

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université 20 Août 1955–Skikda Faculté de Technologie Département de Génie Civil



Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master en travaux publics

Spécialité : Voies et Ouvrages d'Art (VOA)

Par : Benachour Lydia

Intitulé:

***Étude de renforcement de la RN03 entre pk
3+500 et pk 8+000 sur un linéaire de 4.5 kms***

Soutenu le :

Devant le jury :

Pr. MESSAST SALAH	Président	Université De Skikda
Dr. MENDJEL DJENETTE	Encadreur	Université De Skikda
Dr. FILALI KAMEL	Examineur	Université De Skikda
Mr. MEBIROUK NADJIB	Inviter	Université De Skikda

Promotion 2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Résumé:

L'évaluation de la chaussée de la route RN 03 du PK 3+500 au PK 8+000 sur un linéaire de 4,5 kms entre la sortie de la commune de Skikda et la sortie de la commune d'Elhadaiek, repose sur une série de mesures et d'observations visuelles qui permettent d'établir la condition de la structure, de diagnostiquer les causes probables des dégradations apparentes et de cibler les solutions de réhabilitation les plus appropriées. Suite à l'évaluation le renforcement est nécessaire, et il est de type très lourds, à cause de l'environnement très agressif du projet. Le renforcement par 5BB+30GC a été choisi pour des raisons technico-économique. Le logiciel Alizé-LCPC nous a permis de calculer les sollicitations verticales et horizontales de la structure renforcée, la comparaison de ces dernières aux valeurs limites nous a permis de justifier la bonne résistance de cette structure.

Mots clés : renforcement, trafic, dégradations, déflexion, Alizé.

ملخص:

يستند تقييم جسم الطريق الوطني رقم 03 الممتد من النقطة الكيلومترية 3+500 إلى النقطة الكيلومترية 8+000 على امتداد 4.5 كم بين مخرج بلدية سكيكدة ومخرج بلدية الحدائق، إلى سلسلة من القياسات والملاحظات البصرية لتحديد حالة هيكل الطريق وتشخيص الأسباب المحتملة لتدهوره واستهداف أنسب الحلول لإعادة تأهيله. بعد التقييم، تبين أن التدعيم ضرورياً، وهو من النوع الثقيل جداً، نظراً للبيئة القاسية جداً للطريق. تم اختيار التدعيم باضافة طبقتين 5BB+30GC لأسباب تقنية واقتصادية. استُخدم برنامج Alizé-LCPC لحساب الأحمال الرأسية والأفقية على الهيكل المقوى، وبمقارنة هذه الأخيرة مع القيم الحديدية تاكدن من المقاومة الجيدة لهذا الهيكل الجديد.

الكلمات المفتاحية: التعزيز، حركة المرور، التلف، الانحراف، أليزيه.

ABSTRACT

The assessment of the pavement of the RN 03 road from PK 3+500 to PK 8+000 over a 4.5 km stretch between the Skikda municipality exit and the Elhadaiek municipality exit, is based on a series of measurements and visual observations which make it possible to establish the condition of the structure, diagnose the probable causes of the apparent deterioration and target the most appropriate rehabilitation solutions. Following the assessment, reinforcement is necessary, and it is of a very heavy type, due to the very aggressive environment of the project. Reinforcement with 5BB+30GC was chosen for technical and economic reasons. The Alizé-LCPC software was used to calculate the vertical and horizontal loads on the reinforced structure, and a comparison of the latter with the limit values enabled us to justify the good resistance of this structure.

Key words: reinforcement, traffic, damage, deflection, Alize.



Remerciement

Nous remercions le bon dieu qui nous a donné le courage et la patience jusqu'au bout nos études.

*En second lieu, je tiens à remercier mon encadreur **DR. MENDJEL DJENETTE**, et son compétence et son orientation Pour son aide précieuse et ses orientations.*

Mes remerciements vont aussi à mes sœurs et frères, et toute ma famille, et à tous mes amis.

Nos remerciements vont aussi à tous qui ont participé de près ou de loin à l'établissement de ce mémoire.

