une idée précise de l'état de la carotte en fonction des états de son interface et des matériaux qu'elle comporte (Tableau V.2). (CEREMA, 2016)

**Tableau V.2 Classification de l'état des matériaux carottés pour les chaussées souples.**

		Qualité de la carotte				
		Saine	Médiocre	Fissurée	Fragmentée	Désagrégée
Qualité de la paroi	Lisse	Sain 	Médiocre 	Fissuré 	Non rencontré	Non rencontré
	Granulats arrachés	Non rencontré	Mauvais 	Mauvais 	Fragmenté 	Désagrégé 

**Sens Aller :** Allant du Carrefour 24 Février au carrefour des puits historiques.

**Tableau V.3 Caractéristiques des carottes –sens aller-.**

Carotte	Nombre de couches	Matériaux	Epaisseur (m)	Etat de la carotte	Qualité de la paroi	Etat des matériaux	Qualité de l'interface
1	2	BB	0.055	Saine	Lisse	Sains	Collée
		GB	0.095				
2	2	BB	0.05	Fissurée	Lisse	Fissurés	Collée
		GB	0.06				
3	2	BB	0.055	Fissurée	Lisse	Fissurés	Collée
		GB	0.095				
4	2	BB	0.055	Fissurée	Lisse	Fissurés	Collée
		GB	0.105				
5	2	BB	0.06	Fissurée	Lisse	Fissurés	Collée
		GB	0.07				

**Sens retour :** Allant du carrefour des puits historiques au carrefour 24 Février.

**Tableau V.4 Caractéristiques des carottes –sens retour-.**

Carotte	Nombre de couches	Matériaux	Epaisseur (m)	Etat de la carotte	Qualité de la paroi	Etat des matériaux	Qualité de l'interface
1	2	BB	0.06	Fissurée	Lisse	Fissurés	Collée
		GB	0.09				
2	2	BB	0.058	Fissurée	Lisse	Fissurés	Collée
		GB	0.088				
3	2	BB	0.06	Saine	Lisse	Sains	Collée
		GB	0.095				

4	2	BB	0.057	Fissurée	Lisse	Fissurés	Collée
		GB	0.083				
5	2	BB	0.055	Fissurée	Lisse	Fissurés	Collée
		GB	0.095				

### V.3.4 Etablissement des caractéristiques de la carotte globale représentative de chaque zone homogène.

Pour s'assurer de réaliser un bon renforcement en utilisant les zones homogène, nous allons définir une carotte représentatif de l'ensemble de la moyenne et qui représente à la fois la moyenne des carottes prises dans cette zone et les cas les plus défavorable pouvant être affrontés, en utilisant ces carottes.

**Sens Aller :** Allant du Carrefour 24 Février au carrefour des puits historiques.

Tableau V.5 Caractéristique des carottes globales –sens aller-.

ZH	Nombre de couches	Matériaux	Epaisseur (m)	$\nu$	Etat de la carotte	Qualité de la paroi	Etat des matériaux	Qualité de l'interface
1	2	BB	0.053	0.35	Fissurée	Lisse	Fissurés	Collée
		GB	0.083	0.35				
2	2	BB	0.058	0.35	Fissurée	Lisse	Fissurés	Collée
		GB	0.088	0.35				

**Sens retour :** Allant du carrefour des puits historiques au carrefour 24 Février.

Tableau V.6 Caractéristique des carottes globales –sens retour-.

ZH	Nombre de couches	Matériaux	Epaisseur (m)	$\nu$	Etat de la carotte	Qualité de la paroi	Etat des matériaux	Qualité de l'interface
1	2	BB	0.058	0.35	Fissurée	Lisse	Fissurés	Collée
		GB	0.093	0.35				
2	2	BB	0.056	0.35	Fissurée	Lisse	Fissurés	Collée
		GB	0.089	0.35				

### V.3.5 Déflexion équivalente des zones homogènes.

Les données de déflexion relevées grâce au déflectographe sont en fonction de la température lors de leur réalisation. Afin, de bien exploiter ces résultats, nous allons rapporter les valeurs de déflexion caractéristiques relevés à des valeurs équivalente par zones pour des températures normalisés (dans ce cas nous avons  $\theta_{eq} = 30^\circ$  car on est en zone désertique).

On a, pour cela :

$$d_{\theta_{eq}} = \frac{d_{\theta_{mes}}}{1 + K * \left( \frac{\theta_{mes} - \theta_{eq}}{\theta_{eq}} \right)}$$

Tel que :

- $d_{\theta_{mes}}$  : déflexion caractéristique de la zone.
- $\theta_{mes}$  : température moyenne de la zone lors de la réalisation de l'essai.
- $K$  : coefficient en fonction du type de structure (Tableau V.7).

**Tableau V.7 Valeur de K pour la correction de la déflexion.**

Type de structure	K
Souple	0.15
Bitumineuse épaisse	0.20
Mixte	0.08
Semi-rigide	0.04

Des corrections supplémentaires de la déflexion en fonction des matériaux de la chaussée et du déflectomètre peuvent être réalisées suivant la loi :

$$d_{corr} = \frac{0.052 * H * E}{12 * (1 - \nu^2)} + 0.6 * d_{mes} + Cte$$

Avec :

- H : épaisseur équivalente de la structure (m).
- E : module estime de la structure équivalente (MPa).
- $\nu$  : coefficient de Poisson du matériau d'assise.
- $d_{mes}$  : déflexion caractéristique de la zone.
- Cte = 14 pour un Défectographe 03, 10 pour un Défectographe 04 ou un Flash.

**On aura alors :**

- Si : Déflexion caractéristique < 40 :  $D_{corrigée} = \max(d_{\theta_{eq}}; d_{corr})$ .
- Si : Déflexion caractéristique > 40 :  $D_{corrigée} = D_{\theta_{eq}}$ .

**Sens Aller :** Allant du Carrefour 24 Février au carrefour des puits historiques.

**Tableau V.8 les déflexions corrigées –sens aller-.**

Zone Homogène	Déflexion caractéristique	Température Moyenne	Déflexion corrigée (mm/100)
1	54.6	35.8	53.1
2	63.8	40.7	60.6

**Sens retour :** Allant du carrefour des puits historiques au carrefour 24 Février.

**Tableau V.9 les déflexions corrigées –sens retour-.**

Zone Homogène	Déflexion caractéristique	Température Moyenne	Déflexion corrigée (mm/100)
1	83.6	31.2	83.1
2	59.2	33.9	58.1

### V.3.6 Module des matériaux.

Les modules des matériaux bitumineux, après utilisation, dépendent du taux de dégradations et de la fréquence de la mesure. En l'absence de mesure du rayon de courbure, on peut les connaître en utilisant plusieurs normes mise au point grâce à de méthodes de calculs inverse, en fonction de l'état de la carotte (Tableau V.10). (CEREMA, 2016)

Tableau V.10 Modules des matériaux bitumineux pour la modélisation.

		Qualité de la carotte				
		Saine	Médiocre	Fissurée	Fragmentée	Désagrégée
Qualité de la paroi	Lisse	$E_{ref}$	$0.7 * E_{ref}$	2000 MPa	Non rencontré	Non rencontré
	Granulats arrachés	Non rencontré	$0.7 * E_{ref}$	2000 MPa	1000 MPa	500 MPa

**Sens Aller :** Allant du Carrefour 24 Février au carrefour des puits historiques.

Tableau V.11 Module des matériaux bitumineux de la chaussée –sens aller-.

ZH	Nombre de couches	Matériaux	Module de référence (MPa) (CTTP, 2001)	Etat des matériaux	Module évalué (MPa)
1	2	BB	2500	Fissurés	2000
		GB	3500		2000
2	2	BB	2500	Fissurés	2000
		GB	3500		2000

**Sens retour :** Allant du carrefour des puits historiques au carrefour 24 Février.

Tableau V.12 Module des matériaux bitumineux de la chaussée –sens retour-.

ZH	Nombre de couches	Matériaux	Module de référence (MPa) (CTTP, 2001)	Etat des matériaux	Module évalué (MPa)
1	2	BB	2500	Fissurés	2000
		GB	3500		2000
2	2	BB	2500	Fissurés	2000
		GB	3500		2000

### V.4 CONCLUSION.

On remarque une homogénéité avec les résultats des zones homogènes globales mise au point (Chapitre IV), dans les deux sens –aller et retour-, ce qui confirme les études établi et offre une assurance du bon fondement des bases mises au point nécessaire à la réalisation du renforcement.

Les résultats des campagnes de carottage permettent aussi de voir le niveau de dégradation des matériaux de la chaussée, ce qui permettra de pouvoir modéliser l'infrastructure.

## **CHAPITRE VI MODELISATION ET DIAGNOSTIC.**

### **VI.1 INTRODUCTION.**

Après l'étude visuelle et en profondeur de l'état de dégradation de la chaussée, il est nécessaire de pouvoir comprendre l'application réelle de ces phénomènes et leur développement à travers le temps. Grâce à cela, on pourra mettre au point un nouveau dimensionnement en fonction de l'évolution réelle de la chaussée à travers le temps et de sa capacité présente.

Tout ceci, ce fait grâce à plusieurs méthodes de dimensionnement et avec l'utilisation, dans ce projet, du logiciel ALIZE.

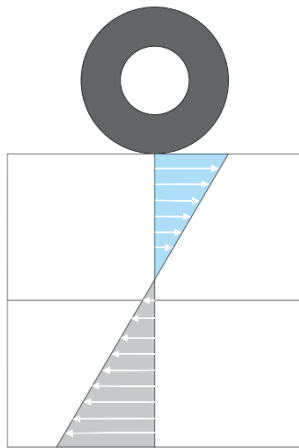
### **VI.2 PRESENTATION DU LOGICIEL ALIZE.**

Le logiciel Alizé-LCPC est l'outil de dimensionnement et d'expertise du comportement mécanique des chaussées, développé par le Département Matériaux et Structures de l'IFSTTAR (Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux). Ses domaines d'application couvrent les chaussées routières, les chaussées spéciales, telle que les aires industrielles ou les plates-formes logistiques et les chaussées aéronautiques.

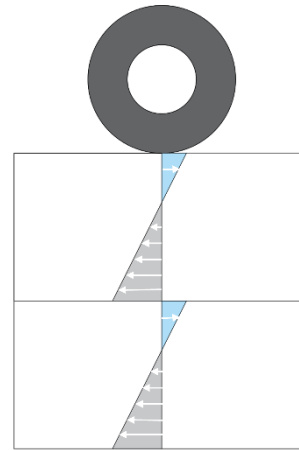
Le logiciel ALIZE suit le principe de dimensionnement d'une chaussée, qui s'effectue en calculant pour un chargement de référence (Appelée jumelage type), les contraintes et les déformations à l'intérieur de la structure.

Il réalise alors le calcul en appliquant :

- Un modèle de Burmister : qui propose deux hypothèses de calcul suivant la liaison existante entre les couches (Figure VI.1 et Figure VI.2) :
  - l'hypothèse interface collée qui assure une continuité des contraintes verticales et des déformations horizontales de part et d'autre de l'interface séparant les deux couches et réduit le niveau de contrainte à l'interface.
  - l'hypothèse interface décollée (glissement) qui suppose une nullité de la contrainte de cisaillement et une discontinuité des déformations horizontales dans le plan de l'interface ce qui augmente l'épaisseur des couches pour réduire le niveau de contrainte et déformation à l'interface.
- Principe de superposition des charges (hypothèse des modèles élastiques linéaires).



**Figure VI.1 Répartition des charges pour une interface collée avec l'hypothèse de Burmister.**



**Figure VI.2 Répartition des charges pour une interface décollée avec l'hypothèse de Burmister.**

Ces contraintes et déformations, calculées préalablement, sont alors comparées à des limites admissibles, en utilisant les lois de fatigue des différents matériaux issues des essais de laboratoire et en tenant compte de la durée de vie attendue de la chaussée, du trafic prévisible et d'un risque (probabilité admise) de détérioration de la structure avant terme.

Selon la nature du matériau, les valeurs admissibles à respecter sont définies en termes de déformations pour les matériaux bitumineux et en termes de contraintes pour les matériaux hydrauliques, qui sont eux-mêmes estimés à la base des couches (Efforts de traction importants).

Les données qu'utilise le logiciel ALIZE sont généralement :

- L'épaisseur des couches de matériaux.
- L'état des interfaces.
- Le module des matériaux.
- Le coefficient de poisson des matériaux.

Certaines hypothèses seront aussi prises en compte lors de la modélisation :

- On considère toujours une couche infinie substratum à la base de notre structure de très grande rigidité ( $E \geq 10\,000$  MPa,  $\nu = 0,25$ ).
- Le sol support a une profondeur fixée à 6 m qui repose sur cette couche rigide, pour caler les résultats de calcul aux résultats pratiques. (CEREMA, 2016)
- Les modules des matériaux non traités sont doublés à chaque couche se rapprochant de la surface, en prenant en compte les maxima plafonds.
- Si une est d'épaisseur supérieur à 10cm elle sera divisé en plusieurs sous couches, pour une bonne répartition des charges.

### **VI.3 DETERMINATION DU MODULE DU SOL PAR METHODE DE CALCUL INVERSE.**

La méthode de calcul inverse est une méthode itérative permettant d'avoir les modules des couches de la chaussée en calant la déflexion corrigé calculé à celle obtenue pour les modules des couches bitumineuses obtenues grâce au campagnes de carottage (chapitre V) et différentes estimations de ces modules en utilisant le logiciel ALIZE.

Nous avons déjà les données des caractéristiques mécaniques des matériaux non traitées à neuf (Tableau VI.1). (CTTP, 2001).

**Tableau VI.1 Caractéristique mécaniques des MNT.**

Matériaux	Module (MPa)	$\nu$
GNT	500	0,25
Fondation en MNT sous GB	$E_{MNT}(sous\ couche\ i) = 2 * E_{MNT}(sous\ couche\ i - 1)$	0,25

Donc nous avons notre structure initiale en 2010 avec les modules du catalogue. (Tableau VI.2).

**Tableau VI.2 Modules de la structure de la chaussée selon le catalogue de dimensionnement.**

Matériaux	Epaisseur	Module (MPa)	$\nu$
BB	0.060	2500	0.35
GB	0.100	3500	0.35
GNT	0.050	500	0.25
GNT	0.100	250	0.25
Sol support	6.000	125	0.25
Substratum	infini	10000	0.25

Il est à noter que ces modules ont des valeurs maximales normalisées que la modélisation doit prendre en compte (Tableau VI.3). (Horta J.C, 1979)

**Tableau VI.3 Module des matériaux non liés en MPa.**

Humidité	Propreté		
	Propre	Pollué	Très pollué
Sec	600	400	400
Humide	400	400	200
Suintant	400	200	200

Tel que :

- Pollué : pourcentage de fines (passant à 63  $\mu\text{m}$ ) > 12 et  $MB_{0/D} < 0,8$ .
- Très pollué : pourcentage de fines (passant à 63  $\mu\text{m}$ ) > 12 et  $MB_{0/D} \geq 0,8$ .
- Sec : teneur en eau  $\leq 3\%$ .
- Suintant : arrivée d'eau libre dans le trou de sondage.

D'après les essais réalisés sur les matériaux, nous avons pour les couches de gravier de très faibles pourcentages de fines, et une teneur en eau variant entre 4 et 6%, nous prendrons donc pour le GNT :

$$E_{max}(GNT) = 400 \text{ MPa.}$$

**Sens Aller :** Allant du Carrefour 24 Février au carrefour des puits historiques.

Respectant les données de déflexion caractéristiques corrigées (Tableau VI.4) préalablement calculées (CHAPITRE V), on a pu réaliser un dimensionnement inverse par logiciel ALIZE (Figure VI.3 Et Figure VI.4)

Tableau VI.4 Déflexion corrigée –sens aller-.

Zone Homogène	1	2
Déflexion corrigée (mm/100)	53.1	60.6



Figure VI.3 Modélisation du module des couches de la structure de la ZH01 –sens aller- par ALIZE.



Figure VI.4 Modélisation du module des couches de la structure de la ZH02 –sens aller- par ALIZE.

Les résultats donnés par la méthode de calcul inverse montrent la dégradation de la couche de GNT et du sol support (Tableau VI.5).

Tableau VI.5 Module des matériaux de structure par calcul inverse –sens aller-.

Matériaux	Zone Homogène 01			Zone Homogène 02		
	Epaisseur	Module (MPa)	$\nu$	Epaisseur	Module (MPa)	$\nu$
BB	0.053	2000	0.35	0.058	2000	0.35
GB	0.083	2000	0.35	0.088	2000	0.35
GNT	0.050	400	0.35	0.050	380	0.35
GNT	0.100	234	0.35	0.100	190	0.35
Sol support	6.000	117	0.35	6.000	95	0.35
Substratum	infini	10000	0.25	Infini	10000	0.25

**Sens retour :** Allant du carrefour des puits historiques au carrefour 24 Février.

Respectant, là aussi, les données de déflexion caractéristiques corrigées (Tableau VI.6) préalablement calculées (CHAPITRE V), on a pu réaliser un dimensionnement inverse par logiciel ALIZE (Figure VI.5 Et Figure VI.6)

Tableau VI.6 Déflexion corrigée –sens retour-.

Zone Homogène	1	2
Déflexion corrigée (mm/100)	83.1	58.1

épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT ( $\mu$ def)	SigmaT (MPa)	EpsZ ( $\mu$ def)	SigmaZ (MPa)
0,058	2000,0	0,350	0,000	104,5	0,571	-148,9	0,660
	collé		0,058	22,6	0,280	126,1	0,529
0,093	2000,0	0,350	0,058	22,6	0,280	126,1	0,529
	collé		0,151	-373,8	-0,974	379,9	0,142
0,050	256,0	0,350	0,151	-373,8	-0,058	682,2	0,142
	collé		0,201	-449,5	-0,101	631,8	0,101
0,100	128,0	0,350	0,201	-449,5	-0,024	877,3	0,101
	collé		0,301	-463,0	-0,045	741,7	0,069
6,000	64,0	0,350	0,301	-463,0	-0,004	1079,3	0,069
	collé		6,301	0,0	0,001	10,2	0,001
infini	10000,0	0,250	6,301	0,0	0,000	0,1	0,001

Grandeurs affichées

tableau 1     tableau 2

tableau 3     tableau 4

tableau 5     tableau 6

tableau 7     tableau 8

---

Déflexion =82,5 mm/100

Figure VI.5 Modélisation du module des couches de la structure de la ZH01 –sens retour- par ALIZE.

épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,056	2000,0	0,350	0,000	55,9	0,406	-92,3	0,660
	collé		0,056	15,6	0,249	140,2	0,545
0,089	2000,0	0,350	0,056	15,6	0,249	140,2	0,545
	collé		0,145	-294,8	-0,730	322,6	0,185
0,050	400,0	0,350	0,145	-294,8	-0,066	553,1	0,185
	collé		0,195	-351,6	-0,124	501,8	0,127
0,100	202,0	0,350	0,195	-351,6	-0,030	695,3	0,127
	collé		0,295	-360,5	-0,055	555,8	0,082
6,000	101,0	0,350	0,295	-360,5	-0,006	808,4	0,082
	collé		6,295	0,0	0,001	6,5	0,001
infini	10000,0	0,250	6,295	0,0	0,000	0,1	0,001

Grandeurs affichées

tableau 1     tableau 2

tableau 3     tableau 4

tableau 5     tableau 6

tableau 7     tableau 8

---

Déflexion =57,8 mm/100

Figure VI.6 Modélisation du module des couches de la structure de la ZH02 –sens retour- par ALIZE.

A partir des résultats du calcul inverse, on remarque une plus grande perte dans ce sens au niveau des modules des matériaux de la structure, principalement dans la 1<sup>ère</sup> zone homogène qui montre un sol support très faibles expliquant les grandes déflexions préalablement calculées dans la zone. (Tableau VI.7)

Tableau VI.7 Module des matériaux de structure par calcul inverse –sens retour-.

Matériaux	Zone Homogène 01			Zone Homogène 02		
	Epaisseur	Module (MPa)	v	Epaisseur	Module (MPa)	v
BB	0.058	2000	0.35	0.056	2000	0.35
GB	0.093	2000	0.35	0.089	2000	0.35
GNT	0.050	256	0.35	0.050	400	0.35
GNT	0.100	128	0.35	0.100	202	0.35
Sol support	6.000	64	0.35	6.000	101	0.35
Substratum	infini	10000	0.25	infini	10000	0.25

#### VI.4 CALCUL DE L'ENDOMMAGEMENT.

Pour estimer le taux de rénovations à apporter sur la chaussée endommagée, il est nécessaire d'évaluer le taux d'endommagement qu'elle a subi jusqu'à aujourd'hui.

Ce taux est représenté par le dommage cumulé par chaque couche considérée ( $d_{cumulé}$ ), qui est calculé par la relation (CEREMA, 2016) :

$$d_{cumulé} = \frac{ne_{subit}}{NE_{durée\ de\ vie}}$$

Tel que :

-  $ne_{subit}$  : nombre équivalent de passages de l'essieu de référence correspondant au trafic déjà supporté par la chaussée. Il est calculé par la formule (CEREMA, 2016) :

$$ne_{subit} = CAM * \sum (TCi)_i$$

Avec :  $TC_i$  : Trafic Cumulé Annuel :  $(TC_i)_i = 365 * TPL_i$

-  $NE_{durée\ de\ vie}$  : nombre équivalent de passages de l'essieu de référence conduisant à la ruine de la couche. Il est obtenu grâce à une modélisation par logiciel ALIZE. En suivant les étapes suivantes :

- Introduction des épaisseurs et modules des matériaux de chaussées obtenus grâce au carottage et par méthode inverse.
- Détermination de la déformation horizontale d'extension ( $\epsilon_t$ ) à la base des couches bitumineuses, et de la déformation verticale de compression ( $\epsilon_z$ ) à la surface du sol support.
- Introduction des paramètres de calcul des matériaux à étudier (CTTP, 2001) et le % de risque qu'on pose à 50% :

**Tableau VI.8 Paramètres de calcul des dommages pour le GB.**

Matériaux	E (30°,10Hz) MPa	E (10°,10Hz) MPa	$\epsilon_6$	-1/b	SN	Sh (cm)	Kc	CAM
GB	3500	12500	100	6,84	0,45	3	1,3	0,8

Tel que :

- $\epsilon_6$  : Déformation limite détenue au bout de  $10^6$  cycles avec une probabilité de rupture de 50% à  $10^\circ$  C et 25Hz (essai de fatigue).
- b : Pente de la droite de fatigue ( $b < 0$ ).
- SN : Dispersion sur la loi de fatigue.
- Sh : Dispersion sur les épaisseurs (en cm).
- $K_c$  : Facteur lié au calage des résultats du modèle de calcul avec le comportement observé sur chaussées.