à l'ensemble des étudiants de notre promotion, aux membres du jury qui ont accepté de juger notre travail et à toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce projet de fin d'étude



DÉDICACE

Grace à Allah le toute puissant,
qui a me donné la volonté, qui am'éclairé vers le
bon chemin,

Que nul ne peut se faire sans désir,

*Je dédie cette étude à lame pure de ma mère et de
mon père et mon marée.*

*A mes chers enfant **Rania et miral et djouri***

A toute la famille.

A tous mes collègues et mes amis

Liste des tableaux

Chapitre II	
Tableau II. 11 : Valeurs de $t = f(r\%)$	47
Chapitre III	
Tableau (III-1) : Coefficient d'équivalence selon de la nature de la route	53
Tableau III.2 : Valeur de K1	54
Tableau III.3 : Valeur de K2	54
Tableau II.4 : Valeur de la capacité théorique Cth	54
Chapitre IV	
Tableau. IV.1. Portance minimale du sol	70
Chapitre V	
Tableau V.1. Sondages et couches	74
Tableau V.2. Résultats des essais sol support	75
Chapitre VI	
Tableau VI.1 : classes de trafic d'après le trafic cumulé à la fin de la durée de vie escompté	86
Tableaux VI.2 la valeur du coefficient d'agressivité A	96
Tableaux VI.3 performances mécanique des matériaux traités aux liants hydrauliques	97
Tableaux VI.4 performances mécanique des matériaux bitumineux	98
Tableau VI.6. Vérification de la structure 5BB + 30GC +10 GB +47GNT	101
Tableau VI.1 : classes de trafic d'après le trafic cumulé à la fin de la durée de vie escompté	102

Liste de figure

CHAPITRE I	
Fig.I.1. Différentes couches constituant la structure de la chaussée	4
Fig.I.2. structure type d'une chaussée souple	7
Fig.I.3.structure type d'une chaussée semi-rigide	8
Fig.I.4.structure type d'une chaussée rigide à trafic > 50 PL/j/sens	8
Fig.I.5.structure type d'une chaussée rigide à trafic <= 50 PL/j/sens	9
Fig. I.6 : Ornières	11
Fig. I.7 : Tôle ondulée	11
Fig.I.8 : Fissurations	12
Fig.I.9: Faïençage	12
Fig.I.10 : Plumage	13
Fig.I.11 : Nids de poule	14
Fig. 1.12 : Ressuage	14
Figure I.13: Dégradations en milieu urbain (d'après AIMQ 2002	20
CHAPITRE II	
Fig.II.1. Décohéssionnement	26
Fig.II.2. chaussée décohéssionnée	27
Fig.II.3. Enrobés Coulés à Froid (ECF)	29
Fig.II.4. Planage et couche d'usure	33
Fig.II.5. Retraitement de type I- recyclage à froid	34
Fig.II.6. Scellement de fissures	35
Fig.II.7. Traitement de surface	36
Fig.II.8. Reconstruction	36
Figure II. 9: L'appareil d'acquisition HWD du CTTTP	39
Figure II. 10 : Le bassin de déflexion	41
Figure II. 11 : Seuils admissibles d'uni	42
Figure II. 12 : RSP 5051 de marque Dynatest	43
CHAPITRE IV	
Fig.IV.1. Teneur en eau	58
Fig.IV.2. Analyses granulométriques	59
Fig.IV.3. Equivalent de sable	60
Fig.IV.4. Limites d'Atterberg	61
Fig.IV.5. valeur de bleu de méthylène	62