**Tableau VI.9 Paramètres de calcul des dommages pour le Sol Support.**

Matériaux	Coefficient A	Pente b	CAM
Sol Support	$22 * 10^3$	-0,235	1

Il est calculé pour chaque phase de projet ces phases représentées :

Les durées entre les différents travaux de renforcement effectué sur la chaussée existante (dans notre cas c'est la 1<sup>ère</sup> phase entre 2010 et 2018).

La durée de l'étude du projet (dans notre cas c'est la 2<sup>ème</sup> phase entre 2019 et 2022).

La durée de vie de la structure à réaliser à partir de l'année de mise en service (pour ce projet c'est la 3<sup>ème</sup> phase entre 2023 et 2032).

- Obtention du trafic cumulé NE par méthode inverse.

Il est important de noter, qu'une même couche de chaussée supporte au cours de sa durée de vie des niveaux de sollicitations divers, lui causant des dommages élémentaires distincts. Aussi, elle peut avoir subi plusieurs modifications de sa structure grâce à des travaux de renforcement. Toutes ces données résulteront en l'obtention de phase ayant des dommages cumulés spécifique.

On aura alors recours, à la loi de cumul des dommages, tel que (CEREMA, 2016) :

$$d_{total} = \sum d_{cumulé}^i$$

On remarque aussi, que dans le cas où  $d_{cumulé} = 1$ , on est à la limite de résistance de la chaussée.

#### VI.4.1 Application au projet.

Rappel des données du projet :

- Année de dernières rénovations : 2010.
- Année de comptage : 2019.
- Année de mise en service : 2023.
- Durée de vie de la chaussée :  $N = 10$  ans.
- Coefficient d'accroissement annuel :  $i = 5\%$ .
- Coefficient d'agressivité moyen :  $CAM = 0,8$ .

**Sens Aller :** Allant du Carrefour 24 Février au carrefour des puits historiques.

Il a déjà établi que ce sens de trajet comporte deux zones. Chaque zone doit donc être diagnostiquée à part.

Rappel des données de chaque zone à l'année de comptage :

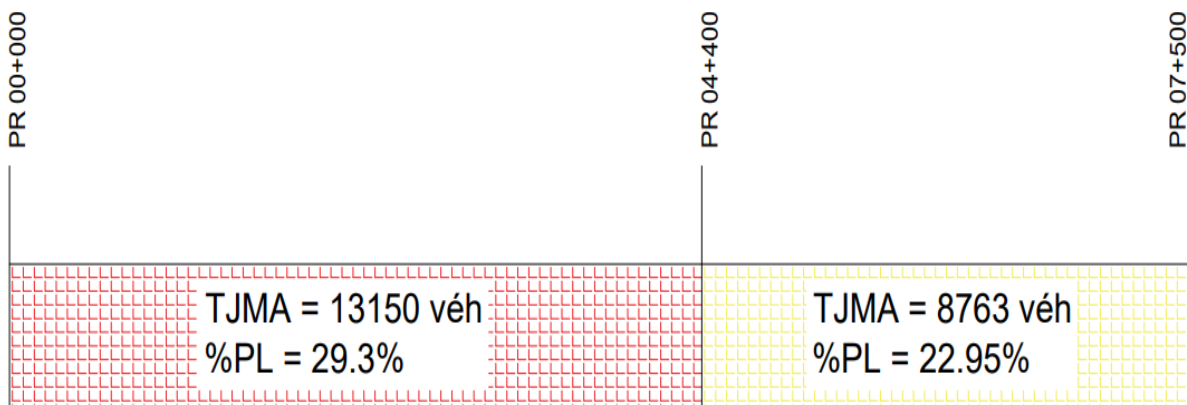


Figure VI.7 Données des zones homogènes du trafic -sens aller-.

**Zone Homogène 01 :** du PR 0+000 au 4+400.

1- Calcul des  $ne_{subit}$  :

Ce calcul se fait grâce au TJMA des années précédant et suivants ceux de l'année de comptage :

$$TJMA_{n-1} = \frac{TJMA_n}{1 + \tau}$$

$$TJMA_{n+1} = (1 + \tau) * TJMA_n$$

Tableau VI.10  $ne_{subit}$  de la zone homogène 01 –sens aller-.

Phases	TJMA	%PL	NPL	TPLi	Tci	Tci	CAM	ne	
Phase 01	2010	8480	29,33	2487	2238,3	816980	9,00E+06	0,8	7,20E+06
	2011	8903	29,33	2611	2349,9	857714			
	2012	9348	29,32	2741	2466,9	900419			
	2013	9815	29,32	2878	2590,2	945423			
	2014	10305	29,32	3021	2718,9	992399			
	2015	10820	29,32	3172	2854,8	1042002			
	2016	11360	29,31	3330	2997	1093905			
	2017	11928	29,31	3496	3146,4	1148436			
	2018	12524	29,30	3670	3303	1205595			
Phase 02	2019	13150	29,30	3853	3467,7	1265711	5,45E+06	0,8	4,37E+06
	2020	13808	29,30	4046	3641,4	1329111			
	2021	14499	29,31	4249	3824,1	1395797			
	2022	15224	29,31	4462	4015,8	1465767			
Phase 03	2023	15986	29,31	4686	4217,4	1539351	1,9E+07	0,8	1,55E+07
	2024	16786	29,32	4921	4428,9	1616549			
	2025	17626	29,32	5168	4651,2	1697688			
	2026	18508	29,32	5427	4884,3	1782770			
	2027	19434	29,32	5699	5129,1	1872122			
	2028	20406	29,32	5984	5385,6	1965744			
	2029	21427	29,33	6284	5655,6	2064294			
	2030	22499	29,33	6599	5939,1	2167772			
	2031	23624	29,33	6929	6236,1	2276177			
	2032	24806	29,33	7276	6548,4	2390166			

Avec :

- TJMA : Trafic Journalier Moyen Annuel (Véhicule/Jour).
- %PL : % de poids lourds dans le TJMA.
- NPL : trafic journalier moyen annuel de poids lourds :  $NPL = TJMA * \%PL$ .
- TPL : trafic journalier moyen annuel de poids lourds sur la voie la plus chargée :  $TPL = 90\% * NPL$ .
- TCi : trafic cumulé pour l'année i sur la voie la plus chargée :  $TCi = 365 * TPL$ .
- TC : Trafic cumulé durant chaque phase :  $TC = \sum TCi$ .

2- Calcul de  $NE_{durée\ du\ vie}$  :

Le calcul de  $NE_{durée\ du\ vie}$  a été fait grâce au logiciel ALIZE. Notamment en utilisant les déformations subites par la structure dans les deux phases. (Figure VI.8 Et Figure VI.9)

épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,060	2500,0 collé	0,350	0,000	74,2	0,470	-47,6	0,660
			0,060	26,9	0,276	95,0	0,547
0,100	3500,0 collé	0,350	0,060	26,9	0,377	56,0	0,547
			0,160	-209,4	-0,954	212,6	0,141
0,050	400,0 collé	0,350	0,160	-209,4	-0,042	406,6	0,141
			0,210	-242,6	-0,076	366,7	0,102
0,100	234,0 collé	0,350	0,210	-242,6	-0,023	479,5	0,102
			0,310	-255,2	-0,045	411,0	0,071
6,000	117,0 collé	0,350	0,310	-255,2	-0,003	599,5	0,071
			6,310	0,0	0,001	5,6	0,001
infini	10000,0	0,250	6,310	0,0	0,000	0,1	0,001

Grandeurs affichées

tableau 1     tableau 2

tableau 3     tableau 4

tableau 5     tableau 6

tableau 7     tableau 8

Déflexion =45,6 mm/100

Figure VI.8 Modélisation des déformations de la chaussée de la ZH01 –sens aller- dans la phase 1 du projet par ALIZE.

épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,053	2000,0 collé	0,350	0,000	36,5	0,359	-90,9	0,660
			0,053	17,6	0,247	139,2	0,550
0,083	2000,0 collé	0,350	0,053	17,6	0,247	139,2	0,550
			0,136	-291,2	-0,708	327,9	0,210
0,050	400,0 collé	0,350	0,136	-291,2	-0,051	589,0	0,210
			0,186	-331,4	-0,105	514,6	0,145
0,100	234,0 collé	0,350	0,186	-331,4	-0,030	674,3	0,145
			0,286	-346,8	-0,061	525,6	0,090
6,000	117,0 collé	0,350	0,286	-346,8	-0,006	766,3	0,090
			6,286	0,0	0,001	5,7	0,001
infini	10000,0	0,250	6,286	0,0	0,000	0,1	0,001

Grandeurs affichées

tableau 1     tableau 2

tableau 3     tableau 4

tableau 5     tableau 6

tableau 7     tableau 8

Déflexion =53,1 mm/100

Figure VI.9 Modélisation des déformations de la chaussée de la ZH01 –sens aller- dans la phase 2 du projet par ALIZE.

Tableau VI.11  $NE_{durée\ de\ vie}$  de la zone homogène 01 –sens aller-.

Phases	Matériaux	Déformation ( $\epsilon_t$ ) µdef	Déformation ( $\epsilon_z$ ) µdef	$NE_{durée\ de\ vie}$
Phase 01	GB	209,4		2,98E+06
	Sol Support		599,5	4,55E+06
Phase 02	GB	291,2		3,13E+05
	Sol Support		766,3	1,60E+06

3- Calcul du  $d_{cumulé}$  :

Tableau VI.12 Taux de dommage de la zone homogène 01 –sens aller-.

Matériaux	Phases	$ne_{subit}$	$NE_{durée\ de\ vie}$	$d_{cumulé}$	$d_{total}$
GB	Phase 01	7,20E+06	2,98E+06	>1	>1
	Phase 02	4,37E+06	3,13E+05	>1	
Sol Support	Phase 01	7,20E+06	4,55E+06	>1	>1
	Phase 02	4,37E+06	1,60E+06	>1	

On remarque que  $d_{total}$  est largement supérieur à 100% tant pour les matériaux bitumineux que pour le sol support. Ceci prouve l'état d'endommagement avancé dans cette zone.

**Zone Homogène 02 : du PR 4+400 au 7+500.**

1- Calcul des  $ne_{subit}$  :

Tableau VI.13  $ne_{subit}$  de la zone homogène 02 –sens aller-.

Phases	TJMA	%PL	NPL	TPLi	TCi	TC	CAM	ne
Phase 01	2010	5652	23,02	1301	1170,9	4,71E+06	0,8	3,77E+06
	2011	5934	23,02	1366	1229,4			
	2012	6230	23,02	1434	1290,6			
	2013	6541	23,01	1505	1354,5			
	2014	6868	23,01	1580	1422			
	2015	7211	22,99	1658	1492,2			
	2016	7571	22,98	1740	1566			
	2017	7949	22,97	1826	1643,4			
	2018	8346	22,97	1917	1725,3			
Phase 02	2019	8763	22,95	2012	1810,8	2,85E+06	0,8	2,28E+06
	2020	9202	22,96	2113	1901,7			
	2021	9663	22,96	2219	1997,1			
	2022	10147	22,96	2330	2097			
Phase 03	2023	10655	22,97	2447	2202,3	1,01E+07	0,8	8,09E+06
	2024	11188	22,97	2570	2313			
	2025	11748	22,97	2699	2429,1			
	2026	12336	22,97	2834	2550,6			
	2027	12953	22,98	2976	2678,4			
	2028	13601	22,98	3125	2812,5			
	2029	14282	22,98	3282	2953,8			
	2030	14997	22,98	3447	3102,3			
	2031	15747	22,99	3620	3258			
	2032	16535	22,99	3801	3420,9			

2- Calcul de  $NE_{durée\ du\ vie}$  :

Le calcul de  $NE_{durée\ du\ vie}$  a été fait grâce au logiciel ALIZE. Notamment en utilisant les déformations subites par la structure dans les deux phases. (Figure VI.10 et Figure VI.11)

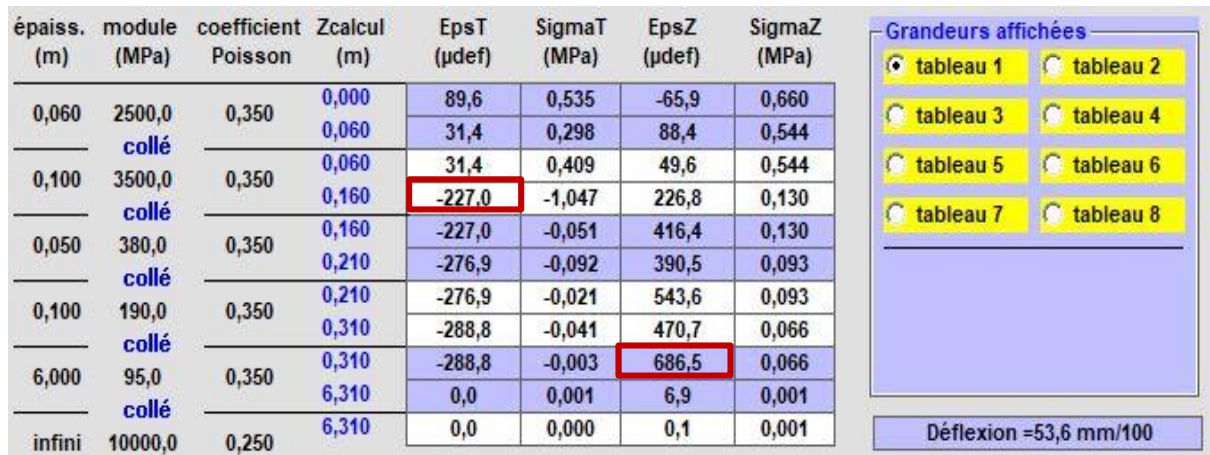


Figure VI.10 Modélisation des déformations de la chaussée de la ZH02 –sens aller- dans la phase 1 du projet par ALIZE.



Figure VI.11 Modélisation des déformations de la chaussée de la ZH02 –sens aller- dans la phase 2 du projet par ALIZE.

Tableau VI.14  $NE_{durée\ du\ vie}$  de la zone homogène 02 –sens aller-.

Phases	Matériaux	Déformation ( $\epsilon_t$ ) µdef	Déformation ( $\epsilon_z$ ) µdef	$NE_{durée\ de\ vie}$
Phase 01	GB	227,0		1,72E+06
	Sol Support		686,5	2,56E+06
Phase 02	GB	304,3		2,31E+05
	Sol Support		840,7	1,08E+06

3- Calcul du  $d_{cumulé}$  :

Tableau VI.15 Taux de dommage de la zone homogène 02 –sens aller-.

Matériaux	Phases	$ne_{subit}$	$NE_{durée\ de\ vie}$	$d_{cumulé}$	$d_{total}$
GB	Phase 01	3,77E+06	1,72E+06	>1	>1
	Phase 02	2,28E+06	2,31E+05	>1	
Sol Support	Phase 01	3,77E+06	2,56E+06	>1	>1
	Phase 02	2,28E+06	1,08E+06	>1	

On remarque que  $d_{total}$  est, là aussi, supérieur à 100% tant pour les matériaux bitumineux que pour le sol support. Confirmant l'état d'endommagement avancé dans cette zone.

**Sens retour** : Allant du carrefour des puits historiques au carrefour 24 Février.

Là encore, étant donné la présence de 2 zones homogènes, on devra les diagnostiquer indépendamment.

Rappel des données de chaque zone à l'année de comptage :

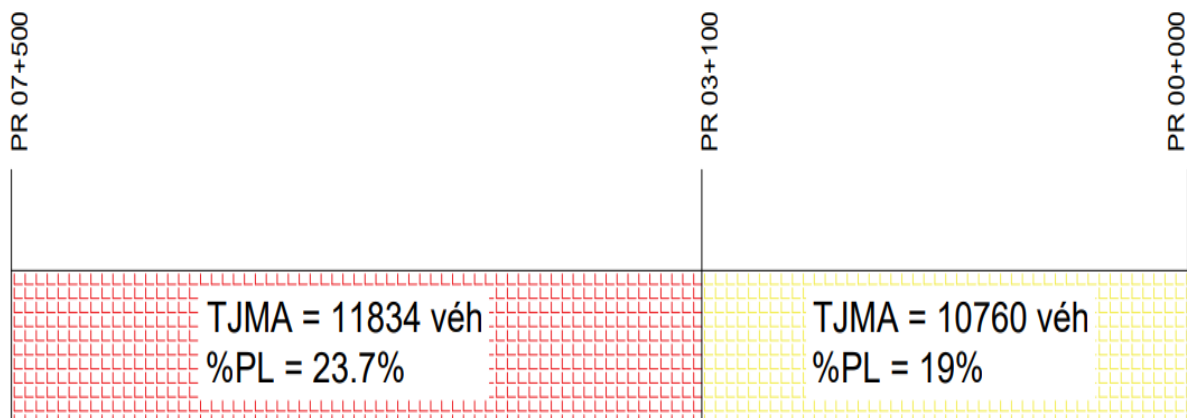


Figure VI.12 Données des zones homogènes du trafic -sens retour-.

**Zone Homogène 01** : du PR 0+000 au 3+100.

1- Calcul des  $ne_{subit}$  :

Tableau VI.16  $ne_{subit}$  de la zone homogène 01 –sens retour–.

Phases	TJMA	%PL	NPL	TPLi	TCi	TC	CAM	ne	
Phase 01	2010	6940	19,03	1321	1188,9	433949	4,78E+06	0,8	3,82E+06
	2011	7286	19,04	1387	1248,3	455630			
	2012	7650	19,03	1456	1310,4	478296			
	2013	8032	19,02	1528	1375,2	501948			
	2014	8433	19,02	1604	1443,6	526914			
	2015	8854	19,02	1684	1515,6	553194			
	2016	9296	19,02	1768	1591,2	580788			
	2017	9760	19,02	1856	1670,4	609696			
	2018	10248	19,01	1948	1753,2	639918			
Phase 02	2019	10760	19,00	2045	1840,5	671783	2,89E+06	0,8	2,32E+06
	2020	11298	19,01	2148	1933,2	705618			
	2021	11863	19,02	2256	2030,4	741096			
	2022	12457	19,02	2369	2132,1	778217			
Phase 03	2023	13080	19,02	2488	2239,2	817308	1E+07	0,8	8,23E+06
	2024	13734	19,03	2613	2351,7	858371			
	2025	14421	19,03	2744	2469,6	901404			
	2026	15143	19,03	2882	2593,8	946737			
	2027	15901	19,04	3027	2724,3	994370			
	2028	16697	19,04	3179	2861,1	1044302			
	2029	17532	19,04	3338	3004,2	1096533			
	2030	18409	19,04	3505	3154,5	1151393			
	2031	19330	19,04	3681	3312,9	1209209			
	2032	20297	19,05	3866	3479,4	1269981			

2- Calcul de  $NE_{durée\ du\ vie}$  :

Le calcul de  $NE_{durée\ du\ vie}$  a été fait grâce au logiciel ALIZE. Notamment en utilisant les déformations subites par la structure dans les deux phases. (Figure VI.13 Et Figure VI.14)



Figure VI.13 Modélisation des déformations de la chaussée de la ZH01 –sens retour- dans la phase 1 du projet par ALIZE.

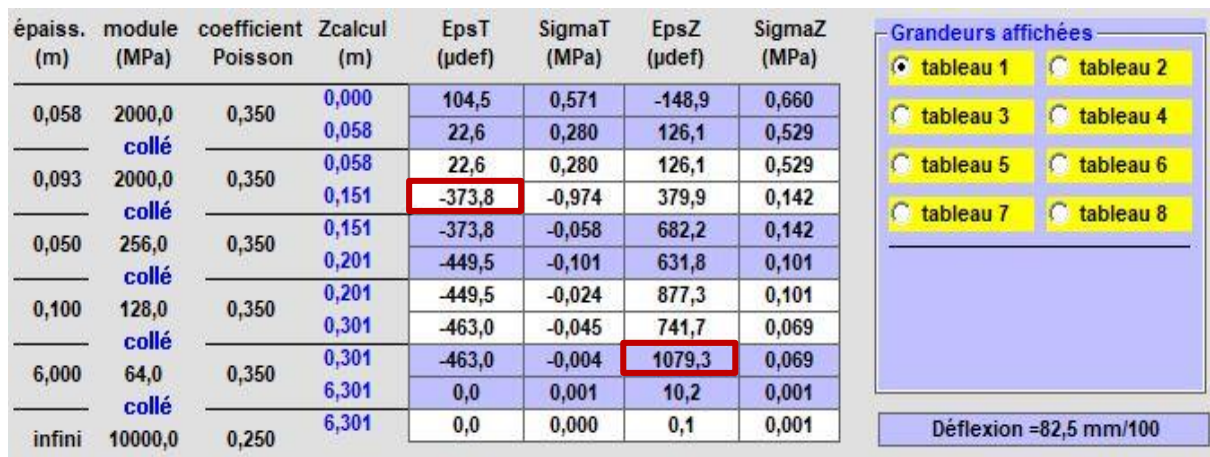


Figure VI.14 Modélisation des déformations de la chaussée de la ZH01 –sens retour- dans la phase 2 du projet par ALIZE.

Tableau VI.17  $NE_{durée\ de\ vie}$  de la zone homogène 01 –sens retour-.

Phases	Matériaux	Déformation ( $\epsilon_t$ ) µdef	Déformation ( $\epsilon_z$ ) µdef	$NE_{durée\ de\ vie}$
Phase 01	GB	274,1		4,73E+05
	Sol Support		884,0	8,72E+05
Phase 02	GB	373,8		5,67E+04
	Sol Support		1079,3	3,73E+05

3- Calcul du  $d_{cumulé}$  :

Tableau VI.18 Taux de dommage de la zone homogène 01 –sens retour-.

Matériaux	Phases	$ne_{subit}$	$NE_{durée\ de\ vie}$	$d_{cumulé}$	$d_{total}$
GB	Phase 01	3,82E+06	4,73E+05	>1	>1
	Phase 02	2,32E+06	5,67E+04	>1	
Sol Support	Phase 01	3,82E+06	8,72E+05	>1	>1
	Phase 02	2,32E+06	3,73E+05	>1	

Les taux de dommage sont bien supérieurs à 1 prouvant que les couches de la structure de cette zone homogène sont très endommagée.