Liste de Figure

Fig.IV.6. Essai PROCTOR	63
Fig.IV.7. Essai C.B.R.	64
Fig.IV.8. Essai los Angeles.	64
Fig.IV.9. Essai Micro Deval.	65
Fig.IV.10. Essais de plaque..	66
Fig.IV.11. Dispositif à vide.	66
Fig.IV.12. Disposition a charge	67
Fig.IV.13. Matériel	67
Fig.IV.14. Massif de réaction	68
Fig.IV.15. Module sous charge statique à la plaque.	69
Fig.IV.16. Essai pénétrométrique.	70
CHAPITRE V	
Fig. V.1. Vue aérienne du projet	73
Fig. V.2. Dégradation : type affaissement	77
Fig. V.3. Dégradation : type fissures longitudinales.	77
Fig. V.4. Dégradation : type fissures transversales.	78
Fig. V.5. Dégradation : type Faïençage.	79
Fig. V.6. Dégradation : type Dé enrobage	79
Fig. V.7. Dégradation : type Nid de Poule.	80
Fig. V.8. Dégradation : type Pelade.	80
Fig. V.9. Déflexion de la section totale (sens aller).	81
Fig. V.10. Déflexion de la section totale (sens retour).	82
CHAPITRE IV	
FigVI :alizélcpc-resultats (structure : données écran ,charge de référence)	

SOMMAIRE

I. Introduction générale..... 1

Chapitre I: Généralités sur les routes et ses dégradations

I.1. Introduction 4

I.2. Caractéristiques de la route 4

I.2.1. Le sol support 4

I.2.2. Faut-il une couche de forme 5

I.2. 3. Pourquoi la couche de surface 5

I.2.4. La chaussée 5

I.3. Dégradation des routes 9

I.3.1. Les déformations 10

I.3.2. Les fissurations 11

I.3.3. Les arrachements 12

I.3.4. Les remontées de matériaux..... 14

I.3.5. Les usurers de la Couche de roulement 15

I.4. Les principaux causes de degradations des chaussées revêtues 15

I.4. 1. Le trafic 15

I.4.2. Les conditions climatiques..... 16

I.4.3. La qualité des matériaux..... 16

II. Dégradations en milieu urbain..... 17

II.1.1. Fissuration autour des regards et des puisards 17

II.1.2. Coupe et tranchée..... 18

II.1.3. Dénivellation des regards et des puisards..... 19

III. Conclusion 21

Chapitre II : Entretien Et Auscultation Des Chaussées

II.1. Introduction	23
II.2. L'entretien routier et ses techniques	23
II.2.1. L'entretien routier.....	23
II.2.2. Réalisation de l'entretien routier.....	24
II.2.3. Reconstruction	36
II .3 Auscultation de la chaussée	37
II .3.1 Auscultation par mesures de déflexion.....	38
II.3.2 Description de l'appareil d'acquisition HWD	38
II.3.2.1Principe de l'essai	41
II.3 Auscultation par mesure d'uni.....	41
II.3.1 Seuils admissibles d'uni	42
II.4 Essais géotechnique.....	43
II.4.1 Les essais d'identification	43
II.4.1.1 Analyse granulométrie	43
II.4.1.2 Limites d'Atterberg	44
II.4.1.3 L'équivalent de Sable	44
II.4.2 Essais mécaniques.....	44
II.4.2.1 Essai proctor	44
II.4.2.2 Essai CBR.....	45
II.5 Vérification de la structure vis-à-vis des contraintes et déformations	45
II.5.1 Principe de calcul et introduction de données	45
II.6.1 Détermination des limites admissibles.....	46
II.6.1.1 Déformation admissible sur le sol support ($\epsilon_{Z,,}$)	46
II.6.1.2 Déformation admissible à la base de l'enrobé existant ($\epsilon_{t,ad}$,	46

II.7. Conclusion	48
------------------------	----

Chapitre III : Etude De Trafic

III .1– Introduction.....	50
III.2– Analyse du trafic	50
III.3– Différents types de trafic	50
III.4– Modèles de présentation de trafic	51
III.4.1– Prolongation de l'évolution passée.....	51
III.4.2–Corrélation entre le trafic et des paramètres économiques.....	51
III.4.3– Modèle gravitaire :	52
III.4.4– Modèle de facteurs croissance	52
III.5– Calcul de la capacité	52
III.5.2– Procédure de détermination de nombre de voies	52
III.5. Conclusion	55

CHAPITRE IV : GEOTECHNIQUE ROUTIER

IV.1. Introduction	57
IV.2. Règlementation algérienne en géotechnique	57
IV.3. Les différents essais en laboratoire	57
IV.4. Les essais in situ.....	56
IV.4. 1. Essais de plaque	70
IV.4. 2. Pénétrromètre statique ou dynamique	70
IV.5. Conclusion	71

CHAPITRE V : Données du projet d'étude –Chaussée dégradée

V.1. Introduction	73
V.2. Données du projet	73
V.2.1. Environnement.....	73

V.2.2. Résultats de l'étude géotechnique	73
V.2.3. Résultats de l'étude du trafic	76
V.2.4. Relevé de dégradations de la chaussée	76
V.2.5. Mesure de déflexion	81
V.3. Conclusion.....	83

CHAPITRES VI : Renforcement De La Chaussée

VI.1. Introduction	85
VI.2. Facteurs à déterminer pour le dimensionnement de la chaussée	85
VI.3. Dimensionnement du renforcement	90
VI.4. Détermination des limites (seuils) admissibles.....	95
VI.5. Vérification des résultats de calculs des sollicitations par ALIZE III	100
VI.6. Conclusion.....	102
Conclusion Générale.....	104
Référence	106

INTRODUCTION GENERALE

La route est l'une des voies de communication la plus utilisée dans le monde qui permet de relier les points d'un territoire, les études et les recherches sur les linéaires (route, autoroute) ont pris une importance considérable à travers le monde.

La route est également définie comme une vaste plateforme bien dégagée comportant deux ou plusieurs voies devant résister aux efforts statiques et dynamiques des véhicules (légers ou lourds) et dont les caractéristiques géométriques correspondent à une réglementation et norme bien précis.

Dans la plupart des pays africains, des investissements importants ont été réalisés pour la construction du réseau routier qui est le secteur clé de l'économie d'un pays. Plus récemment, ce sont des routes en terre qui ont été aménagées à grande échelle dans la plupart de ces pays. Du coup, on se retrouve face à un problème : les besoins en entretien sont importants et les ressources budgétaires diminuent. Le réseau routier s'est fortement dégradé du fait du manque des interventions permanentes ceci a entraîné un enclavement dans certaines régions par rapport au capital économique. Il est nécessaire donc de réagir pour sauver ces investissements déjà réalisés à grand frais.

Notre étude concerne le renforcement de la RN 03 du PK 3+500 au PK 8+000 sur un linéaire de 4,5 kms entre la sortie de la commune de Skikda et la sortie de la commune d'Elhadaiek.

La plateforme actuelle présente une chaussée unidirectionnelle de largeur variée de 13,20m à 16,80m du PK 3+500 jusqu'au PK 7+200 séparé par un terreplein central de largeur variée entre 1,60m à 4,50m, suivi par une chaussée bidirectionnelle de largeur variable de 7,6m à 14m du PK 7+200 jusqu'au PK 7+850 et deux (2) accotements de 0,5m à 4m de large chacun. Ce profil règne sur le tronçon allant depuis l'origine jusqu'au PK 8+000.

En effet, ce tronçon de route est affecté par une série de dégradation importante au niveau de la chaussée.

Notre étude est dans le but de proposer une solution de renforcement adéquate mettre fin aux dégradations relevées.

Pour cela le document est structuré comme suit :