**Zone Homogène 02 : du PR 3+100 au 7+500.**

1- Calcul des  $ne_{subit}$  :

Tableau VI.19  $ne_{subit}$  de la zone homogène 02 –sens retour-.

Phases	TJMA	%PL	NPL	TPLi	TCi	TC	CAM	ne
Phase 01	2010	7633	23,74	1812	1630,8	6,56E+06	0,8	5,24E+06
	2011	8014	23,73	1902	1711,8			
	2012	8414	23,73	1997	1797,3			
	2013	8834	23,73	2096	1886,4			
	2014	9275	23,72	2200	1980			
	2015	9738	23,71	2309	2078,1			
	2016	10224	23,71	2424	2181,6			
	2017	10735	23,71	2545	2290,5			
	2018	11271	23,71	2672	2404,8			
Phase 02	2019	11834	23,70	2805	2524,5	3,97E+06	0,8	3,18E+06
	2020	12426	23,71	2946	2651,4			
	2021	13048	23,71	3094	2784,6			
	2022	13701	23,71	3249	2924,1			
Phase 03	2023	14387	23,72	3412	3070,8	1,41E+07	0,8	1,13E+07
	2024	15107	23,72	3583	3224,7			
	2025	15863	23,72	3763	3386,7			
	2026	16657	23,73	3952	3556,8			
	2027	17490	23,73	4150	3735			
	2028	18365	23,73	4358	3922,2			
	2029	19284	23,73	4576	4118,4			
	2030	20249	23,73	4805	4324,5			
	2031	21262	23,73	5046	4541,4			
	2032	22326	23,73	5299	4769,1			

2- Calcul de  $NE_{durée\ du\ vie}$  :

Le calcul de  $NE_{durée\ du\ vie}$  a été fait grâce au logiciel ALIZE. Notamment en utilisant les déformations subites par la structure dans les deux phases. (Figure VI.15 et Figure VI.16)

épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,060	2500,0 collé	0,350	0,000	84,8	0,514	-59,8	0,660
			0,060	30,1	0,292	90,5	0,545
0,100	3500,0 collé	0,350	0,060	30,1	0,399	51,7	0,545
			0,160	-220,3	-1,011	221,4	0,134
0,050	400,0 collé	0,350	0,160	-220,3	-0,052	405,6	0,134
			0,210	-267,5	-0,093	378,5	0,096
0,100	202,0 collé	0,350	0,210	-267,5	-0,022	524,9	0,096
			0,310	-278,7	-0,042	452,2	0,067
6,000	101,0 collé	0,350	0,310	-278,7	-0,003	659,2	0,067
			6,310	0,0	0,001	6,5	0,001
infini	10000,0	0,250	6,310	0,0	0,000	0,1	0,001

Grandeurs affichées

tableau 1     tableau 2

tableau 3     tableau 4

tableau 5     tableau 6

tableau 7     tableau 8

Déflexion =51,1 mm/100

Figure VI.15 Modélisation des déformations de la chaussée de la ZH02 –sens retour- dans la phase 1 du projet par ALIZE.

épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,056	2000,0 collé	0,350	0,000	55,9	0,406	-92,3	0,660
			0,056	15,6	0,249	140,2	0,545
0,089	2000,0 collé	0,350	0,056	15,6	0,249	140,2	0,545
			0,145	-294,8	-0,730	322,6	0,185
0,050	400,0 collé	0,350	0,145	-294,8	-0,066	553,1	0,185
			0,195	-351,6	-0,124	501,8	0,127
0,100	202,0 collé	0,350	0,195	-351,6	-0,030	695,3	0,127
			0,295	-360,5	-0,055	555,8	0,082
6,000	101,0 collé	0,350	0,295	-360,5	-0,006	808,4	0,082
			6,295	0,0	0,001	6,5	0,001
infini	10000,0	0,250	6,295	0,0	0,000	0,1	0,001

Grandeurs affichées

tableau 1     tableau 2

tableau 3     tableau 4

tableau 5     tableau 6

tableau 7     tableau 8

Déflexion =57,8 mm/100

Figure VI.16 Modélisation des déformations de la chaussée de la ZH02 –sens retour- dans la phase 2 du projet par ALIZE.

Tableau VI.20  $NE_{durée\ du\ vie}$  de la zone homogène 02 –sens retour-.

Phases	Matériaux	Déformation ( $\epsilon_t$ ) µdef	Déformation ( $\epsilon_z$ ) µdef	$NE_{durée\ de\ vie}$
Phase 01	GB	220,3		2,11E+06
	Sol Support		659,2	3,04E+06
Phase 02	GB	294,8		2,87E+05
	Sol Support		808,4	1,28E+06

3- Calcul du  $d_{cumulé}$  :

Tableau VI.21 Taux de dommage de la zone homogène 02 –sens retour-.

Matériaux	Phases	$ne_{subit}$	$NE_{durée\ de\ vie}$	$d_{cumulé}$	$d_{total}$
GB	Phase 01	5,24E+06	2,11E+06	>1	>1
	Phase 02	3,18E+06	2,87E+05	>1	
Sol Support	Phase 01	5,24E+06	3,04E+06	>1	>1
	Phase 02	3,18E+06	1,28E+06	>1	

Là encore, le taux de dommage est élevé (supérieur à 100%) et les couches de l'infrastructure sont donc très endommagées.

### VI.5 CONCLUSION.

Après obtention des taux d'endommagement de chaque zone homogène dans chacun des deux sens, on confirme le grand taux d'endommagement de la chaussée et de ses matériaux. On devra alors avoir recours pour ce renforcement à la réalisation d'une chaussée neuve reposant sur la totalité ou une partie de la chaussée existante.

## CHAPITRE VII : CONCEPTION DES SOLUTIONS.

### VII.1 INTRODUCTION.

Suite à l'établissement du diagnostic concluant sur la chaussée endommagée, il est présentement possible de réaliser le renforcement nécessaire. Cette étape accorde une grande importance aux méthodes rationnelles et aux modélisations par le logiciel ALIZE 1.5.

Plusieurs variantes, pouvant être considérées, le choix de l'une d'entre elles dépend principalement des moyens réellement disponibles.

### VII.2 LES METHODES CLASSIQUES DE DIMENSIONNEMENT.

Plusieurs méthodes de dimensionnement et de renforcement ont été établies à travers les années pour mener à bien ce type de projet. Les méthodes sont souvent rationnelles se basant principalement sur des outils informatiques mettant en œuvre la mécanique des chaussées, où empirique utilisant des observations compilées.

#### VII.2.1 Méthode C.B.R (California Bearing Ratio).

La méthode CBR est une méthode empirique qui se base essentiellement sur l'indice CBR% de la partie supérieure des terrassements PST ou de la couche de forme, selon le cas. Elle est utilisée pour déterminer l'épaisseur totale en grave concassée du corps de chaussée souple. La détermination de l'épaisseur totale du corps de chaussée à mettre en œuvre s'obtient par l'application de la formule présentée ci-après :

$$e_{eq} = \frac{100 + \sqrt{P} \times [75 + 50 \times \text{Log}\left(\frac{N}{10}\right)]}{I_{cbr} + 5} \quad (\text{en cm})$$

Tel que :

- $e_{eq}$  : l'épaisseur équivalente en grave concassée du corps de chaussée.
- $I_{cbr}$  : indice de CBR en %.
- $P$  : charge du demi-essieu de référence en tonne (6.5T pour essieu de 13T).
- $N$  : trafic poids lourd par jour sur la voie la plus chargée à l'année d'horizon (la dernière année de la vie de la chaussée).
- $\text{Log}$  : logarithme décimal.

L'épaisseur équivalente obtenue peut être répartie de nos jours sur une couche de surface, une couche de base et une couche de fondation, réalisées dans des matériaux de structures de chaussées normalisées en utilisant les équivalences des matériaux. (Tableau VII.1)

Tableau VII.1 Equivalence des matériaux - méthode CBR-

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux ou enrobe dense	2.00
Grave ciment / grave laitier	1.50
Sable ciment	1.00 à 1.20
Tuf	0.6 à 0.7
Sable	0.50
Grave concassée ou gravier	1.00
Grave bitume	1.60 à 1.70
Grave roulée / grave sableuse T.V.O	0.75

Les épaisseurs des différentes couches d'une chaussée, selon les matériaux, sont obtenues en utilisant la formule suivante :

$$e_{eq} = e1 \times c1 + e2 \times c2 + e3 \times c3.$$

Avec :

- c1, c2, c3: coefficients d'équivalence des matériaux..
- e1, e2, e3 : épaisseurs réelles considérées pour les couches de la chaussée.

Le dimensionnement se fera donc par méthode itérative pour avoir les épaisseurs de matériaux optimales.

### VII.2.2 Méthode de l'indice des groupes.

La méthode de l'indice des groupes  $I_g$  est une méthode empirique basée sur les propriétés du sol de la partie supérieure des terrassements telles que :

- Pourcentage des particules fines F d'un sol inférieur à 80um.
- Limite de liquidité  $W_L$ .
- Indice de plasticité  $I_P$ .

L'indice des groupes  $I_g$  est calculé par la formule suivante :

$$I_g = 0.2 \times a + 0.005 \times a \times c + 0.01 \times b \times d.$$

Avec :

- a, b, c, d : coefficients spécifiques aux sols. (Tableau VII.2)

Tableau VII.2 Coefficients a, b, c, d de l'indice de groupe.

F (%)	a	F (%)	b	$W_L$	c	$I_P$	d
< 35	0	<15	0	<40	0	<10	0
35 – 75	F-35	15 – 55	F-15	40 – 60	$W_L-40$	10 – 30	$I_P-10$
>75	40	>55	40	>60	20	>30	20

On utilise  $I_g$  et le niveau du trafic pour obtenir à partir de l'abaque (Figure VII.1) l'épaisseur totale de la chaussée.

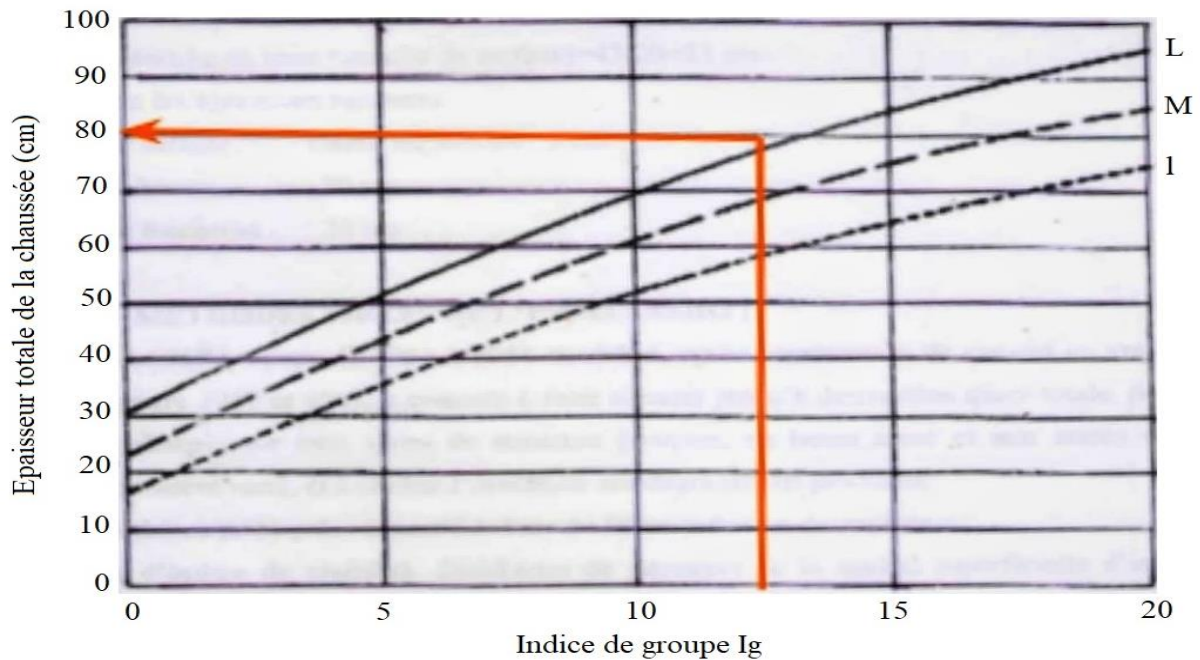


Figure VII.1 Abaque des épaisseurs de la chaussée en fonction de l'Indice de groupe et du trafic.

Avec :

- L : trafic lourd (>300 PL/j).
- M : trafic moyen (50 à 300 PL/j).
- l : trafic léger (<50 PL/j).

On obtient alors l'épaisseur de la couche de fondation  $e_{cf}$  (Tableau VII.3).

Tableau VII.0.3 Epaisseur de la couche de fondation  $E_{cf}$  (cm).

Indice de groupe $I_g$ .	Epaisseur de la couche de fondation $E_{cf}$ (cm).
0 ou 1	0
2-4	10
5-9	20
10-20	30

Après avoir calculé l'épaisseur totale et celle de la couche de fondation. On choisit alors l'épaisseur de la couche de surface pour déduire l'épaisseur de la couche de base.

### VII.2.3 La méthode du catalogue algérien des structures.

La méthode du catalogue de dimensionnement est une méthode rationnelle qui se base essentiellement sur plus de paramètres utilisés comme des données d'entrée pour le dimensionnement, en fonction desquels on choisit la structure de chaussée adéquate.

### Le réseau principal RP.

Il se compose de route reliant :

- Les chefs-lieux de wilaya.
- Les ports, les aérodromes et les postes frontaliers.
- Les principales agglomérations et important zone industrielles.

### La classe de trafic TPLi.

Les classes sont données pour chaque niveau de réseau principal en nombre de PL sur le sens le plus chargé.

### Les classes de portances de sols-supports pour le dimensionnement.

Pour le dimensionnement des structures, on distingue 4 classes de sols-support pour différentes valeurs de leurs modules (tableau VII.4) (CTTP, 2001) qui ont été calculées à partir de relation empirique suivante :

$$E(MPa) = K \times CBR$$

Avec : K= 5 (LCPC France).

Tableau VII.4 Classe de sol-support.

Classe des sols supports.	S <sub>3</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>0</sub>
E module (MPa).	25-50	50-125	125-200	>200

Il est important de noter que si le niveau de portance du sol terrassé (S<sub>i</sub>) est insuffisant, on ajoute une couche de forme pour augmenter sa résistante jusqu'à atteindre le sol support visée (S<sub>j</sub>) (tableau VII.5).

Tableau VII.5 Epaisseurs des couches de forme pour amélioration de la portance du sol.

Classe portance du sol terrassé (S <sub>i</sub> )	Epaisseur de CF	Classe du sol support visée (S <sub>j</sub> )
<S <sub>4</sub>	50 cm (en 2couche)	S <sub>3</sub>
S <sub>4</sub>	35cm	S <sub>3</sub>
S <sub>4</sub>	60 cm (en 2couche)	S <sub>2</sub>
S <sub>3</sub>	40 cm (en 2couche)	S <sub>2</sub>
S <sub>3</sub>	70 cm (en 2couche)	S <sub>2</sub>

### La zone climatique et température équivalente.

Les différentes zones climatiques de l'Algérie ainsi que leur température équivalente sont cataloguées (tableau VII.6). (CTTP, 2001)

**Tableau VII.6 Les zones climatiques de l'Algérie et leur température équivalente.**

Zone climatique	Pluviométrie (mm/an)	Climat	T <sub>eq</sub>	Région
I	>600	Très humide	20	Nord
II	350-600	Humide	20	Nord, hauts plateaux
III	100-350	Semi-aride	25	Hauts plateaux
IV	<100	aride	30	sud

Après avoir obtenus toutes les informations nécessaires, on détermine la structure optimale de dimensionnement en utilisant les fiches technique de dimensionnement. (CTTP, 2001)

### VII.3 METHODE RATIONNELLE FRANCAISE.

La méthode repose sur plusieurs étapes (CEREMA, 2016) :

- Choix du type de renforcement : plusieurs méthodes de renforcements peuvent être prise en compte en fonction du taux de dommage (rechargement -sur la chaussée existante-, décaissement partiel –remplacement d’une ou plusieurs couches bitumineuses-, décaissement total –remplacement de la chaussée jusqu’au sol support-, retraitement en place-.

- Calcul des sollicitations admissibles dans les différents matériaux des couches de la chaussée : les sollicitations à prendre en compte dépendent de la déformation horizontale d’extension ( $\epsilon_t$ ) à la base des couches bitumineuses, et de la déformation verticale de compression ( $\epsilon_z$ ) à la surface du sol support.

Ces déformations sont obtenues soit par calcul manuel où grâce au logiciel ALIZE-LCPC et dépend du trafic cumulé, à la durée de vie et du coefficient de risque « r » dépendant de la classe du trafic (Tableau VII.7) et des caractéristiques des matériaux (Tableau VII.8 et VII.9 ). (CTTP, 2001 ; Bibliothèque ALIZE 1.5)

**Tableau VII.7 Risques adoptés pour le réseau RP1 pour les chaussée GB/GB, GB/GNT...**

Classe du trafic (TPLi)	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6	TPL7
Risque r(%)	20	15	10	5	2

**Tableau VII.8 Caractéristiques des matériaux bitumineux.**

Matériaux	E (30°,10Hz) MPa	E (10°,10Hz) MPa	$\epsilon_6$	-1/b	SN	Sh (cm)	Kc	CAM
GB	3500	12500	100	6,84	0,45	3	1,3	0,8
EME	6000	17000	130	5	0,25	3	1	0,8

**Tableau VII.9 Caractéristiques du sol support.**

Matériaux	Coefficient A	Pente b	CAM
Sol Support	22*10 <sup>3</sup>	-0,235	1

- Choix des couches initiales de chaussée et leurs épaisseurs : Le choix se fait en fonction du trafic et des matériaux disponibles. Les modules des matériaux dépendent des normes du catalogue à la température équivalente de la région.
- Calcul des sollicitations : cette étape se fait par logiciel ALIZE sur la structure choisi, pour obtention des déformations engendrées sur la structure suites à ses sollicitations.
- Tâtonnement sur les épaisseurs de la structure : modification des épaisseurs (possible même de types de matériaux) de la structure par itérations jusqu'à l'obtention de sollicitation engendrés inférieurs aux sollicitations admissibles correspondantes.
- Choix de la solution optimale : comparaison des variantes possibles et choix de la structure la plus favorable.

#### **VII.4 COMPARAISON ET CHOIX DE LA METHODE OPTIMALE AU PROJET.**

Les deux méthodes empiriques sont des méthodes utilisées avant l'arrivée de l'outil informatique, elles se basent uniquement sur les observations du comportement de chaussées, en utilisant une formule simple avec des données réduites sur le trafic et le sol support. Elles permettent seulement d'obtenir un ordre de grandeur sur l'épaisseur globale de la chaussée. Par contre les méthodes rationnelles basées sur la mécanique des chaussées, tiennent en compte de plusieurs paramètres :

- Les performances et la fatigue des matériaux.
- Les déformations admissibles de la structure.

La méthode de catalogue de dimensionnement de chaussée est une méthode algérienne établie et conçu par le CTPP et validé par le ministère des travaux publics. On remarque que la majorité de structures mentionnées dans les fiches techniques sont principalement réalisées grâce à un des matériaux limités tel que les tufs, les sables gypseux et les arènes granitiques nécessitant un traitement, soit aux liants hydraulique (ciment, laitier) ou alors au bitume.

La disposition d'un nombre restreint de structure de chaussée type, constitue une limite d'utilisation de ce catalogue puisqu'il ne s'applique que sur des cas classiques et typiques. Et donc, pour des cas complexes, il nécessite des études approfondies (géotechnique et trafic...). (CHIALI et AIT MOKHTAR, 2014).

La nouvelle méthode française de dimensionnement, qui est aussi une méthode rationnelle, est plus précise car elle tient en compte à la fois des mêmes paramètres que la méthode du catalogue algérien mais y en ajoutant d'autre à caractère mécanique (la déflexion caractéristique, vérification au gel-dégel).

Pour le projet de réhabilitation de la RN03 dont fait l'objet ce document. Il a été décidé de procéder à un dimensionnement par la nouvelle méthode française qui est étendu aux problèmes de renforcements est plus scientifiquement fondé que les méthodes empiriques neufs.

#### **VII.5 APPLICATION AU PROJET.**

**Sens Aller** : Allant du Carrefour 24 Février au carrefour des puits historiques.

Un choix de dimensionnement est réalisé pour chacune des deux zones homogènes de ce sens. Deux variantes sont proposées, une qui est classique en BBSG/GB et une autre en BBME/EME ayant des modules plus élevés, étant donné les sollicitations élevées du projet.

**Zone Homogène 01** : du PR 0+000 au 4+400.

- Calcul des sollicitations admissibles :

Données de la zone :

Trafic cumulé en phase 3 (Chapitre VI) :  $TC_i = 1,9E+07$ .

Durée de vie :  $N=10$ ans.

Classe du trafic de la zone (Chapitre IV) : TPL7.

Risque adopté :  $r = 2\%$ .

Après modélisation par ALIZE, on a :

**Tableau VII.10 Sollicitations admissibles zone homogène 01 –sens aller-.**

Type de chaussée de remplacement	$\epsilon_t (\mu def)$	$\epsilon_z (\mu def)$
BBSG/GB	108,3	428,5
BBME/EME	90,9	

- Vérification pour la structure existante :

épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT ( $\mu def$ )	SigmaT (MPa)	EpsZ ( $\mu def$ )	SigmaZ (MPa)
0,053	2000,0	0,350	0,000	36,5	0,359	-90,9	0,660
				0,053	17,6	0,247	139,2
0,083	2000,0	0,350	0,053	17,6	0,247	139,2	0,550
				0,136	-291,2	-0,708	327,9
0,050	400,0	0,350	0,136	-291,2	-0,051	589,0	0,210
				0,186	-331,4	-0,105	514,6
0,100	234,0	0,350	0,186	-331,4	-0,030	674,3	0,145
				0,286	-346,8	-0,061	525,6
6,000	117,0	0,350	0,286	-346,8	-0,006	766,3	0,090
				6,286	0,0	0,001	5,7
infini	10000,0	0,250	6,286	0,0	0,000	0,1	0,001

Grandeurs affichées

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

Déflexion = 53,1 mm/100

**Figure VII.2 Modélisation des déformations de la structure existante sur la ZH01 –sens aller- par ALIZE.**

On remarque donc que les déformations obtenues pour la chaussée existant sont supérieures aux déformations admissibles. On laisse le module du sol support pour le dimensionnement du corps de chaussée ( $Pf_{2qs}=117$  Mpa).

- Dimensions de la structure :

La norme NF P98-086 donne des approximations d'épaisseurs à respecter lors de la modélisation tel que :

GB (0/20) :  $10cm < H < 16cm$ .

EME (0/20) :  $9cm < H < 15cm$ .

BBSG (0/14) :  $6cm < H < 9cm$ .

BBME (0/14) :  $6cm < H < 9cm$ .

Avec ces données, une modélisation itérative a été réalisée par ALIZE 1.5 (Figure VII.3 et Figure VII.5).

**Variante 01 :**

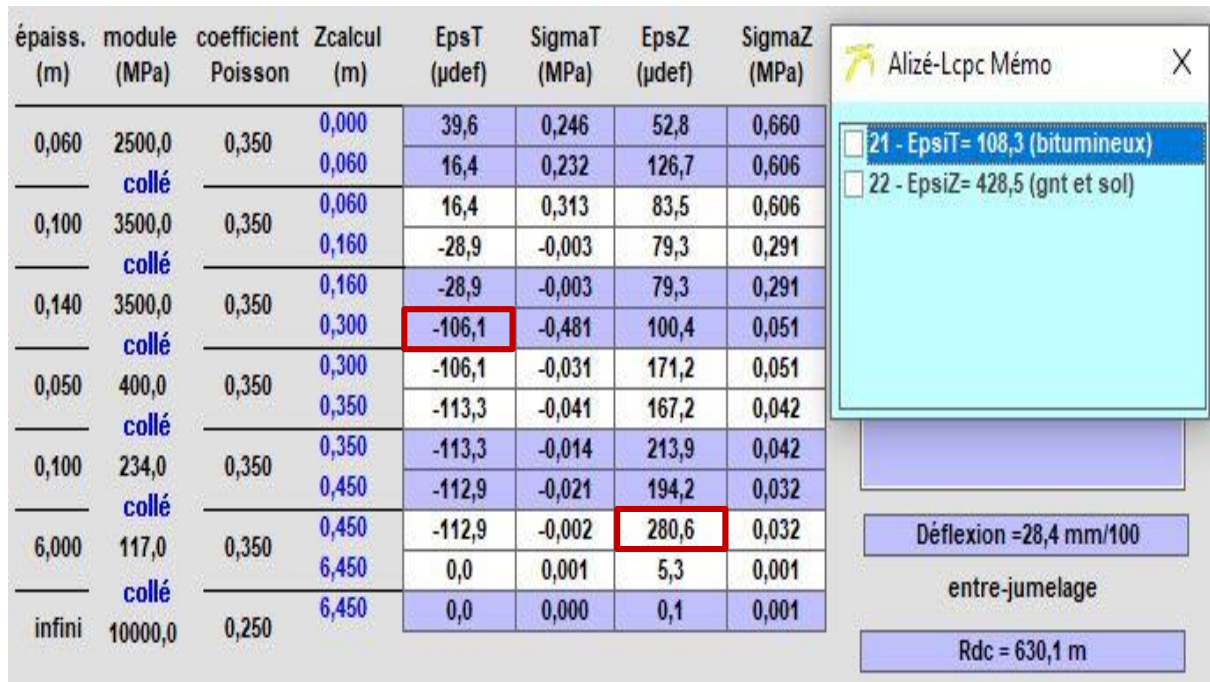


Figure VII.3 Modélisation du dimensionnement de la chaussée BBSG/GB de la ZH01 –sens aller- par ALIZE.

Nous avons, alors, l’obtention de la structure optimale (Figure VII.4) par :

- Décaissement du corps de chaussée sur une épaisseur de 45cm.
- Mise en œuvre d’une couche de fondation en Grave Non Traité GNT (GC 0/20) sur une épaisseur de 15cm.
- Mise en œuvre d’une couche d’imprégnation en émulsion a rupture lente.
- Mise en œuvre d’une couche de base en Grave Bitume sur une épaisseur de 24cm.
- Mise en œuvre d’une couche d’accrochage en émulsion a rupture rapide.
- Mise en œuvre d’une couche de roulement en Béton Bitumineux Semi Grenu sur une épaisseur de 6cm.

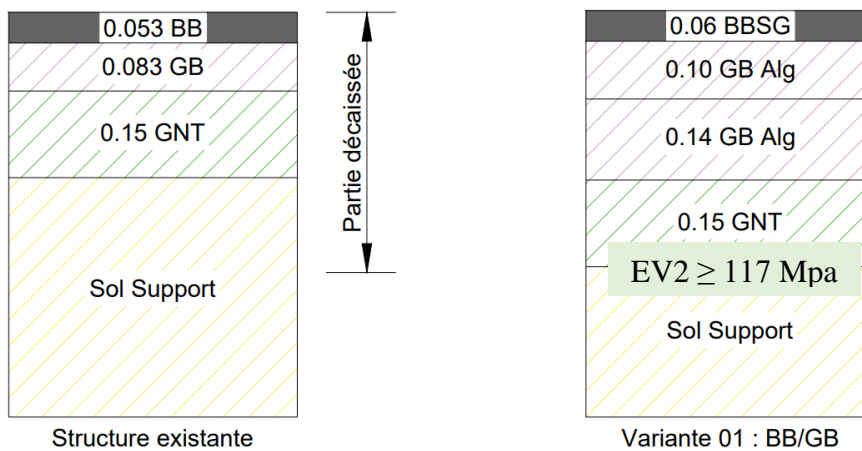


Figure VII.4 Dimensionnement de la chaussée BBSG/GB dans la zone homogène 01 – sens aller-.

**Variante 02 :**

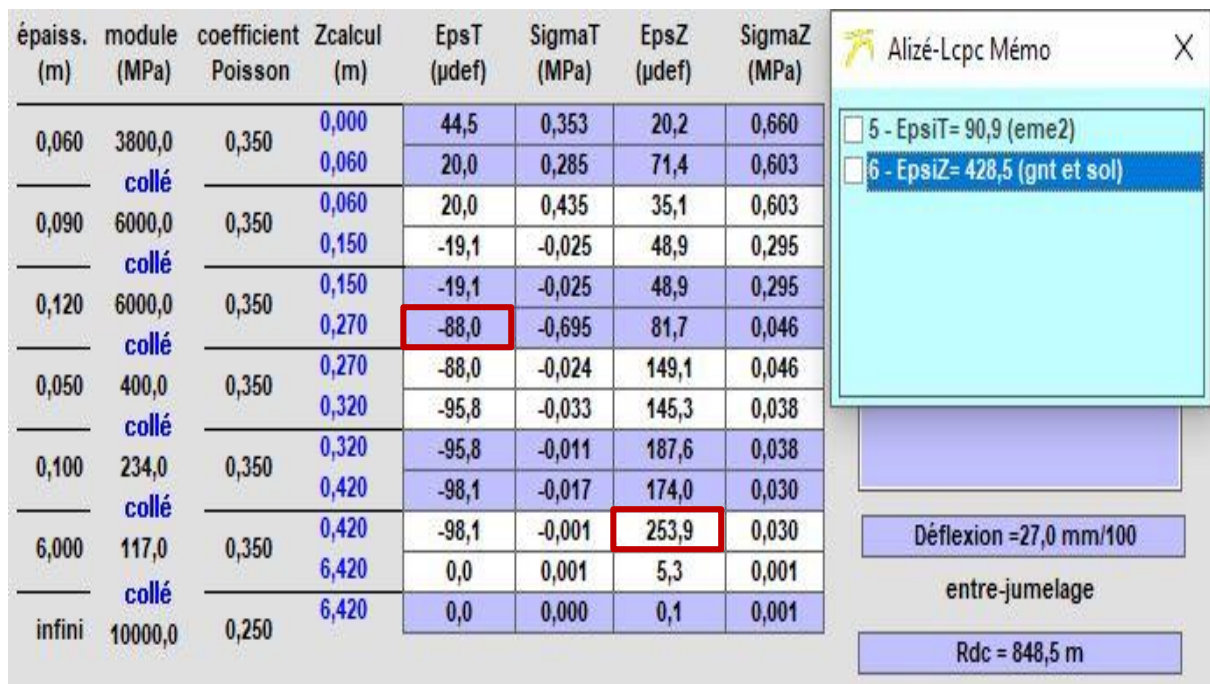


Figure VII.5 Modélisation du dimensionnement de la chaussée BBME/EME de la ZH01 –sens aller- par ALIZE.

Nous avons, alors, l’obtention de la structure optimale (Figure VII.6) par :

- Décaissement du corps de chaussée sur une épaisseur de 42cm.
- Mise en œuvre d’une couche de fondation en Grave Non Traité GNT (GC 0/20) sur une épaisseur de 15cm.
- Mise en œuvre d’une couche d’imprégnation en émulsion a rupture lente.
- Mise en œuvre d’une couche de base en Enduit à Module Elevé EME sur une épaisseur de 21cm.
- Mise en œuvre d’une couche d’accrochage en émulsion a rupture rapide.
- Mise en œuvre d’une couche de roulement en Béton Bitumineux à Module Elevé BBME sur une épaisseur de 6cm.

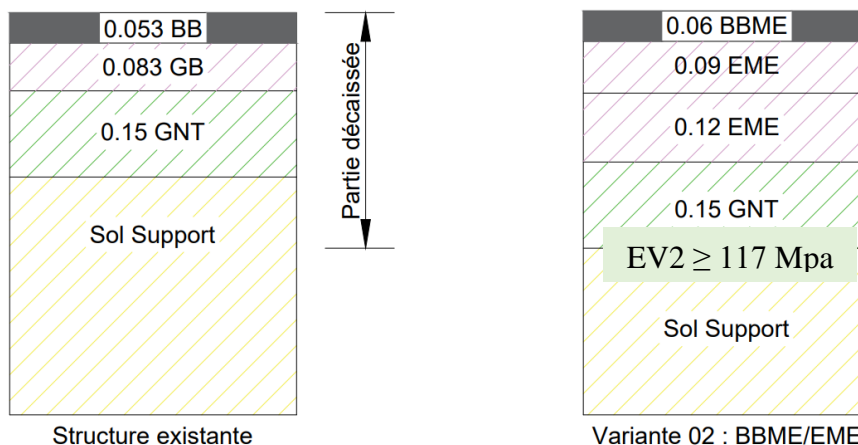


Figure VII.6 Dimensionnement de la chaussée BBME/EME dans la zone homogène 01 – sens aller-.

Les sollicitations sont alors vérifiées (Tableau VII.11).

Tableau VII.11 Sollicitation de la chaussée renforcée dans la zone homogène 01 –sens aller-.

Chaussée	$\epsilon_t (\mu def)$	$\epsilon_{t-adm} (\mu def)$	$\epsilon_z (\mu def)$	$\epsilon_{z-adm} (\mu def)$
Chaussée existante	291,1	108,3	766,3	428,5
Chaussée renforcée BBSG/GB	106,1		280,6	
Chaussée renforcée BBME/EME	88,0		253,9	

**Zone Homogène 02** : du PR 4+400 au 7+500.

- Calcul des sollicitations admissibles :

Données de la zone :

Trafic cumulé en phase 3 (Chapitre VI) :  $TC_i = 1,01E+07$ .

Durée de vie :  $N=10$ ans.

Classe du trafic de la zone (Chapitre IV) : TPL6.

Risque adopté :  $r = 5\%$ .

Après modélisation par ALIZE 1.5, on a :

Tableau VII.12 Sollicitations admissibles zone homogène 02 –sens aller-.

Type de chaussée de remplacement	$\epsilon_t (\mu def)$	$\epsilon_z (\mu def)$
BBSG/GB	129,2	497,1
BBME/EME	110,2	

- Vérification pour la structure existante :

épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT ( $\mu def$ )	SigmaT (MPa)	EpsZ ( $\mu def$ )	SigmaZ (MPa)
0,058	2000,0	0,350	0,000	61,9	0,427	-99,2	0,660
			0,058	12,0	0,237	142,3	0,536
0,088	2000,0	0,350	0,058	12,0	0,237	142,3	0,536
			0,146	-304,3	-0,760	329,0	0,179
0,050	380,0	0,350	0,146	-304,3	-0,066	566,5	0,179
			0,196	-364,2	-0,123	516,2	0,123
0,100	190,0	0,350	0,196	-364,2	-0,029	717,5	0,123
			0,296	-373,0	-0,054	578,1	0,080
6,000	95,0	0,350	0,296	-373,0	-0,005	840,7	0,080
			6,296	0,0	0,001	6,9	0,001
infini	10000,0	0,250	6,296	0,0	0,000	0,1	0,001

Grandeurs affichées

tableau 1     tableau 2

tableau 3     tableau 4

tableau 5     tableau 6

tableau 7     tableau 8

Déflexion =60,6 mm/100

Figure VII.7 Modélisation des déformations de la structure existante sur la ZH02 –sens aller- par ALIZE.

On remarque donc que les déformations obtenues pour la chaussée existante sont supérieures aux déformations admissibles. On laisse le module du sol support pour le dimensionnement du corps de chaussée ( $Pf_{2qs}=95$  Mpa).

- Dimensions de la structure :

Nous pouvons là aussi réaliser une modélisation itérative par ALIZE 1.5 (Figure VII.8 et Figure VII.10).

**Variante 01 :**

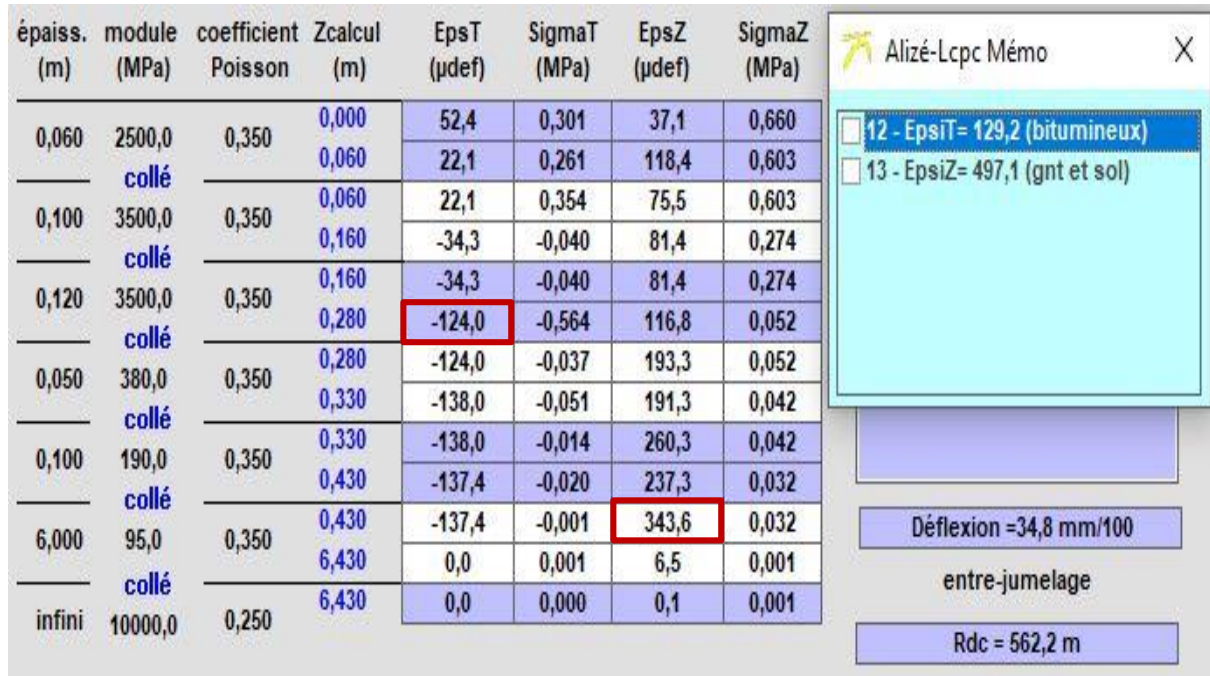


Figure VII.8 Modélisation du dimensionnement de la chaussée BBSG/GB de la ZH02 –sens aller- par ALIZE.

Nous avons, alors, l’obtention de la structure optimale (Figure VII.9) par :

- Décaissement du corps de chaussée sur une épaisseur de 43cm.
- Mise en œuvre d’une couche de fondation en Grave Non Traité GNT (GC 0/20) sur une épaisseur de 15cm.
- Mise en œuvre d’une couche d’impregnation en émulsion a rupture lente.
- Mise en œuvre d’une couche de base en Grave Bitume sur une épaisseur de 22cm.
- Mise en œuvre d’une couche d’accrochage en émulsion a rupture rapide.
- Mise en œuvre d’une couche de roulement en Béton Bitumineux Semi Grenu sur une épaisseur de 6cm.

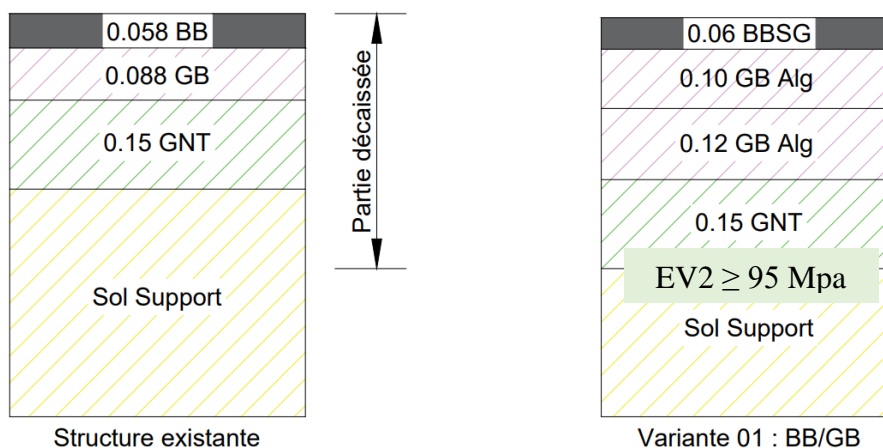


Figure VII.9 Dimensionnement de la chaussée BBSG/GB dans la zone homogène 02 – sens aller-.

**Variante 02 :**

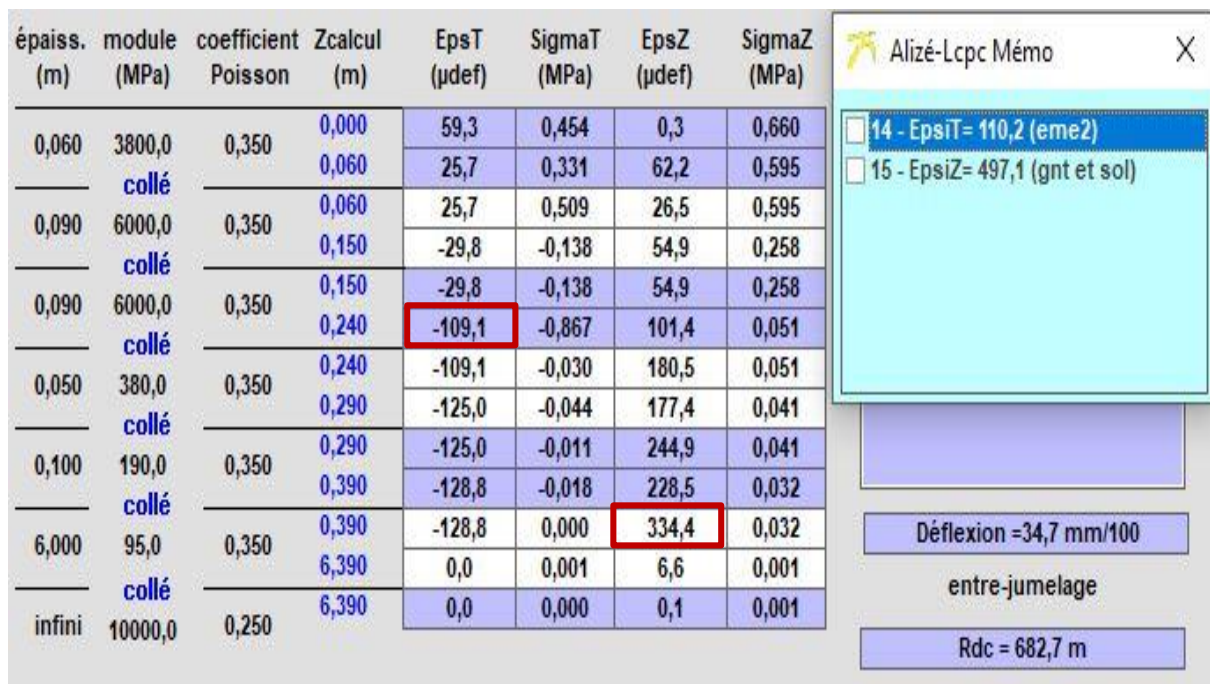


Figure VII.10 Modélisation du dimensionnement de la chaussée BBME/EME de la ZH02 –sens aller- par ALIZE.

Nous avons, alors, l’obtention de la structure optimale (Figure VII.9) par :

- Décaissement du corps de chaussée sur une épaisseur de 39cm.
- Mise en œuvre d’une couche de fondation en Grave Non Traité GNT (GC 0/20) sur une épaisseur de 15cm.
- Mise en œuvre d’une couche d’imprégnation en émulsion a rupture lente.
- Mise en œuvre d’une couche de base en Enduit à Module Elevé EME sur une épaisseur de 18cm.
- Mise en œuvre d’une couche d’accrochage en émulsion a rupture rapide.
- Mise en œuvre d’une couche de roulement en Béton Bitumineux à Module Elevé BBME sur une épaisseur de 6cm.

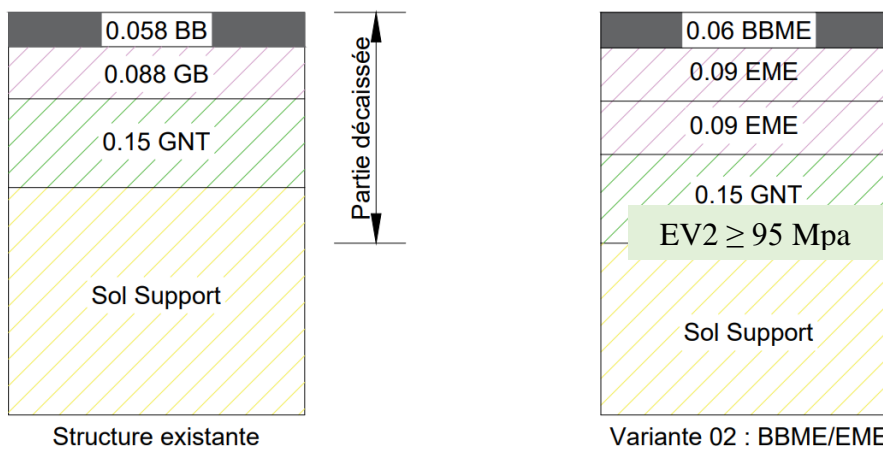


Figure VII.11 Dimensionnement de la chaussée BBME/EME dans la zone homogène 02 – sens aller-.