Chapitre I : Généralités sur les routes et ses dégradations

Chapitre II : Entretien et auscultation des chaussées

Chapitre III : Etude du trafic

Chapitre IV : Géotechnique routière

Chapitre V : Données du projet d'étude -Chaussée dégradée-

Chapitre VI : Renforcement de la chaussée



CHAPITRE I

**Généralités sur les routes
et ses dégradations**

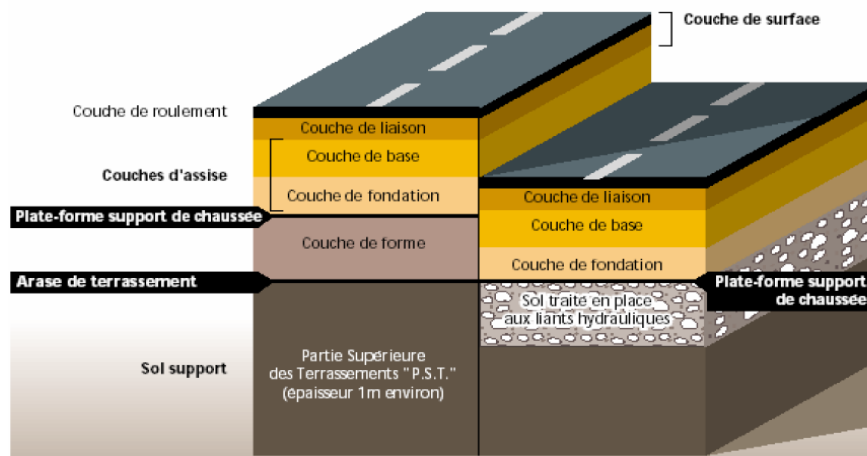
I.1. INTRODUCTION :

Les infrastructures de transport, et en particulier les routes, doivent présenter une efficacité économique et sociale. A travers des avantages et des coûts sociaux des aménagements réalisés, elles sont le principal vecteur de communication et d'échange entre les populations et jouent un rôle essentiel dans l'intégration des activités économiques à la vie social.

Une route est une voie de communication terrestre. C'est un endroit aménagé ou construit pour la circulation des véhicules automobiles à deux ou plusieurs roues, des piétons. Généralement de nos jours, les routes sont artificielles, c'est-à-dire construites par l'homme. Les routes naturelles, comme les chemins de terre, se font en effet de plus en plus rares. Pourtant les routes (naturelles ou non) existent depuis longtemps, puisqu'elles ont toujours été empruntées pour le transport et le commerce. La route est un moyen de relier les installations des autres voies de communication (port maritime ou fluviales, gare, aéroport) avec n'importe quels points du territoire

I.2. CARACTERISTIQUES DE LA ROUTE :

La route est l'ensemble formé par : le sol support ou terrain, le terre-plein central, les accotements ou trottoirs et les ouvrages routiers et essentiellement par la chaussée comme sur la figure I.1 suivante :



FigI.1. Différentes couches constituant la structure de la chaussée.

I.2.1. LE SOL SUPPORT :

Il s'agit du support sur lequel la route et ses dépendances sont construites. Il peut demeurer dans son état naturel ou être amélioré avant construction de la route.

I.2.2. FAUT-IL UNE COUCHE DE FORME?

On peut rencontrer dans un même projet des sols de caractéristiques très variables. Afin d'améliorer et d'uniformiser la portance du sol, on est amené à interposer, entre le sol support et les couches de chaussée, un élément de transition qui peut être constitué soit de matériaux grenus roulés ou concassés, soit de matériaux traités aux liants hydrauliques. Il est appelé couche de forme.

I.2.3. POURQUOI LA COUCHE DE SURFACE?

La couche de base est recouverte par une couche de surface pour:

a) Résister aux efforts horizontaux des pneumatiques

En effet, les pneumatiques exercent sur la chaussée des efforts horizontaux résultant de :

- La transmission de l'effort moteur (accélération),
- La mise en rotation des roues non motrices,
- La transmission de l'effort de freinage.

b) S'opposer à la pénétration de l'eau

Il est important d'empêcher l'eau de pénétrer dans les couches de la chaussée. Les conséquences sont connues :

- Elle délite les granulats,
- Elle ramollit les sols fins, faisant chuter leur portance.

I.2.4. LA CHAUSSEE :

La chaussée est la partie d'une [voie de communication](#) affectée à la circulation des véhicules. Au [Moyen Âge](#), les routes importantes étaient recouvertes de cailloux et pierre liés à la [chaux](#), terme qui a donné le mot chaussée.

Elle assure les déplacements des usagers et le transport des marchandises, quelles que soient les conditions météorologiques, dans des conditions de sécurité et de confort adapté au type d'itinéraire.

D'un point de vue mécanique, son rôle est de répartir les charges mécaniques sur le sol support, quelles que soient les conditions environnantes.