Les sollicitations sont alors vérifiées (Tableau VII.13).

Tableau VII.13 Sollicitation de la chaussée renforcée dans la zone homogène 02 –sens aller-.

Chaussée	$\epsilon_t (\mu def)$	$\epsilon_{t-adm}(\mu def)$	$\epsilon_z (\mu def)$	$\epsilon_{z-adm}(\mu def)$
Chaussée existante	304,3	129,2	840,7	497,1
Chaussée renforcée BBSG/GB	124,0		343,6	
Chaussée renforcée BBME/EME	109,1		334,4	

**Sens retour** : Allant du carrefour des puits historiques au carrefour 24 Février.

Le dimensionnement se fera indépendamment pour chaque zone homogène.

**Zone Homogène 01** : du PR 0+000 au 3+100.

- Calcul des sollicitations admissibles :

Données de la zone :

Trafic cumulé en phase 3 (Chapitre VI) :  $TC_i = 1E+07$ .

Durée de vie :  $N=10$ ans.

Classe du trafic de la zone (Chapitre IV) : TPL6.

Risque adopté :  $r = 5\%$ .

Après modélisation par ALIZE 1.5, on a :

Tableau VII.14 Sollicitations admissibles zone homogène 01 –sens retour-.

Type de chaussée de renforcement	$\epsilon_t (\mu def)$	$\epsilon_z (\mu def)$
BBSG/GB	129,4	498,2
BBME/EME	110,4	

- Vérification pour la structure existante :

épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT ( $\mu def$ )	SigmaT (MPa)	EpsZ ( $\mu def$ )	SigmaZ (MPa)
0,058	2000,0	0,350	0,000	104,5	0,571	-148,9	0,660
			0,058	22,6	0,280	126,1	0,529
0,093	2000,0	0,350	0,058	22,6	0,280	126,1	0,529
			0,151	-373,8	-0,974	379,9	0,142
0,050	256,0	0,350	0,151	-373,8	-0,058	682,2	0,142
			0,201	-449,5	-0,101	631,8	0,101
0,100	128,0	0,350	0,201	-449,5	-0,024	877,3	0,101
			0,301	-463,0	-0,045	741,7	0,069
6,000	64,0	0,350	0,301	-463,0	-0,004	1079,3	0,069
			6,301	0,0	0,001	10,2	0,001
infini	10000,0	0,250	6,301	0,0	0,000	0,1	0,001

Grandeurs affichées

tableau 1     tableau 2

tableau 3     tableau 4

tableau 5     tableau 6

tableau 7     tableau 8

Déflexion =82,5 mm/100

Figure VII.12 Modélisation des déformations de la structure existante sur la ZH01 –sens retour- par ALIZE.

On remarque donc que les déformations obtenues pour la chaussée existant sont supérieures aux déformations admissibles.

On note aussi que le module du sol support est un assez faible (Classe S2 ; Pf2=64Mpa) en comparaison au trafic important du poids lourd. On aura alors recours, pour améliorer la portance du sol support, au compactage du fond décaissé pour réaliser la vérification de la plateforme à  $EV2 \geq 80$  MPa.

On devra, alors calculer le module de couches supérieures au sol support (couches de GNT).  
Tel que :

$$E_{couche\ n} = 2,5 * E_{couche\ n-1}$$

Borné à :  $E_{MNT} = 350\text{MPa}$  car il se trouve sous une structure bitumineuse. (CTTP, 2001)

- Dimensions de la structure :

Nous réalisons alors la modélisation itérative par ALIZE 1.5. (Figure VII.13 et Figure VII.15).

**Variante 01 :**

épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,060	2500,0 collé	0,350	0,000	57,3	0,320	31,9	0,660
			0,060	24,8	0,273	115,2	0,602
0,100	3500,0 collé	0,350	0,060	24,8	0,371	72,3	0,602
			0,160	-34,5	-0,042	81,3	0,273
0,120	3500,0 collé	0,350	0,160	-34,5	-0,042	81,3	0,273
			0,280	-128,7	-0,589	120,9	0,050
0,050	350,0 collé	0,350	0,280	-128,7	-0,036	200,6	0,050
			0,330	-141,0	-0,048	196,4	0,039
0,100	200,0 collé	0,350	0,330	-141,0	-0,018	249,0	0,039
			0,430	-150,6	-0,028	237,1	0,030
6,000	80,0 collé	0,350	0,430	-150,6	-0,001	376,7	0,030
			6,430	0,0	0,001	7,7	0,001
infini	10000,0	0,250	6,430	0,0	0,000	0,1	0,001

Alizé-Lcpc Mémo

- 1 - EpsiT= 129,4 (bitumineux)
- 2 - EpsiZ= 498,2 (gnt et sol)

Déflexion = 38,8 mm/100  
entre-jumelage

Rdc = 550,4 m

Figure VII.13 Modélisation du dimensionnement de la chaussée BBSG/GB de la ZH01 –sens retour- par ALIZE.

Nous avons, alors, l’obtention de la structure optimale (Figure VII.14) par :

- Décaissement du corps de chaussée sur une épaisseur de 43cm.
- Réalisation des purges.
- Compactage de la plateforme.
- Vérification de la plateforme pour l’exigence  $EV2 > 80\text{MPa}$ .
- Mise en œuvre d’une couche de fondation en Grave Non Traité GNT (GC 0/20) sur une épaisseur de 15cm.
- Mise en œuvre d’une couche d’imprégnation en émulsion a rupture lente.
- Mise en œuvre d’une couche de base en Grave Bitume sur une épaisseur de 22cm.
- Mise en œuvre d’une couche d’accrochage en émulsion a rupture rapide.

- Mise en œuvre d'une couche de roulement en Béton Bitumineux Semi Grenu sur une épaisseur de 6cm.

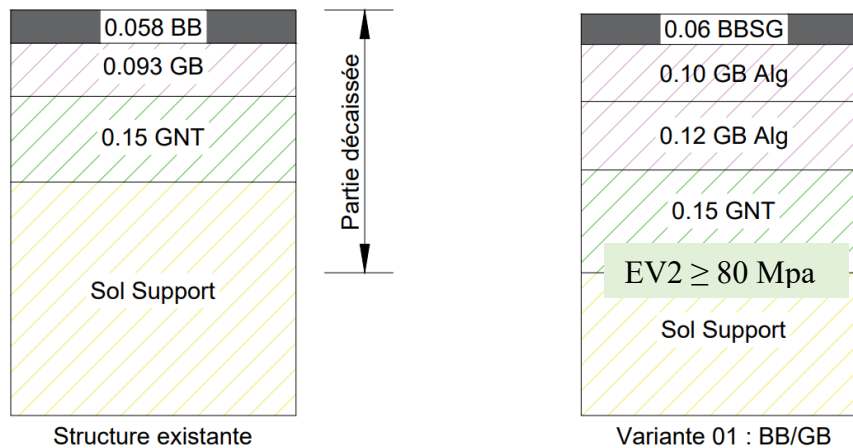


Figure VII.14 Dimensionnement de la chaussée BBSG/GB dans la zone homogène 01 – sens retour-.

**Variante 02 :**

épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,060	3800,0	0,350	0,000	59,9	0,453	1,3	0,660
	collé		0,060	26,8	0,335	61,9	0,597
0,090	6000,0	0,350	0,060	26,8	0,515	26,0	0,597
	collé		0,150	-25,9	-0,099	52,5	0,269
0,100	6000,0	0,350	0,150	-25,9	-0,099	52,5	0,269
	collé		0,250	-107,1	-0,854	99,3	0,045
0,050	350,0	0,350	0,250	-107,1	-0,028	175,4	0,045
	collé		0,300	-120,2	-0,040	172,0	0,036
0,100	200,0	0,350	0,300	-120,2	-0,014	220,2	0,036
	collé		0,400	-132,4	-0,023	214,3	0,028
6,000	80,0	0,350	0,400	-132,4	0,000	345,1	0,028
	collé		6,400	0,0	0,001	7,7	0,001
infini	10000,0	0,250	6,400	0,0	0,000	0,1	0,001

Alizé-Lcpc Mémo

- 3 - EpsiT= 110,4 (eme2)
- 4 - EpsZ= 498,2 (gnt et sol)

Déflexion = 37,3 mm/100

entre-jumelage

Rdc = 710,9 m

Figure VII.15 Modélisation du dimensionnement de la chaussée BBME/EME de la ZH01 –sens retour- par ALIZE.

Nous avons, alors, l'obtention de la structure optimale (Figure VII.16) par :

- Décaissement du corps de chaussée sur une épaisseur de 40cm.
- Réalisation des purges.
- Compactage de la plateforme.
- Vérification de la plateforme pour l'exigence EV2>80MPa.
- Mise en œuvre d'une couche de fondation en Grave Non Traité GNT (GC 0/20) sur une épaisseur de 15cm.
- Mise en œuvre d'une couche d'imprégnation en émulsion a rupture lente.
- Mise en œuvre d'une couche de base en Enduit à Module Elevé EME sur une épaisseur de 19cm.

- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion à rupture rapide.
- Mise en œuvre d'une couche de roulement en Béton Bitumineux à Module Elevé BBME sur une épaisseur de 6cm.

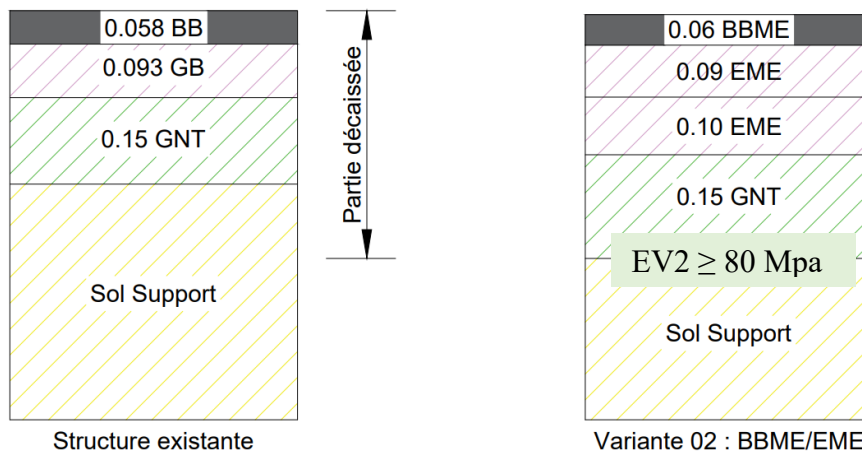


Figure VII.16 Dimensionnement de la chaussée BBME/EME dans la zone homogène 01 – sens retour-.

Les sollicitations sont alors vérifiées (Tableau VII.15).

Tableau VII.15 Sollicitation de la chaussée renforcée dans la zone homogène 01 –sens retour-.

Chaussée	$\varepsilon_t (\mu def)$	$\varepsilon_{t-adm} (\mu def)$	$\varepsilon_z (\mu def)$	$\varepsilon_{z-adm} (\mu def)$
Chaussée existante	373,8	129,4	1079,3	498,2
Chaussée renforcée BBSG/GB	128,7		376,7	
Chaussée renforcée BBME/EME	107,1		345,1	

**Zone Homogène 02** : du PR 3+100 au 7+500.

- Calcul des sollicitations admissibles :

Données de la zone :

Trafic cumulé en phase 3 (Chapitre VI) :  $TC_i = 1,41E+07$ .

Durée de vie :  $N=10$ ans.

Classe du trafic de la zone (Chapitre IV) : TPL7.

Risque adopté :  $r = 2\%$ .

Après modélisation par ALIZE 1.5, on a :

Tableau VII.16 Sollicitations admissibles zone homogène 02 –sens retour-.

Type de chaussée de renforcement	$\varepsilon_t (\mu def)$	$\varepsilon_z (\mu def)$
BBSG/GB	113,1	459,6
BBME/EME	96,5	

- Vérification pour la structure existante :

épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,056	2000,0	0,350	0,000	55,9	0,406	-92,3	0,660
	collé		0,056	15,6	0,249	140,2	0,545
0,089	2000,0	0,350	0,056	15,6	0,249	140,2	0,545
	collé		0,145	204,8	-0,730	322,6	0,185
0,050	400,0	0,350	0,145	204,8	-0,066	553,1	0,185
	collé		0,195	-351,6	-0,124	501,8	0,127
0,100	202,0	0,350	0,195	-351,6	-0,030	695,3	0,127
	collé		0,295	-360,5	-0,055	555,8	0,082
6,000	101,0	0,350	0,295	-360,5	-0,006	888,4	0,082
	collé		6,295	0,0	0,001	8,5	0,001
infini	10000,0	0,250	6,295	0,0	0,000	0,1	0,001

Grandeurs affichées

tableau 1     tableau 2

tableau 3     tableau 4

tableau 5     tableau 6

tableau 7     tableau 8

Déflexion = 57,8 mm/100

Figure VII.17 Modélisation des déformations de la structure existante sur la ZH02 –sens retour- par ALIZE.

On remarque donc que les déformations obtenues pour la chaussée existant sont supérieures aux déformations admissibles. On laisse le module du sol support pour le dimensionnement du corps de chaussée (Pf2qs=101 Mpa).

- Dimensions de la structure :

Après modélisation itérative par ALIZE 1.5 (Figure VII.18 et Figure VII.20).

**Variante 01 :**

épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,060	2500,0	0,350	0,000	44,0	0,263	48,1	0,660
	collé		0,060	18,8	0,242	123,8	0,606
0,100	3500,0	0,350	0,060	18,8	0,328	80,6	0,606
	collé		0,160	-28,9	-0,004	79,0	0,289
0,140	3500,0	0,350	0,160	-28,9	-0,004	79,0	0,289
	collé		0,300	-110,7	-0,507	104,2	0,048
0,050	400,0	0,350	0,300	-110,7	-0,036	170,4	0,048
	collé		0,350	-122,0	-0,047	170,5	0,039
0,100	202,0	0,350	0,350	-122,0	-0,014	230,4	0,039
	collé		0,450	-120,9	-0,019	209,2	0,030
6,000	101,0	0,350	0,450	-120,9	-0,001	302,5	0,030
	collé		6,450	0,0	0,001	6,1	0,001
infini	10000,0	0,250	6,450	0,0	0,000	0,1	0,001

Alizé-Lcpc Mémo

5 - EpsiT= 113,1 (bitumineux)

6 - EpsZ= 459,6 (gnt et sol)

Déflexion = 31,4 mm/100

entre-jumelage

Rdc = 616,4 m

Figure VII.18 Modélisation du dimensionnement de la chaussée BBSG/GB de la ZH02 –sens retour- par ALIZE.

Nous avons, alors, l’obtention de la structure optimale (Figure VII.19) par :

- Décaissement du corps de chaussée sur une épaisseur de 45cm.
- Mise en œuvre d’une couche de fondation en Grave Non Traité GNT (GC 0/20) sur une épaisseur de 15cm.
- Mise en œuvre d’une couche d’impregnation en émulsion a rupture lente.
- Mise en œuvre d’une couche de base en Grave Bitume sur une épaisseur de 24cm.

- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion a rupture rapide.
- Mise en œuvre d'une couche de roulement en Béton Bitumineux Semi Grenu sur une épaisseur de 6cm.

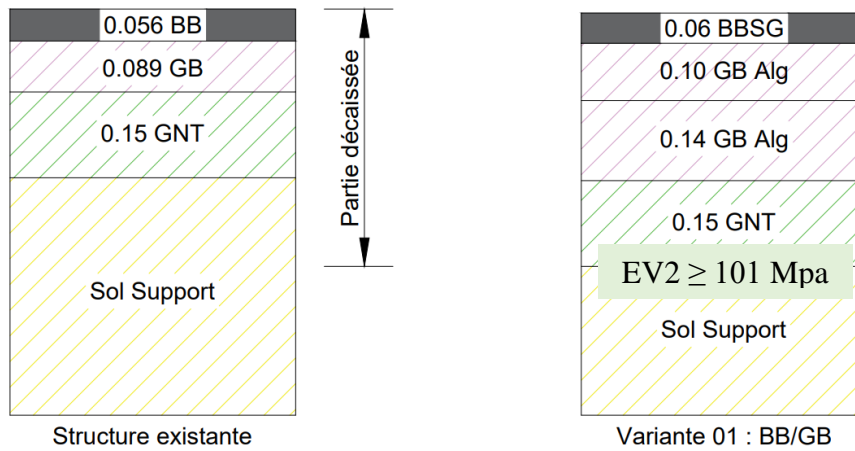


Figure VII.19 Dimensionnement de la chaussée BBSG/GB dans la zone homogène 02 – sens retour-.

**Variante 02 :**

épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (μdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (μdef)	SigmaZ (MPa)
0,060	3800,0	0,350	0,000	51,0	0,395	12,2	0,660
	collé		0,060	22,8	0,306	67,3	0,600
0,090	6000,0	0,350	0,060	22,8	0,469	31,2	0,600
	collé		0,150	-21,9	-0,056	50,3	0,283
0,110	6000,0	0,350	0,150	-21,9	-0,056	50,3	0,283
	collé		0,260	-96,2	-0,763	89,3	0,046
0,050	400,0	0,350	0,260	-96,2	-0,029	156,5	0,046
	collé		0,310	-108,7	-0,041	155,3	0,038
0,100	202,0	0,350	0,310	-108,7	-0,011	212,7	0,038
	collé		0,410	-111,0	-0,017	197,5	0,030
6,000	101,0	0,350	0,410	-111,0	0,000	288,6	0,030
	collé		6,410	0,0	0,001	6,1	0,001
infini	10000,0	0,250	6,410	0,0	0,000	0,1	0,001

Alizé-Lcpc Mémo

7 - EpsiT= 96,5 (eme2)

8 - Epsiz= 459,6 (gnt et sol)

Déflexion =30,9 mm/100

entre-jumelage

Rdc = 783,1 m

Figure VII.20 Modélisation du dimensionnement de la chaussée BBME/EME de la ZH02 –sens retour- par ALIZE.

Nous avons, alors, l'obtention de la structure optimale (Figure VII.21) par :

- Décaissement du corps de chaussée sur une épaisseur de 41cm.
- Mise en œuvre d'une couche de fondation en Grave Non Traité GNT (GC 0/20) sur une épaisseur de 15cm.
- Mise en œuvre d'une couche d'imprégnation en émulsion a rupture lente.
- Mise en œuvre d'une couche de base en Enduit à Module Elevé EME sur une épaisseur de 20cm.
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion a rupture rapide.

- Mise en œuvre d'une couche de roulement en Béton Bitumineux à Module Elevé BBME sur une épaisseur de 6cm.

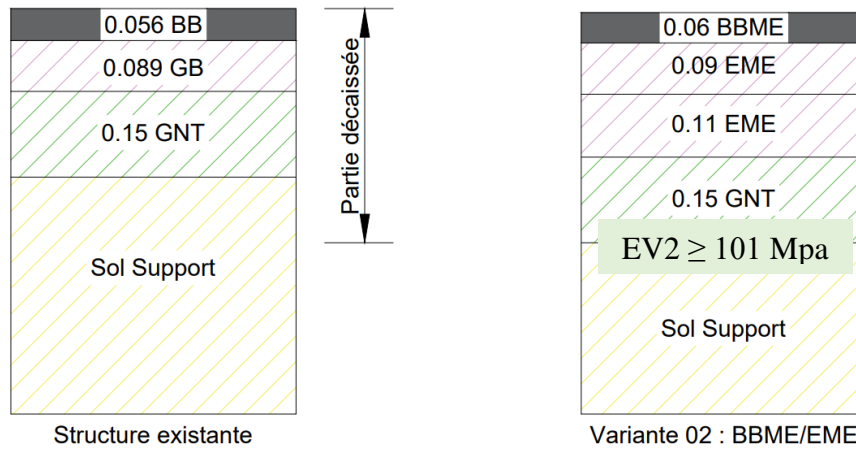


Figure VII.21 Dimensionnement de la chaussée BBME/EME dans la zone homogène 02 – sens retour-.

Les sollicitations sont alors respecté (Tableau VII.15).

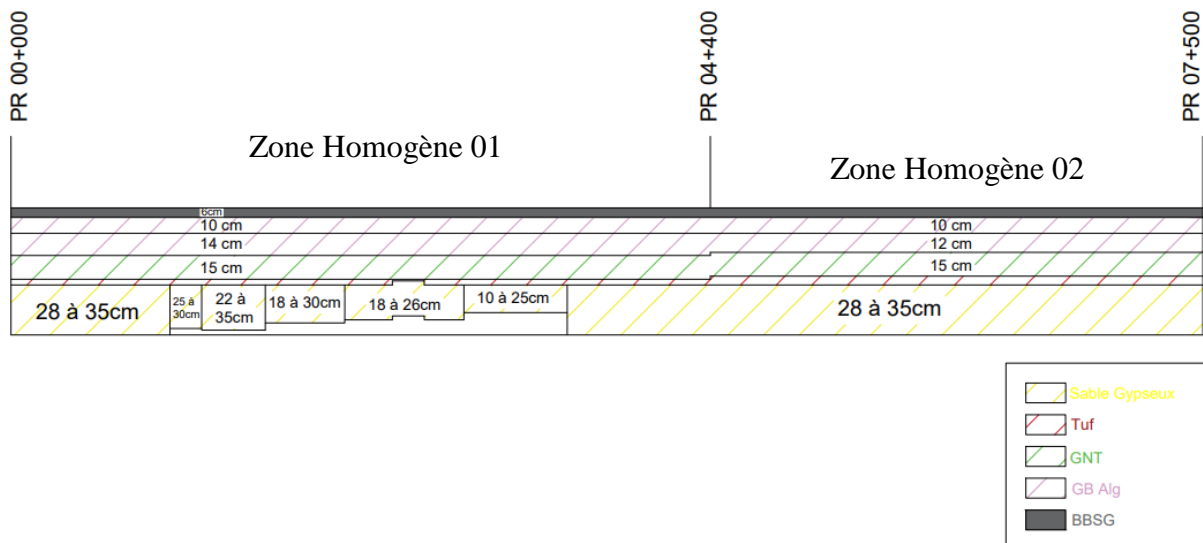
Tableau VII.17 Sollicitation de la chaussée renforcée dans la zone homogène 02 –sens retour-.