✓ CHAUSSEE PAVEE :

Dans les villes, la chaussée peut être recouverte de [pavés](#) en pierre, généralement du [granit](#). Celle-ci est parfois recouverte d'enrobé bitumineux.

CHAUSSEE BITUMEE :

Les chaussées bitumées sont réalisées en plusieurs couches :

- la couche de roulement est généralement constituée de béton bitumineux, mais pour les faibles trafics, on se contente quelquefois d'un enduit superficiel à base de bitume en émulsion ou fluidifié par un solvant
- la couche de base et la couche de fondation qui assurent la diffusion des efforts sont souvent constituées de graves traitées avec des liants hydrauliques (ciment, laitier, cendre volante) ou bitumineux.

L'ensemble repose sur le sol par l'intermédiaire d'une couche de forme dont l'épaisseur peut être importante si la portance du terrain est faible. Pour économiser des matériaux, on la remplace parfois par un traitement du sol en place au ciment et/ou à la chaux, si sa nature s'y prête (limon, argile, craie). On peut parfois ajouter aussi un géotextile (feutre anti contaminant tissé ou non tissé).

En cas de trafic important, on interpose parfois une couche de liaison entre la couche de roulement et la couche de base pour faciliter la reprise des efforts superficiels (horizontaux). La plupart du temps, les couches sont collées les unes avec les autres afin d'obtenir une meilleure transmission des efforts horizontaux. Le collage se fait au moyen de bitume pur ou d'émulsion. Des catalogues de chaussées types ont été constitués pour faciliter le travail des concepteurs. Ils prennent en compte les différents matériaux disponibles, et le trafic routier prévisible. C'est uniquement le trafic des poids lourds qui détermine les épaisseurs des couches de base et fondation.

Les [autoroutes](#) qui supportent de forts trafics lourds sont quelquefois constituées de dalles en béton armé (les couches de roulement et de base sont confondues en une seule). Cette technique présente une plus grande longévité et une moindre sensibilité à l'orniérage, mais elle est plus onéreuse à sa création et difficile à mettre en œuvre en raison du délai de prise du ciment. De plus la surface du béton ne permet pas la circulation sans traitement de surface (trilage ou pose

d'un revêtement bitumineux). La jonction entre les dalles nécessite une attention particulière pour éviter leur décalage, source d'inconfort et de dégradation prématurée (battage).

Pendant des décennies, les constructeurs de chaussées se sont efforcés, comme Macadam, d'empêcher l'eau de pénétrer à l'intérieur des chaussées. Cependant de nouvelles techniques apparaissent :

- les enrobés drainants éliminent le film d'eau qui se forme en surface et diminuent ainsi les projections et le risque d'aquaplanage
- les chaussées réservoirs permettent de limiter ou ralentir le ruissellement et participent donc à la prévention des inondations.

La formulation de ces nouveaux matériaux est délicate car leur plus grande porosité entraîne une résistance mécanique plus faible, des risques de colmatage et une plus grande sensibilité au gel. Par ailleurs, elle nécessite des bitumes et des granulats particulièrement adaptés pour obtenir une très bonne tenue à l'eau.

En [France](#), la direction générale des routes (ministère des Transports) déconseille les BBDr (bétons bitumineux drainants) dans les régions situées à l'est de Paris car elles sont très difficilement exploitables en hiver.

LES CHAUSSEES SOUPLES :

C'est une structure de chaussée dans laquelle l'ensemble des couches liées qui la constituent sont traitées aux liants hydrocarbonés.

La couche de fondation et /ou la couche de base peuvent être constituées de gawe non traitée.

Dans le cas d'une chaussée neuve à faible trafic, la structure type est illustrée sur la fige I.2.