Chaussée	$\varepsilon_t (\mu def)$	$\varepsilon_{t-adm}(\mu def)$	$\varepsilon_z (\mu def)$	$\varepsilon_{z-adm}(\mu def)$
Chaussée existante	294,8	113,1	808,4	459,6
Chaussée renforcée BBSG/GM	110,7		302,5	
Chaussée renforcée BBME/EME	96,2		288,6	

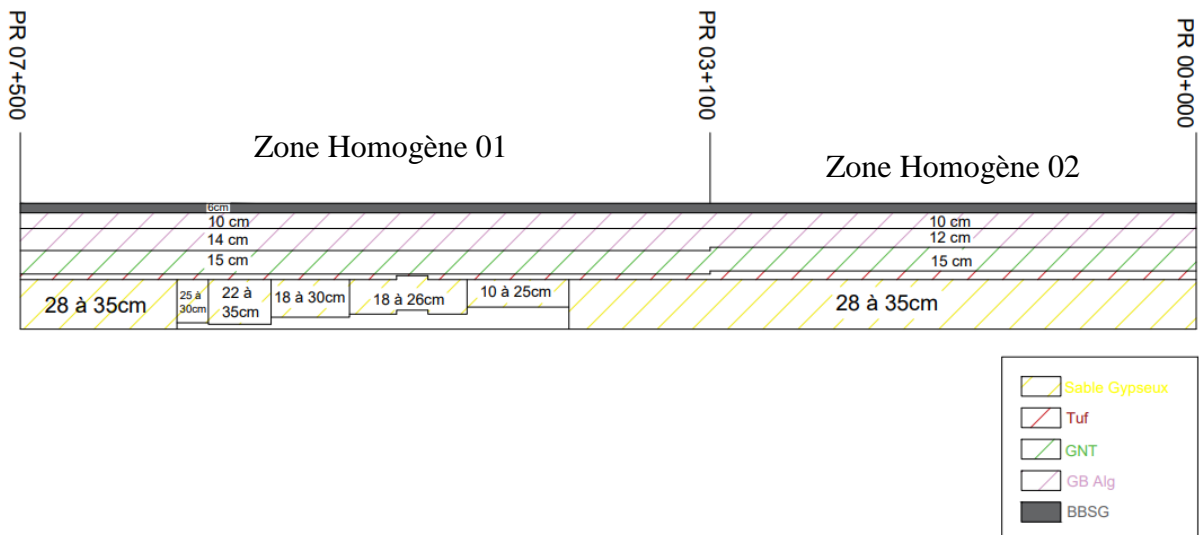
### VII.6 Conclusion.

Les chaussées de l'infrastructure objet de cette étude ont donc pu être redimensionnées en utilisant deux structures de chaussées BB/GB et BBME/EME, de manière à supporter les charges prévues pour la durée de vie de 10ans.

**Variante 01 :** (Figure VII.22 Figure VII.23)



**Figure VII.22 Dimensionnement de la chaussée BBSG/GB –sens aller-.**



**Figure VII.23 Dimensionnement de la chaussée BBSG/GB –sens retour-.**

**Variante 02 :** (Figure VII.24 Figure VII.25)

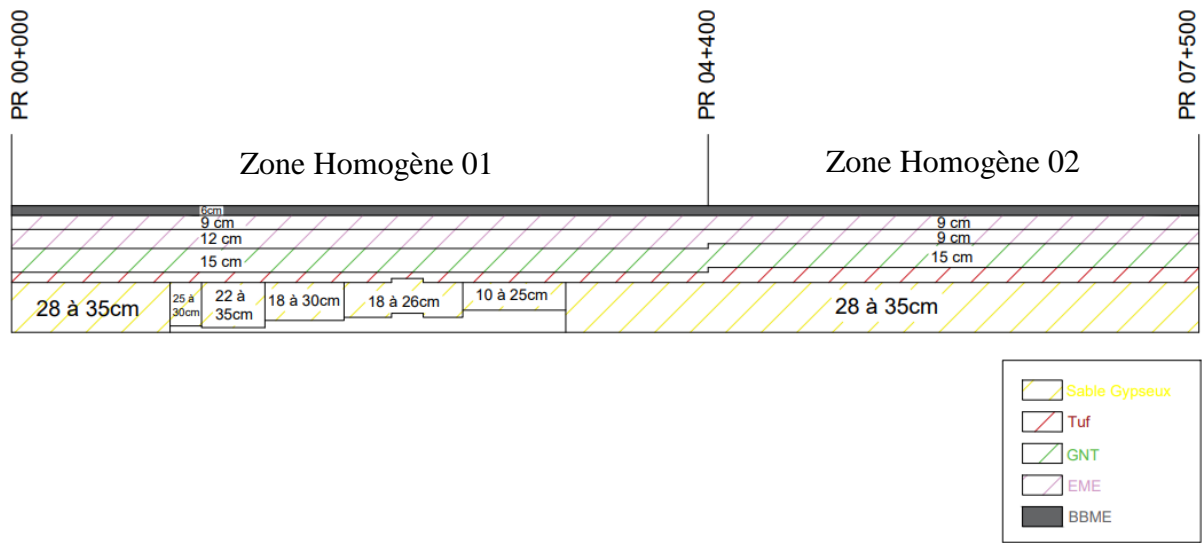


Figure VII.24 Dimensionnement de la chaussée BBME/EME–sens aller-.

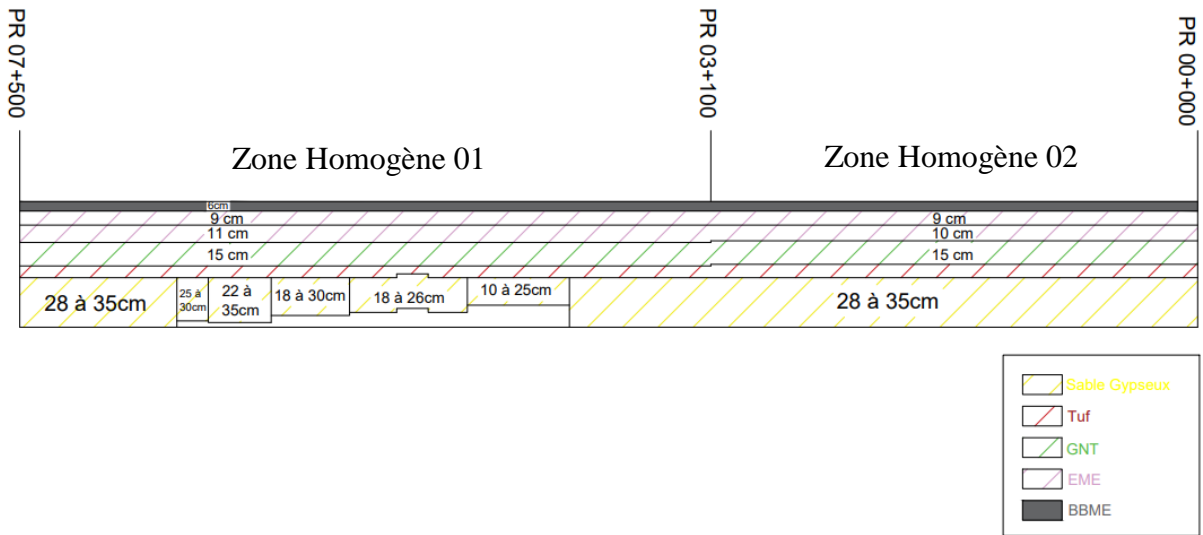


Figure VII.25 Dimensionnement de la chaussée BBME/EME–sens retour-.

## **CHAPITRE VIII : TRAVAUX A REALISER.**

### **VIII.1 INTRODUCTION.**

Pour assurer la survie et longévité de l'infrastructure, il est tout aussi important d'avoir une bonne planification des travaux à réaliser. Cela permettra d'éviter les problèmes additionnels n'ayant pas été prévus lors du dimensionnement et éviter, ce faisant, les futures dégradations dues aux erreurs de réalisation.

Additionnement à ces travaux préparatoires, il faut aussi planifier des travaux d'assainissement pour minimiser l'interférence de l'eau avec la chaussée, et la mise en place de signalisation verticale et horizontale pour assurer la sécurité.

### **VIII.2 TRAVAUX PREPARATOIRES.**

#### **VIII.2.1 Types de travaux à réaliser.**

##### **Décaissement :**

C'est l'action de préparer un terrain ou un sol avec un décapage préalable avant des travaux. Concrètement, décaisser un sol revient à enlever la couche de terre supérieure d'un terrain -plus ou moins conséquente- dans le but de le mettre à niveau et de le rendre plus stable. Il permet donc d'obtenir, une fois l'opération terminée, une surface bien plane et nette.

Dans notre cas, la campagne de décaissement permettra d'enlever les couches de matériaux à faible module et d'assurer la planéité du terrain en surface.

##### **Réalisation des purges :**

La purge désigne un volume (ou un espace) strictement localisé au sein d'un ouvrage ou du terrain naturel, dont le matériau initial a été enlevé et remplacé par un matériau de meilleure qualité. D'une manière générale, elle est souvent exécutée pour améliorer des zones de faible portance (mauvais module de déformabilité) correspondant à une zone d'anomalie au sein d'un ouvrage subissant un trafic (par exemple : zone affaissée).

Selon les cas, la purge est comblée par des matériaux d'extraction des déblais dans des états hydriques moyen, avec ou sans traitement, ou par des matériaux élaborés (issus de carrière, drainants,...).

##### **Travaux de compactage :**

Le compactage est une opération qui consiste à réduire les vides contenus dans un matériau foisonné afin d'augmenter sa cohésion et par conséquent d'assurer la stabilité de l'ouvrage dans le temps. Dans le présent cas, il servira donc à augmenter le module du sol support.

Il est réalisé soit au moyen de compacteurs statiques qui agissent uniquement par leur poids, soit à l'aide de compacteurs vibrants qui agissent par leur poids et par la vibration qu'ils génèrent, soit au moyen des deux types de compacteurs. En fonction de la nature des matériaux et de l'objectif de compacité recherché, on détermine le type de compacteur (avec sa vitesse et le nombre de passes) et l'épaisseur de la couche à compacter.

### **Travaux de chaussée :**

Ces travaux consistent en la pose des couches de matériaux en leurs épaisseurs déterminées préalablement grâce au dimensionnement. Additionnellement, des couche d'imprégnation et d'accrochage seront placées entre les couches de la chaussée, telles que :

- Couche d'imprégnation en émulsion à rupture lente : placée entre la couche de matériaux non traitées (GNT) et les couche bitumineuse (GB, EME).

Elle a pour but de stabiliser les éléments superficiels et renforcer la cohésion de surface de la grave compactée, imperméabiliser la surface traitée, protéger la couche de chaussée contre le trafic de chantier et les intempéries jusqu'à son recouvrement par la couche de chaussée suivante et assurer une bonne préparation pour un bon accrochage de la couche de chaussée suivante.

L'émulsion de bitume utilisée est à rupture lente et à teneur en liant de l'ordre de 60% voire moins, conférant à l'émulsion une faible viscosité assurant ainsi sa bonne répartition sur la couche à traiter. La consistance du liant est adaptée à la qualité de surface sur laquelle l'émulsion est répandue.

- Couche d'accrochage en émulsion a rupture rapide : placée entre les couches bitumineuses (soit entre le GB et le BB, ou entre l'EME et le BBME).

Elle a pour rôle le collage des couches, leur permettant de travailler tel qu'un ensemble «monolithique» où chaque couche ne se déforme pas uniquement en fonction de ses caractéristiques (module, capacité de déformation, épaisseur, ...), mais également en fonction de celles des couches auxquelles elle est collée.

Plus l'enrobé est mince, plus l'interface est sollicitée en cisaillement et plus le recours à une émulsion de liant modifié est justifié. La modification peut intervenir soit par l'ajout d'un latex de polymère, soit par la mise en émulsion d'un bitume préalablement modifié par des polymères. Cette émulsion, à rupture très rapide, assure une meilleure adhérence au support des pneumatiques des camions ou des chenilles des finisseurs. Cette technique est appelée «émulsion propre» ou «couche d'accrochage circulaire».

#### **VII.2.2 Procédure des travaux.**

**Sens Aller** : Allant du Carrefour 24 Février au carrefour des puits historiques.

Ce sens est réparti en deux zones homogènes de caractéristiques et dimensionnements différents.

**Zone Homogène 01** : du PR 0+000 au 4+400.

#### **Variante 01 :**

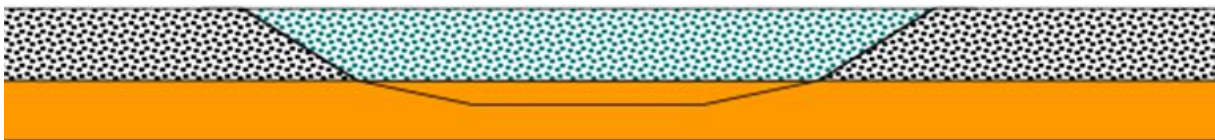
- Décaissement sur toute la largeur de la chaussée de toute la couche bitumineuse d'épaisseur moyenne de 13.6cm, de la couche de GNT d'épaisseur de 15cm et de 16.4cm du TUF existant qui est endommagée  $D_{sol} \geq 100\%$  (voir les résultats d'endommagement au chapitre VI).

- La découpe de la couche de GNT au début et fin de la zone est réalisée mécaniquement à la bêche pneumatique, scie à disque diamanté ou fraiseuse à froid. Le bord de la coupe doit être franc et vertical.

- Réalisation des purges dans les zones affaissées (au PR2+100 ; PR2+200) par :
- La découpe des matériaux non traités est réalisée à la bêche pneumatique.
- Excavation et évacuation des matériaux à partir de la couche bitumineuse jusqu'au tuf + sable gypseux (sol support) sur une profondeur de 50cm toute en prenant en compte la présence des différents réseaux et leurs profondeurs.



- Selon le type de réseau des solutions seront proposer (déplacer, remplacer...).
- Compactage du fond de la fouille.
- Remblaiement de la fouille avec Grave Non Traitée (GNT 0/20) par couche d'épaisseur ne dépasse pas les 25cm, et compactage de chaque couche.



- Vérification de la plateforme  $EV2 \geq 117\text{MPa}$ .
  - Mise en œuvre d'une couche de fondation en Grave Non Traitée (GNT 0/20) sur une épaisseur de 15cm.
  - Mise en œuvre d'une couche d'imprégnation en émulsion à rupture lente.
  - Mise en œuvre d'une couche de base en Grave Bitume sur une épaisseur de 24cm.
  - Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion a rupture rapide.
  - Mise en œuvre de la couche de roulement en BBSG sur une épaisseur de 06cm.

### **Variante 02 :**

- Décaissement sur toute la largeur de la chaussée de toute la couche bitumineuse d'épaisseur moyenne de 13.6cm, de la couche de GNT d'épaisseur de 15cm et de 13.4cm du TUF existant qui est endommagée  $D_{sol} \geq 100\%$  (voir les résultats d'endommagement au chapitre VI).
  - La découpe de la couche de GNT au début et fin de la zone est réalisée mécaniquement à la bêche pneumatique, scie à disque diamanté ou fraiseuse à froid. Le bord de la coupe doit être franc et vertical.
  - Réalisation des purges dans les zones affaissées (au PR2+100 ; PR2+200).
  - Vérification de la plateforme  $EV2 \geq 117\text{MPa}$ .
  - Mise en œuvre d'une couche de fondation en Grave Non Traitée GNT (GC 0/20) sur une épaisseur de 15cm.
  - Mise en œuvre d'une couche d'imprégnation en émulsion a rupture lente.
  - Mise en œuvre d'une couche de base en Enduit à Module Elevé EME sur une épaisseur de 21cm.
  - Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion a rupture rapide.
  - Mise en œuvre de la couche de roulement en BBME sur une épaisseur de 06cm.

**Zone Homogène 02 : du PR 4+400 au 7+500.**

**Variante 01 :**

- Décaissement sur toute la largeur de la chaussée de toute la couche bitumineuse d'épaisseur moyenne de 14.6cm, de la couche de GNT d'épaisseur de 15cm et de 13.4cm du TUF existant qui est endommagée  $D_{sol} \geq 100\%$  (voir les résultats d'endommagement au chapitre VI).

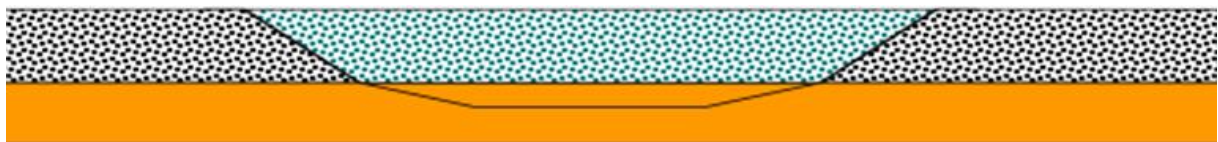
- La découpe de la couche de GNT au début et fin de la zone est réalisée mécaniquement à la bêche pneumatique, scie à disque diamanté ou fraiseuse à froid. Le bord de la coupe doit être franc et vertical.

- Réalisation des purges dans la zone affaissée (au PR5+000) par :

- La découpe des matériaux non traités est réalisée à la bêche pneumatique.
- Excavation et évacuation des matériaux à partir de la couche bitumineuse jusqu'au tuf + sable gypseux (sol support) sur une profondeur de 50cm toute en prenant en compte la présence des différents réseaux et leurs profondeurs.



- Selon le type de réseau des solutions seront proposées (déplacer, remplacer...).
- Compactage du fond de la fouille.
- Remblaiement de la fouille avec Grave Non Traitée (GNT 0/20) par couche d'épaisseur ne dépasse pas les 25cm, et compactage de chaque couche.



- Vérification de la plateforme  $EV2 \geq 95MPa$ .
  - Mise en œuvre d'une couche de fondation en Grave Non Traitée GNT (GC 0/20) sur une épaisseur de 15cm.
  - Mise en œuvre d'une couche d'imprégnation en émulsion à rupture lente.
  - Mise en œuvre d'une couche de base en Grave Bitume sur une épaisseur de 22cm.
  - Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion à rupture rapide.
  - Mise en œuvre de la couche de roulement en BBSG sur une épaisseur de 06cm.

**Variante 02 :**

- Décaissement sur toute la largeur de la chaussée de toute la couche bitumineuse d'épaisseur moyenne de 14.6cm, de la couche de GNT d'épaisseur de 15cm et de 9.4cm du TUF existant qui est endommagée  $D_{sol} \geq 100\%$  (voir les résultats d'endommagement au chapitre VI).

- La découpe de la couche de GNT au début et fin de la zone est réalisée mécaniquement à la bêche pneumatique, scie à disque diamanté ou fraiseuse à froid. Le bord de la coupe doit être franc et vertical.

- Réalisation des purges dans la zone affaissée (au PR5+000).
- Vérification de la plateforme  $EV2 \geq 95MPa$ .

- Mise en œuvre d'une couche de fondation en Grave Non Traité GNT (GC 0/20) sur une épaisseur de 15cm.
- Mise en œuvre d'une couche d'imprégnation en émulsion a rupture lente.
- Mise en œuvre d'une couche de base en Enduit à Module Elevé EME sur une épaisseur de 18cm.
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion a rupture rapide.
- Mise en œuvre de la couche de roulement en BBME sur une épaisseur de 06cm.

**Sens retour :** Allant du carrefour des puits historiques au carrefour 24 Février.

Ce sens est réparti par deux zones homogènes de caractéristiques et dimensionnements différents.

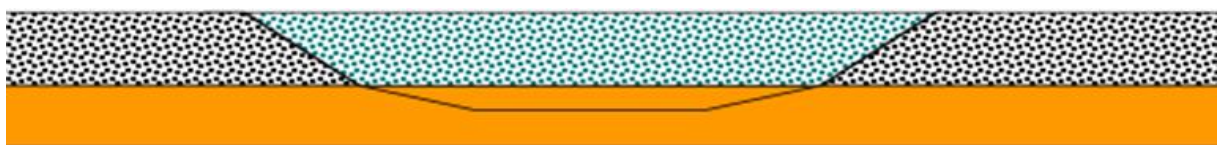
**Zone Homogène 01 :** du PR 0+000 au 3+100.

**Variante 01 :**

- Décaissement sur toute la largeur de la chaussée de toute la couche bitumineuse d'épaisseur moyenne de 15.1cm, de la couche de GNT d'épaisseur de 15cm et de 12.9cm du TUF existant qui est endommagée  $D_{sol} \geq 100\%$  (voir les résultats d'endommagement au chapitre VI).
- La découpe de la couche de GNT au début et fin de la zone est réalisée mécaniquement à la bêche pneumatique, scie à disque diamanté ou fraiseuse à froid. Le bord de la coupe doit être franc et vertical.
- Réalisation des purges dans les zones affaissées (au PR1+800 ; PR2+200) par :
  - La découpe des matériaux non traités est réalisée à la bêche pneumatique.
  - Excavation et évacuation des matériaux à partir de la couche bitumineuse jusqu'au tuf + sable gypseux (sol support) sur une profondeur de 50cm toute en prenant en compte la présence des différents réseaux et leurs profondeurs.



- Selon le type de réseau des solutions seront proposer (déplacer, remplacer...).
- Compactage du fond de la fouille.
- Remblaiement de la fouille avec Grave Non Traitée (GNT 0/20) par couche d'épaisseur ne dépasse pas les 25cm, et compactage de chaque couche.



- Compactage de la plateforme.
- Vérification de la plateforme  $EV2 \geq 80MPa$ .
- Mise en œuvre d'une couche de fondation en Grave Non Traité GNT (GC 0/20) sur une épaisseur de 15cm.
- Mise en œuvre d'une couche d'imprégnation en émulsion a rupture lente.

- Mise en œuvre d'une couche de base en Grave Bitume sur une épaisseur de 22cm.
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion a rupture rapide.
- Mise en œuvre de la couche de roulement en BBSG sur une épaisseur de 06cm.

**Variante 02 :**

- Décaissement sur toute la largeur de la chaussée de toute la couche bitumineuse d'épaisseur moyenne de 15.1cm, de la couche de GNT d'épaisseur de 15cm et de 9.9cm du TUF existant qui est endommagée  $D_{sol} \geq 100\%$  (voir les résultats d'endommagement au chapitre VI).

- La découpe de la couche de GNT au début et fin de la zone est réalisée mécaniquement à la bêche pneumatique, scie à disque diamanté ou fraiseuse à froid. Le bord de la coupe doit être franc et vertical.

- Réalisation des purges dans les zones affaissées (au PR1+800 ; PR2+200).
- Compactage de la plateforme.
- Vérification de la plateforme  $EV2 \geq 80MPa$ .
- Mise en œuvre d'une couche de fondation en Grave Non Traité GNT (GC 0/20) sur une épaisseur de 15cm s'ajoutant au sol support.
- Mise en œuvre d'une couche d'imprégnation en émulsion a rupture lente.
- Mise en œuvre d'une couche de base en Enduit à Module Elevé EME sur une épaisseur de 19cm.
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion a rupture rapide.
- Mise en œuvre de la couche de roulement en BBME sur une épaisseur de 06cm.

**Zone Homogène 02 :** du PR 3+100 au 7+500.

**Variante 01 :**

- Décaissement sur toute la largeur de la chaussée de toute la couche bitumineuse d'épaisseur moyenne de 14.5cm, de la couche de GNT d'épaisseur de 15cm et de 15.5cm du TUF existant qui est endommagée  $D_{sol} \geq 100\%$  (voir les résultats d'endommagement au chapitre VI).

- La découpe de la couche de GNT au début et fin de la zone est réalisée mécaniquement à la bêche pneumatique, scie à disque diamanté ou fraiseuse à froid. Le bord de la coupe doit être franc et vertical.

- Vérification de la plateforme  $EV2 \geq 101MPa$ .
- Mise en œuvre d'une couche de fondation en Grave Non Traité GNT (GC 0/20) sur une épaisseur de 15cm.
- Mise en œuvre d'une couche d'imprégnation en émulsion a rupture lente.
- Mise en œuvre d'une couche de base en Grave Bitume sur une épaisseur de 24cm.
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion a rupture rapide.
- Mise en œuvre de la couche de roulement en BBSG sur une épaisseur de 06cm.

**Variante 02 :**

- Décaissement sur toute la largeur de la chaussée de toute la couche bitumineuse d'épaisseur moyenne de 14.5cm, de la couche de GNT d'épaisseur de 15cm et de 11.5cm du TUF existant qui est endommagée  $D_{sol} \geq 100\%$  (voir les résultats d'endommagement au chapitre VI).

- La découpe de la couche de GNT au début et fin de la zone est réalisée mécaniquement à la bêche pneumatique, scie à disque diamanté ou fraiseuse à froid. Le bord de la coupe doit être franc et vertical.
- Vérification de la plateforme  $EV2 \geq 101 \text{MPa}$ .
- Mise en œuvre d'une couche de fondation en Grave Non Traité GNT (GC 0/20) sur une épaisseur de 15cm.
- Mise en œuvre d'une couche d'imprégnation en émulsion a rupture lente.
- Mise en œuvre d'une couche de base en Enduit à Module Elevé EME sur une épaisseur de 20cm.
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion a rupture rapide.
- Mise en œuvre de la couche de roulement en BBME sur une épaisseur de 06cm.

### VIII.3 TRAVAUX D'ASSAINISSEMENT URBAIN.

Le drainage de la chaussée est très important pour pouvoir limiter et diminuer la présence de l'eau libre à l'intérieur du corps de chaussée. L'eau étant le premier ennemie que rencontre la structure, elle entraine une perte de portance due à l'augmentation de la teneur en eau, des remontés de fines causant la contamination des couche inferieures et le décollement des couches de surface.

#### VIII.3.1 Etat du dispositif d'assainissement et du drainage du projet.

La visite de l'itinéraire de cette section de la RN3 a permis de détecter un manque total du dispositif d'assainissement sur toute la longueur de la route (tableau VIII.1).

Tableau VIII.1 Etat du dispositif d'assainissement et du drainage du projet.

Observation.	Localisation des déficits.
Absence des avaloirs.	

Manque de drainage longitudinal.



Négligence totale du nettoyage de la chaussée.



### VIII.3.2 Travaux préconisés.

Compte tenu des constatations citées précédemment, une amélioration du réseau d'assainissement et de drainage s'avère nécessaire. Afin d'assurer cela, nous prévoyons un assainissement globale pour notre structure. (RAHMANI, 2021)

#### Les regards.

Les eaux pluviales seront acheminées vers la conduite d'assainissement par une buse en béton de 40cm de diamètre (figure VIII.1) qui sera réalisée tout le long du projet en milieu de la route. Des tuyaux en plastique de 10cm de diamètre, seront rattachés aux avaloires pour pouvoir associer les eaux menées par la conduite en buse avec les eaux de ces tuyaux dans des regards de branchement (figure VIII.2) de dimensions (L = 60cm, l = 60cm, h = 80cm). Pour chaque trois regards de branchement on réalise un regard de visite en béton armé de dimensions (L=1m, l = 1m, h=1,2m –pour une pente de la route de 2,5%-) pour l'entretien, les curages et l'assurance de la ventilation des égouts.



Figure VIII.1 les buses en béton.



Figure VIII.2 Les regards de raccordement.

### Remise en place des cunettes et des avaloires

Pour assurer l'évacuation des eaux pluviales et éliminer la stagnation des eaux sur la couche de roulement, les cunettes sont les plus pratiques sur le bord de la chaussée. Elles cheminent les eaux vers les avaloires pour le réseau d'assainissement. (Figure VIII.3)



Figure VIII.3 Système d'évacuation des eaux superficielles (cunettes-avaloirs).

### La réalisation du système unitaire.

Les eaux ramenées par la conduite de 40cm vont être joint au réseau urbain des eaux usées. Ce système unitaire consiste à évacuer l'ensemble des eaux usées et pluviales dans un seul réseau et même canalisation (figure VIII.4).

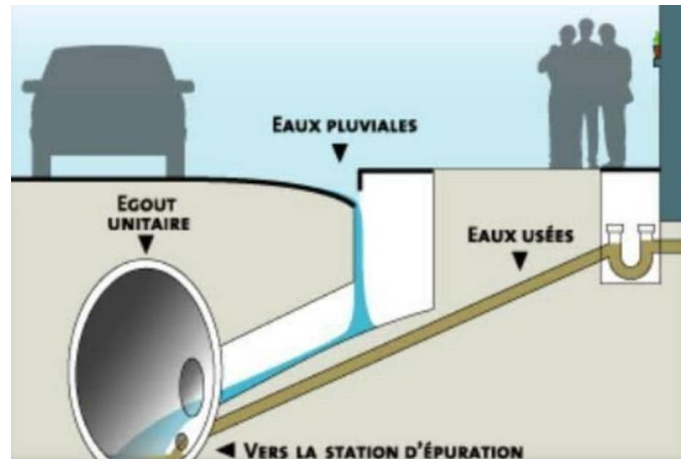


Figure VIII.4 Les systèmes unitaires d'évacuation.

- Avantages :
  - L'économie à la conception et à l'entretien.
  - Pas d'erreur de branchement.
  - Facilité de réalisation.

#### VIII.4 TRAVAUX DE SECURITE ET DE SIGNALISATION ROUTIERE.

La signalisation est un outil de communication entre les gestionnaires de réseaux routiers et les usagers de la route. Elle a pour but de garantir la sécurité des infrastructures et de la bonne convivialité pour les utilisateurs de la route.

On a deux types de signalisation : la signalisation horizontale et celle verticale.

##### VIII.4.1 La signalisation horizontale.

Elle concerne les marques qui doivent être posées sur les chaussées et qui sont employées pour régler circulation, avertir ou guider les usagers.

Ce sont des lignes qui servent principalement à séparer et à délimiter les voies, à indiquer la présence de l'accotement, d'un passage piéton mais aussi à indiquer l'arrêt ou un cédez le passage, à délimiter des places de stationnement, des voies cyclables ou des contours d'ilots...

Toutes ces marques sont de couleur blanche, et on en distingue :

##### **Les lignes continues.**

Ce sont des lignes utilisées en axe pour interdire le dépassement des véhicules lorsque la visibilité est insuffisante (virages, sommet de côtes).

##### **Les lignes discontinues.**

Ce sont des lignes utilisées au niveau des rives de la chaussée pour marquer la largeur circulaire et en axe lorsque la visibilité permet le dépassement des véhicules.



Figure VIII.5 Signalisation horizontale.

#### VIII.4.1.1 Les lignes longitudinales axiales et les lignes de rives.

Pour les routes, autoroutes et en milieu urbain, il existe 3 modulations différentes (**T1**, **T'1** et **T3**) pour les lignes axiales et 2 modulations (**T2** et **T'3**) pour les lignes de rives (lignes séparant l'accotement de la chaussée).

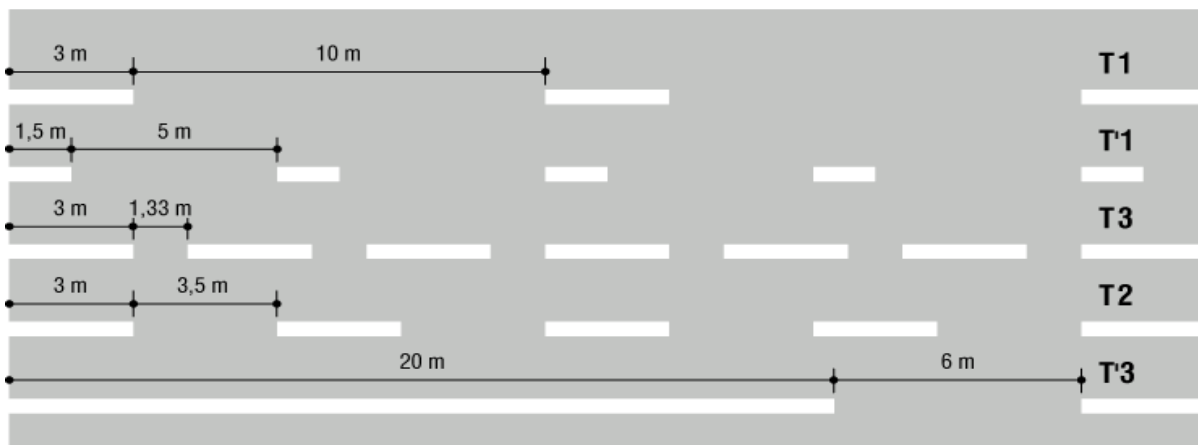


Figure VIII.6 Les lignes longitudinales axiales et les lignes de rives.

#### VIII.4.1.2 Les lignes transversales.

Pour les lignes transversales, la modulation **T'2** comporte alternativement 0,5 mètre de trait et 0,5 mètre de vide.

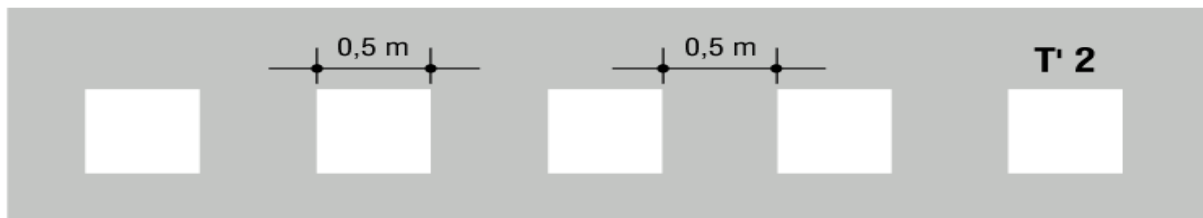


Figure VIII.7 Les lignes transversales.

### VIII.4.1.3 Modulation des lignes de marquage au sol.

La modulation définit le rapport entre les pleins et les vides des lignes. Ces modulations (tirets + intervalles) sont des multiples ou des sous-multiples de 13 mètres. Elles sont définies par rapport à une valeur unité T.

Tableau VIII.2 Modulation des lignes de marquage.

Type de marquage	Type de modulation	Longueur du trait (m)	Intervalle entre 2 traits successifs (m)	Rapport plein/vide
Ligne longitudinale axiale	T1	3	10	1/3
	T'1	1,5	5	1/3
	T3	3	1,33	3
Ligne longitudinale de rive	T2	3	3,5	1
	T'3	20	6	3
Ligne transversale	T'2	0,5	0,5	1

### VIII.4.2 La signalisation verticale.

Elle représente des panneaux implantés sur le coté des routes, servant à donner des informations relatives à l'usager de la route.



Figure VIII.8 Exemple de signalisation verticale.

### VIII.4.3 Travaux préconisés.

Une signalisation horizontale sera représentée pour notre projet par des lignes continues de couleur blanche sur les extrémités de chaque sens et par des lignes discontinues blanche sur l'axe de la chaussée pour chaque sens (Tableau VIII.3). Pour les tracées de la signalisation horizontale on fera appel à l'entreprise nationale des plaques et de la signalisations (ENPS).

Tableau VIII.3 les dimensions de la signalisation horizontale.

Signalisation horizontal.	Longueur (km).	Largeur (cm).
lignes continues.	30	20
lignes discontinues	15 (en 3m pour chaque ligne discontinue et 1,33m d'espace entre chaque deux lignes)	20

Pour la signalisation verticale on va juste réaliser temporairement des panneaux qui indiquent la présence des travaux (figure VIII.9) en laissant les panneaux qui existent déjà sur la route.



Figure VIII.9 Panneau de danger attention travaux.

## **CHAPITRE IX : PRESCRIPTIONS TECHNIQUES.**

### **IX.1 INTRODUCTION.**

L'étude de tout projet se termine par le calcul des quantités et le devis quantitatif et estimatif. Ceci permet de choisir la variante optimale et d'assurer la faisabilité du projet.

Il est obligatoire de faire des métrés pour chaque prix immédiatement après l'exécution des travaux qu'il rémunère. Ces métrés seront signés par l'Administration et l'Entrepreneur ou leurs représentants.

### **IX.2 DEFINITION DES PRIX UNITAIRES.**

#### **Prix n°1 : Installation de chantier et repliement.**

Ce prix rémunère forfaitairement l'amenée, le repli et l'installation. Il comprend :

- La préparation de plates-formes.
- Le montage des stations et de leurs installations.
- L'installation, l'équipement, le fonctionnement, et le repliement d'un laboratoire dechantier, pour suivre et corriger, s'il y a lieu, la qualité et la quantité des matériaux.
- Le montage des bascules de pesage.
- La fourniture des postes radios.
- Le réglage des installations.
- Les frais de gardiennage.
- Les raccordements en fluides et énergies, y compris les consommations.
- Les frais de signalisation et d'éclairage.
- Les clôtures et palissades.
- La remise en état des lieux, après enlèvement des matériels.

#### **Prix n°2 : Décaissement du corps de chaussée existant.**

Ce prix rémunère le décaissement du corps de chaussée et comprend toutes les dépenses de fournitures, de matériel et de main d'œuvre relatives au décapage et à la mise en œuvre, au réglage et au compactage, d'évacuation des matériaux décaissés du corps de chaussée, de chargement, transport et de déchargement public, y compris toutes sujétions de bonne exécution.

#### **Prix n°3 : Excavation sur une profondeur de 55 cm pour la réalisation des purges.**

C'est un prix au mètre cube d'excavation, il comprend toutes les dépenses de fournitures, de matériel et de main d'œuvre relatives aux travaux des purges, à la mise en œuvre, au réglage, au compactage et à l'évacuation à la décharge publique, y compris toutes sujétions de bonne exécution.

#### **Prix n°4 : Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation en GNT sur une épaisseur de 15 cm sur la totalité du projet.**

C'est un prix au mètre cube qui s'applique à la fourniture, au transport et à la mise en œuvre des matériaux de la couche de fondation en GNT sur une épaisseur de 15cm pour la totalité du projet, il comprend :

- Vérification de la plate-forme avec l'essai à la plaque ( $EV2 \geq EV2\text{-min}$ ).
- La fourniture des matériaux destinés à la réalisation des couches de fondation qui répondent aux spécifications de cahier des Spécifications Techniques Particulières (CSPT).
- Le chargement et le transport de ces matériaux depuis la station de concassage et cribleur jusqu'au lieu de mise en œuvre.
- Toutes sujétions de déchargement et de stockage (protection contre les intempéries, gerbage éventuel) sur les lieux d'emploi.
- La mise en œuvre proprement dite au moyen d'engins mécaniques, suivant les spécifications du CSPT.
- Le compactage des matériaux selon les indications données dans le CSPT, inclut toutes sujétions inhérentes à cette opération, compte tenu des conditions climatiques et géotechniques.

**Prix n°5 : Fourniture et mise en œuvre de la couche d'imprégnation en émulsion à rupture lente.**

C'est un prix au mètre carré, qui s'applique à l'imprégnation en émulsion à rupture lente entre la couche de GNT (GC 0/20) et la couche bitumineuse. Il comprend la fourniture et le répandage du liant, suivant les indications du CSTP et toutes les sujétions afférentes, notamment la manutention et le transvasement du liant des cuves de stockage aux citernes de répandage, réchauffage éventuel du liant, la répandage et que le sablage, etc.

**Prix n°6 : Fourniture et mise en œuvre de la couche de base.**

C'est un prix à la tonne, qui s'applique à la fourniture du matériau destiné à la réalisation de la couche de base, et répondant aux spécifications du CSTP y compris le transport des différents constituants de la station de concassage à la centrale d'enrobage, à la fabrication en centrale, à son transport entre la centrale et le lieu de mise en œuvre, et à sa mise en œuvre au finisseur sur le chantier. Le prix comprend :

- La fourniture des différents constituants.
- Le transport des différents constituants à la centrale d'enrobage, y compris toutes sujétions de chargement, déchargement et de stockage.
- L'amortissement, le fonctionnement de la centrale et de ses installations annexes, y compris toutes sujétions du personnel de consommation en eau et en carburant.
- Lubrifiants et alimentation électrique.
- La fourniture à la centrale du bitume et du filler, y compris toutes sujétions de stockage, réchauffage, etc.
- Le chargement des camions sous trémie.
- Le transport jusqu'au lieu de mise en œuvre, avec protection des matériaux, qui doivent parvenir sur le chantier à la température indiquée dans le CSTP.
- Le déchargement des matériaux dans la trémie du finisseur, la mise en œuvre suivant les directives du CSTP, le réglage, le compactage du matériau suivant le profil en travers, type applicable et le profil en long, y compris toutes sujétions du personnel de conduite et de réglage du finisseur, et du personnel supplémentaire tels que topographes, laborantins, etc.

Les quantités seront calculées avec l'épaisseur et la densité moyennes des carottes conforme aux tolérances indiquée dans le CSTP.

**Prix n°7 : Fourniture et mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion à rupture rapide.**

C'est un prix au mètre carré, qui s'applique à l'accrochage en émulsion à rupture rapide entre la couche de base et la couche de roulement. Il comprend la fourniture et le répandage du liant, suivant les indications du CSTP et toutes les sujétions afférentes, notamment manutention et transvasement du liant des cuves de stockage aux citernes de répandage, réchauffage éventuel du liant, le répandage et le sablage, etc.

**Prix n°8 : Fourniture et mise en œuvre d'une couche de roulement.**

C'est un prix à la tonne, qui s'applique à la fourniture du matériau destiné à la réalisation de la couche de roulement, et répondant aux spécifications du CSTP, y compris le transport des différents constituants de la station de concassage à la centrale d'enrobage, la fabrication en centrale, son transport entre la centrale et le lieu de mise en œuvre, et sa mise en œuvre au finisseur sur le chantier. Le prix comprend :

- La fourniture des différents constituants.
- Le transport des différents constituants à la centrale d'enrobage, y compris toutes sujétions de chargement, déchargement et de stockage.
- L'amortissement, le fonctionnement de la centrale et de ses installations annexes, y compris toutes sujétions de consommation en eau, en carburant, lubrifiants, et d'alimentation électrique.
- La fourniture à la centrale du bitume et du filler, y compris toutes sujétions de stockage, réchauffage, etc.
- Le chargement des camions sous trémie.
- Le transport jusqu'au lieu de mise en œuvre, avec protection des matériaux, qui doivent parvenir sur le chantier à la température indiquée dans le CSTP.
- Le déchargement des matériaux dans la trémie du finisseur, la mise en œuvre suivant les directives du CSTP, le réglage, le compactage du matériau suivant le profil en travers type applicable et le profil en long, y compris toutes sujétions du personnel de conduite et de réglage du finisseur, ainsi que des personnels tels que topographes, laborantins, etc.

Les quantités seront calculées avec l'épaisseur et la densité moyennes des carottes conformément aux tolérances indiquées dans le CSTP.

**Prix n°9 : Fourniture et pose des collecteurs en PVC pour le réseau d'assainissement endommagé.**

C'est un prix au mètre linéaire qui s'applique à la fourniture et pose des collecteurs en PVC avec différents diamètres (selon l'existant) pour le réseau d'assainissement endommagé, y compris toutes sujétions de bonne exécution.

**Prix n°10 : Fourniture et pose des avaloires pour le réseau d'assainissement endommagé.**

C'est un prix qui rémunère à l'unité d'une avaloire, et qui s'applique à la fourniture et pose des avaloires pour le réseau d'assainissement endommagé, y compris toutes sujétions de bonne exécution.

**Prix n°11 : Fourniture et pose des cunettes préfabriquées.**

C'est un prix au mètre linéaire, qui comprend toutes les dépenses de fournitures, transport et pose des cunettes préfabriquées, de main d'œuvre, et toutes les sujétions de bonne exécution.

**Prix n°12 : Fourniture et pose des bordures (T3).**

C'est un prix au mètre linéaire, qui comprend toutes les dépenses de fournitures, transport et pose des bordures préfabriquées (T3), y compris toutes les sujétions de bonne exécution.

**IX.3 CALCUL DES QUANTITES.**

Cette étape consiste à établir les volumes où pesages nécessaire en matériaux et en travaux tel que :

**Calcul des quantités de décaissement (en m<sup>3</sup>) :**

$$V = L * l * H$$

Tel que :

- L : Longueur de la zone contenant le matériau.
- l : largeur de la zone contenant le matériau.
- H : hauteur de la zone contenant le matériau.

**Variante 01 : BBSG/GB.**

Tableau IX.1 Calcul des quantités de décaissement –Variante 01-

Matériaux	Sens	ZH	Longueur (m)	Largeur (m)	Hauteur (m)	Quantité (m <sup>3</sup> )	
Décaissement	Aller	ZH01	1100	8,9	0,45	4405,50	
			1100	8,4		4158,00	
			1300	11		6435,00	
			200	9		810,00	
			900	11		4455,00	
	Retour	ZH02	3100	8	0,43	10664,00	
			ZH01	1000	8,9	3827,00	
				1600	8,4	0,43	5779,20
				500	11	2365,00	
			ZH02	1900	11	9405,00	
300	9	0,45		1215,00			
			2200	11		10890,00	
						64408,70	

**Variante 02 : BBME/EME.**

Tableau IX.2 Calcul des quantités de décaissement –Variante 02-.

Matériaux	Sens	ZH	Longueur (m)	Largeur (m)	Hauteur (m)	Quantité (m <sup>3</sup> )
Décaissement	Aller	ZH01	1100	8,9	0,42	4111,80
			1100	8,4		3880,80
			1300	11		6006,00
			200	9		756,00
			900	11		4158,00
		ZH02	3100	8	0,39	9672,00
	Retour	ZH01	1000	8,9	0,4	3560,00
			1600	8,4		5376,00
			500	11		2200,00
			1900	11		8569,00
300			9	1107,00		
	ZH02	2200	11	0,41	9922,00	
						59318,60

**Calcul des volumes de purges à réaliser.**

Après étude des dégradations de la chaussée, plus précisément des affaissements (Chapitre VIII), on a estimé la nécessité de la réalisation de cinq (05) purges.

Le calcul des volumes de purges se fait par l'estimation des dimensions des zones affaissées de la chaussée.

$$V = L * l * h$$

Tel que :

- L : Longueur estimée de la zone affaissée.
- l : largeur estimée de la zone affaissée.
- H : hauteur des purges mise à H=55cm.

Tableau IX.3 Calcul des volumes de purges à réaliser.

Matériaux	Sens	PR	Longueur (m)	Largeur (m)	Hauteur (m)	Quantité (m <sup>3</sup> )
Purges	Aller	2+100	4	8	0,55	17,60
		2+200	4	8		17,60
		5+000	4	8		17,60
	Retour	1+800	4	8	0,55	17,60
		2+200	4	8	17,60	
						88,00

**Calcul des quantités de matériaux à utiliser (en Tonnes).**

$$M = L * l * H * d$$

Tel que :

- M : masse des matériaux.
- L : Longueur de la zone contenant le matériau.
- l : largeur de la zone contenant le matériau.
- H : hauteur de la zone contenant le matériau.
- d : densité du matériau.

**Variante 01 : BBSG/GB.**

Cette variante comprend une couche de roulement en BBSG, une couche de base en GB et une couche de fondation en GNT.

Tableau IX.4 Calcul des quantités de matériaux –variante 01-.

Matériaux	Sens	ZH	Longueur(m)	Largeur (m)	Hauteur (m)	Densité (T/m <sup>3</sup> )	Quantité (T)	
BBSG	Aller	ZH01	1000	8,9	0,06	2,36	1260,24	
			1000	8,4			1189,44	
			1300	11			2024,88	
		200	9	254,88				
		900	11	1401,84				
		ZH02	3100	8			0,06	3511,68
	Retour	ZH01	1000	8,9	0,06		1260,24	
			1600	8,4			1903,10	
			500	11			778,80	
		ZH02	1900	11			2959,44	
			300	9			0,06	382,32
			2200	11			3426,72	
							20353,58	

GB	Aller	ZH01	1000	8,9	0,24	2,38	5083,68	
			1000	8,4			4798,08	
			1300	11			8168,16	
		200	9	1028,16				
		900	11	5654,88				
		ZH02	3100	8			0,22	12985,28
	Retour	ZH01	1000	8,9	0,22		4660,04	
			1600	8,4			7037,18	
			500	11			2879,80	
		ZH02	1900	11			11938,08	
			300	9			0,24	1542,24
			2200	11			13823,04	
							79598,62	

GNT	Aller	ZH01	1000	8,9	0,15	1	1335,00
			1000	8,4			1260,00
			1300	11			2145,00
			200	9			270,00
			900	11			1485,00
	ZH02	3100	8	0,15	3720,00		
	Retour	ZH01	1000	8,9	0,15		1335,00
			1600	8,4			2016,00
			500	11			825,00
			ZH02	1900			11
300				9		0,15	405,00
2200	11	3630,00					
							21561,00

**Variante 02 : BBME/EME.**

Cette variante comprend une couche de roulement en BBME, une couche de base en EME et une couche de fondation en GNT.

Tableau IX.5 Calcul des quantités de matériaux –variante 02-.

Matériaux	Sens	ZH	Longueur (m)	Largeur (m)	Hauteur (m)	Densité (T/m <sup>3</sup> )	Quantité (T)
BBME	Aller	ZH01	1000	8,9	0,06	2,4	1281,60
			1000	8,4			1209,60
			1300	11			2059,20
			200	9			259,20
			900	11			1425,60
	ZH02	3100	8	0,06	3571,20		
	Retour	ZH01	1000	8,9	0,06		1281,60
			1600	8,4			1935,36
			500	11			792,00
			ZH02	1900			11
300				9		0,06	388,80
2200	11	3484,80					
							20698,56
EME	Aller	ZH01	1000	8,9	0,21	2,42	4522,98
			1000	8,4			4268,88
			1300	11			7267,26
			200	9			914,76
			900	11			5031,18
	ZH02	3100	8	0,18	10802,88		
	Retour	ZH01	1000	8,9	0,19		4092,22
			1600	8,4			6179,71
			500	11			2528,90

		ZH02	1900	11		10115,60
			300	9	0,2	1306,80
			2200	11		11712,80
						68743,97
GNT	Aller	ZH01	1000	8,9	0,15	1335,00
			1000	8,4		1260,00
			1300	11		2145,00
			200	9		270,00
			900	11		1485,00
		ZH02	3100	8	0,15	3720,00
	Retour	ZH01	1000	8,9	0,15	1335,00
			1600	8,4		2016,00
			500	11		825,00
			1900	11		3135,00
			300	9		405,00
			2200	11		3630,00
						21561,00

**Calcul des quantités de couche d'accrochage et d'imprégnation (en m<sup>2</sup>).**

$$A = L * l$$

Tel que :

- L : Longueur de la zone contenant le matériau.
- l : largeur de la zone contenant le matériau.

**Tableau IX.6 Calcul des quantités de couche d'accrochage et d'imprégnation.**

Matériaux	Sens	ZH	Longueur (m)	Largeur (m)	Quantité (m <sup>2</sup> )
Emulsion à rupture rapide	Aller	ZH01	1000	8,9	8900,00
			1000	8,4	8400,00
			1300	11	14300,00
			200	9	1800,00
			900	11	9900,00
		ZH02	3100	8	24800,00
	Retour	ZH01	1000	8,9	8900,00
			1600	8,4	13440,00
			500	11	5500,00
			1900	11	20900,00
			300	9	2700,00
			2200	11	24200,00
					143740,00

Emulsion à rupture lente	Aller	ZH01	1000	8,9	8900,00
			1000	8,4	8400,00
			1300	11	14300,00
			200	9	1800,00
			900	11	9900,00
		ZH02	3100	8	24800,00
	Retour	ZH01	1000	8,9	8900,00
			1600	8,4	13440,00
			500	11	5500,00
			1900	11	20900,00
300			9	2700,00	
	ZH02	2200	11	24200,00	
					143740,00

**Nombre de collecteurs en PVC pour le réseau d'assainissement endommagé.**

Après étude de l'état du système d'assainissement qui est très dégradé (Chapitre VIII). Les dimensions de collecteurs en mètre linéaire ont été établies à 120 ML.

**Nombre d'avales pour le réseau d'assainissement endommagé.**

Il est normalisé que le nombre d'avaloir nécessaire est posé à 1 avaloir chaque 50m de projet. Notre projet étant de 7.5Km par sens. Le nombre total est calculé :

$$n_{avales} = 2 * \left( \frac{7500}{50} \right) = 300.$$

**Nombre de cunettes préfabriquées.**

Ce calcul se fait en mètre linéaire tel qu'ils bordent le projet des deux coté donnant une quantité estimée à 15000 ML.

**Nombre des bordures (T3).**

Là encore, ils bordent le projet des deux côtés donnant une quantité estimée à 15000ML.

**IX.3 DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF DU PROJET.**

**Variante 01 : BBSG/GB**

Tableau IX.7 Devis quantitatif et estimatif –variante 01-.

Devis (Variante 01)				
Travaux	Unité	Quantité	Prix Unitaire	Cout (Da)
Installation de chantier et repliement		1	8000000	8000000
Décaissement du corps de chaussée existant.	m <sup>3</sup>	64408,7	700	45086090
Excavation sur une profondeur de 55 cm pour la réalisation des purges.	m <sup>3</sup>	88,00	500	44000
Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation en GNT sur une épaisseur de 15 cm sur la totalité du projet.	T	21561	2000	43122000
Fourniture et mise en œuvre de la couche d'imprégnation en émulsion à rupture lente.	m <sup>2</sup>	143740	200	28748000
Fourniture et mise en œuvre de la couche de base en GB.	T	79598,624	7000	557190368
Fourniture et mise en œuvre de la couche d'accrochage en émulsion à rupture rapide	m <sup>2</sup>	143740	200	28748000
Fourniture et mise en œuvre d'une couche de roulement en BBSG.	T	20353,584	6000	122121504
Fourniture et pose des collecteurs en PVC pour le réseau d'assainissement endommagé.	MI	120	2500	300000
Fourniture et pose des avaloires pour le réseau d'assainissement endommagé.	U	300	20000	6000000
Fourniture et pose des cunettes préfabriquées.	MI	15000	1200	18000000
Fourniture et pose des bordures (T3)	MI	15000	1200	18000000
				875359962
			TVA (19%)	1041678355

**Prix en lettres :** Un milliard, quarante-et-un millions, six-cents soixante-dix-huit milles, trois-cent cinquante-cinq dinars algériens.

**Variante 02.**

Tableau IX.8 Devis quantitatif et estimatif –variante 02-.

<b>Devis (Variante 02)</b>				
<b>Matériaux</b>	<b>Unité</b>	<b>Quantité</b>	<b>Prix Unitaire</b>	<b>Cout (Da)</b>
Installation de chantier et repliement		1	8000000	8000000
Décaissement du corps de chaussée existant.	m <sup>3</sup>	59318,60	700	41523020
Excavation sur une profondeur de 55 cm pour la réalisation des purges.	m <sup>3</sup>	88,00	500	44000
Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation en GNT sur une épaisseur de 15 cm sur la totalité du projet.	T	21561	2000	43122000
Fourniture et mise en œuvre de la couche d'imprégnation en émulsion à rupture lente.	m <sup>2</sup>	143740,00	200	28748000
Fourniture et mise en œuvre de la couche de base en EME.	T	68743,97	12000	824927664
Fourniture et mise en œuvre de la couche d'accrochage en émulsion à rupture rapide	m <sup>2</sup>	143740,00	200	28748000
Fourniture et mise en œuvre d'une couche de roulement en BBME.	T	20698,56	9000	186287040
Fourniture et pose des collecteurs en PVC pour le réseau d'assainissement endommagé.	MI	120	2500	300000
Fourniture et pose des avaloires pour le réseau d'assainissement endommagé.	U	300	20000	6000000
Fourniture et pose des cunettes préfabriquées.	MI	15000	1200	18000000
Fourniture et pose des bordures (T3)	MI	15000	1200	18000000
				1203699724
			TVA (19%)	1432402672

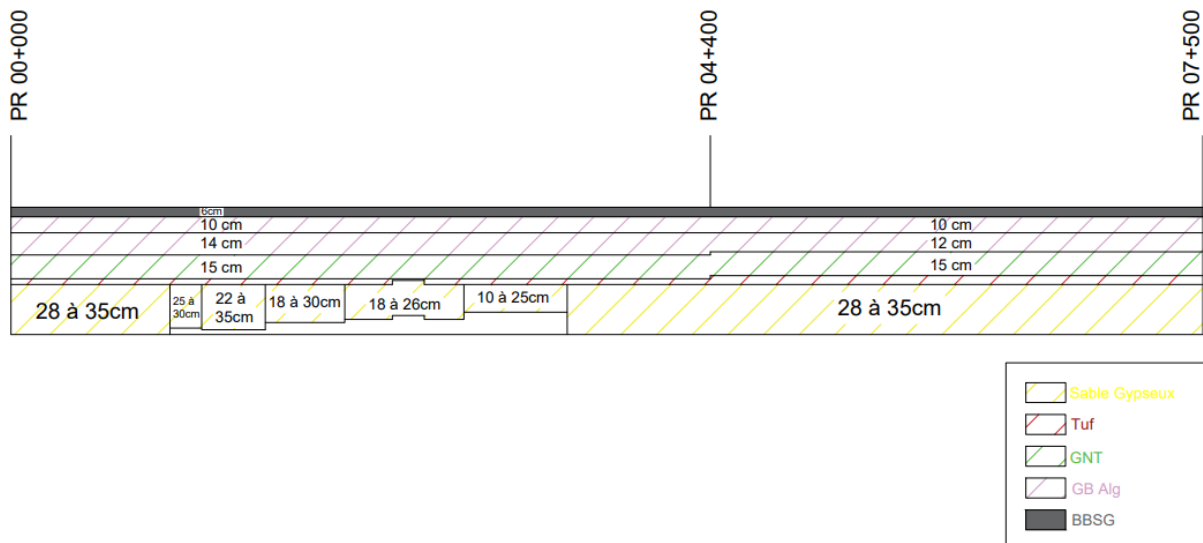
**Prix en lettres :** Un milliard, quatre-cents trente-deux millions, quatre-cents deux milles, six-cent soixante-douze dinars algériens.

**IX.4 CONCLUSION.**

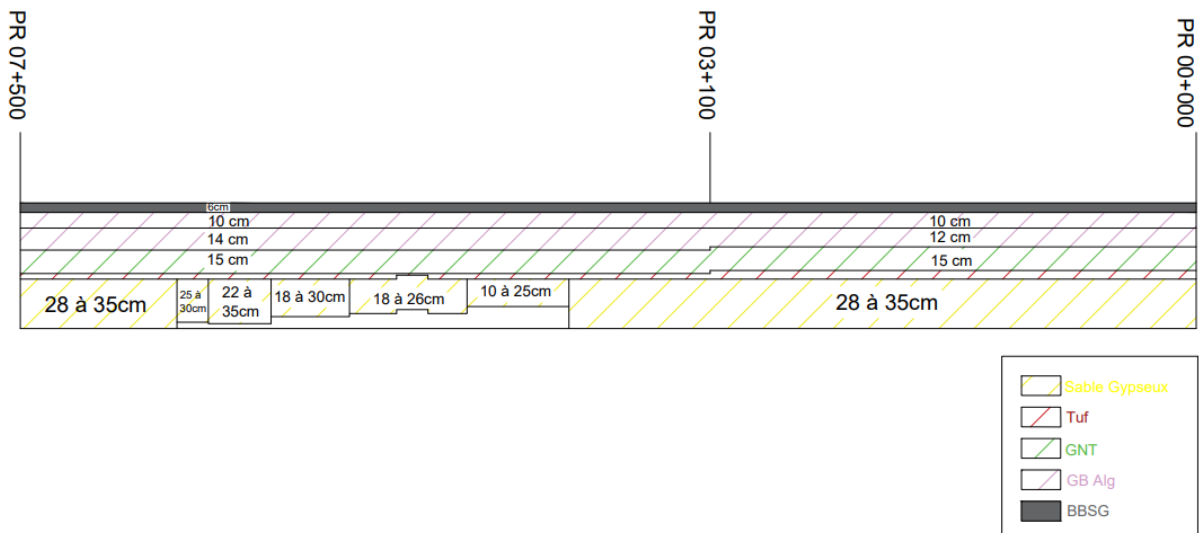
On remarque grâce au devis quantitatif et estimatif que la 1<sup>ère</sup> variante est plus avantageuse, principalement à cause du cout très élevé des matériaux à Module Elevé, mais aussi à cause de la meilleure maîtrise locale des matériaux de BB/GB.

Nous allons donc opté, pour ce projet à la réalisation d'une chaussée se constituant :

- Couche de roulement en Béton Bitumineux Semi Grenu (BBSG) de 06cm.
- Couche de base en Grave Bitume (GB) variante entre les 22 et 24cm.
- Couche de fondation en GNT (GC 0/20) de 15cm.
- Sol support existant en Tuf et Sable Gypseux.



**Figure IX.1 Dimensionnement de la chaussée BBSG/GB –sens aller-.**



**Figure IX.2 Dimensionnement de la chaussée BBSG/GB –sens retour-.**

---

## CONCLUSION GENERALE

La route étant un élément principal dans la vie de chaque individu, et ayant précédemment établi l'importance de la garder en bon état de fonctionnement, les projets de renforcement sont donc primordiaux. Le cas de l'infrastructure routière se trouvant au niveau du passage de la RN03 par la commune de Hassi Messaoud, Ouargla, est un bon exemple de renforcement de route en milieu urbain.

L'exemple a été présenté dans ce document en suivant une démarche pédagogique progressive. Le projet est d'abord décrit dans son environnement socio-économique, géomorphologique et climatique.

L'auscultation menée est présentée avec détails avec ses différentes dimensions (historique, trafic, dégradations, déflexion, planéité...). Cette étape a été complétée par des campagnes de carottage qui ont confirmé l'état de dégradation avancé de la chaussée annoncé par l'observation des dégâts superficiels.

Le redimensionnement a alors pu être réalisé par la méthode française grâce principalement à l'utilisation du logiciel ALIZE-LCPC, et a été accompagné par la proposition de réaliser des travaux de dépendance assurant le bon fonctionnement de l'infrastructure.

Après étude des différentes variantes possible pour la chaussée et la réalisation de devis quantitatif et estimatif pour chacune d'entre elles, une structure en BBSG/GB a été recommandée comme la plus optimale :

- Couche de roulement en Béton Bitumineux Semi Grenu (BBSG) de 06cm.
- Couche de base en Grave Bitume (GB) variante entre les 22 et 24cm.
- Couche de fondation en GNT (GC 0/20) de 15cm.
- Sol support existant en Tuf et Sable Gypseux.

---

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBIQUE

- A. BELAID, *étude géologique et géotechnique des tufs calcaires et gypseux d'Algérie en vue de leur valorisation routière*, 1981.
- A. DJABRI et A. HAMMANA, *caractérisation des enrobés bitumineux cyclés*. Université de Tebessa, Algérie, 2016.
- B. MESSROUT, LTP Ouargla, *Deuxième séminaire « les techniques routières sahariennes », structure des chaussées sahariennes évolution et perspectives*, 1994.
- CEREMA, *Guide de diagnostic et conception des renforcements des chaussées*, Mai 2016.
- CTTP, *Catalogue de dimensionnement des Chaussées Neuves, Fascicule 1 : Notice d'utilisation*. Novembre 2001.
- CTTP, *Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves, Fascicule 2 : Hypothèses et données de dimensionnement*, Novembre 2001.
- CTTP, *Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves, Fascicule 3 : fiches techniques de dimensionnement*, Novembre 2001.
- CTTP, *Guide de réhabilitation des chaussées, fascicule 1 : méthodologie*, Juillet 1996.
- D. DRIDI, Hassi Messaoud : petites histoires autour d'une dénationalisation, *Le Quotidien d'Oran*, 3 mars 2001.
- D. RAHMANI, *Cours d'assainissement*, 2eme année cycle ingénieur, ENSTP, 2021.
- F. BOUANANI, DTP El Oued. *Deuxième séminaire : les techniques routières sahariennes, présentation d'une méthode traditionnelle de lutte contre l'ensablement des routes*, 1994.
- FAO, *Management of gypsiferous soils*, 1990.
- FOUCAULT et RAOULT, *Dictionnaire de Géologie*, 4e édition.
- Gouvernement du Québec, *Manuel des dégradations des chaussées souples*, 2002.
- Horta J.C. *Les encroûtements calcaires et les encroûtements gypseux en géotechnique routière*. Service des publications du laboratoire de M.D.S., Base SONATRACH, Blida, Algérie 1979.
- LCPC, *Catalogue des dégradations de surfaces des chaussées : Méthode d'essai numéro 52*, 1998.
- LCPC, *Technique et méthode des laboratoires des ponts et de chaussées, Auscultation dynamique des structures de chaussées : Méthode d'essai numéro 70*, 1998.
- M.B. TOUATI TLIBA, CTTP-Alger. *Deuxième séminaire : les techniques routières sahariennes», particularité de dimensionnement des chaussées dans le contexte saharien*, 1994.
- M. Chiali et K. Ait Mokhtar, *Analyse critique du catalogue algérien de dimensionnement des chaussées neuves : Limite et perspective*, Octobre 2014.
- M. TAB, SAETI, *Deuxième séminaire : les techniques routières sahariennes, La conception routière en milieu saharie*, 1994.

---

Michael W. SAYERS, Thomas D. GILLESPIE, and William D.O. PATERSON, *Directives pour la mesure de l'uni des routes et l'étalonnage des appareils*, Janvier 1986.

N. KEBAILI, N. MOUDJAHED, *Protection des routes contre l'ensablement : cas du sud algérien*, 1994.

Pr. Larbi ABID, *La couverture sanitaire dans la Wilaya d'Ouargla*, 2018.

S. GUELLATI, LCTP. *Congrès Algérien de la route : les couches de roulement en milieu désertique*, 2019.

SETRA, *Conception et dimensionnement des structures de chaussées*, 1994.

T. SCHLÜTER, *Geological Atlas of Africa*. Springer, 2008.

Texas department of transportation, *Pavement manual*, 2021.

Z. DERRICHE, *Cours « Géotechnique routière »*, 2ème année cycle ingénieur, ENSTP, Alger, 2020.

[www.alize-lcpc.com/fr/](http://www.alize-lcpc.com/fr/)

[www.Essai-laboratoire.blogspot.com](http://www.Essai-laboratoire.blogspot.com)

[www.fr-fr.topographic-map.com](http://www.fr-fr.topographic-map.com), Hassi Messaoud.

[www.GeoMondiale.fr](http://www.GeoMondiale.fr), Carte des pipelines en Afrique du nord : Algérie, Égypte, Libye, Soudan, Tunisie, Maroc - Oléoducs, gazoducs et produits dérivés.

[www.ons.dz](http://www.ons.dz). Wilaya d'Ouargla : répartition de la population résidente des ménages ordinaires et collectifs, selon la commune de résidence et la dispersion, Archive.