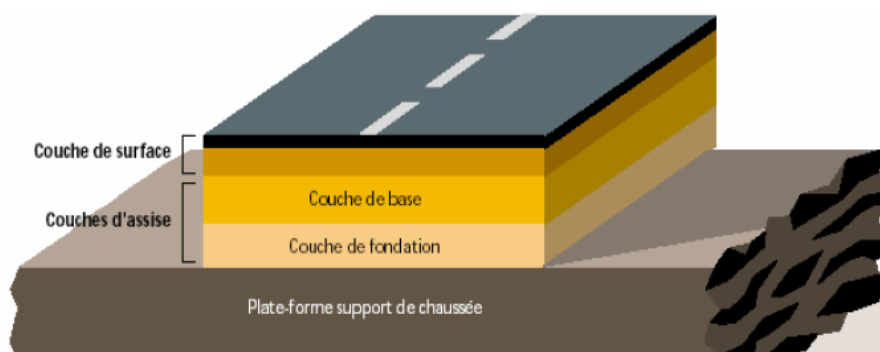


Fig.I.2. structure type d'une chaussée souple.

✓ LES CHAUSSEES SEMI-RIGIDES :

Elles comportent une couche de surface bitumineuse reposant sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques disposés en une couche (base) ou deux couches (base et fondation). Dans le cas d'une chaussée neuve à faible trafic, la structure-type est illustrée sur la figure I.3.

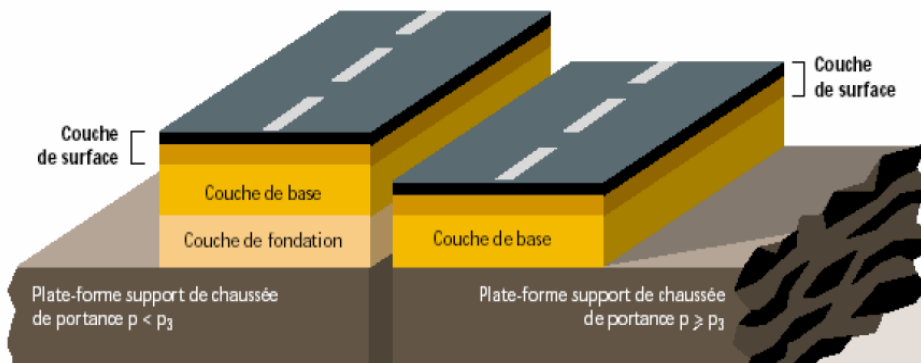


Fig.I.3.structure type d'une chaussée semi-rigide.

✓ LES CHAUSSEES RIGIDES :

Une chaussée rigide est constituée d'un revêtement en béton de ciment pervibré ou fluide. En règle générale, une chaussée en béton comporte, à partir du sol support, les couches suivantes (figure I.4):

- Une couche de forme,
- Une couche de [fondation](#),
- Une couche de roulement en béton de ciment.

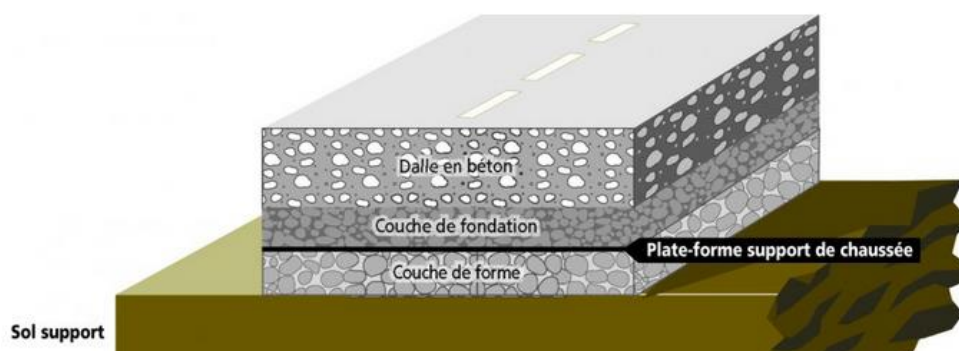


Fig.I.4.structure type d'une chaussée rigide à trafic > 50 PL/j/sens.

Dans le cas d'une chaussée neuve à faible trafic (trafic ≤ 50 PL/j/sens), la couche de fondation n'est pas nécessaire. La dalle en Béton de Ciment peut ainsi être réalisée directement sur l'arase terrassement (avec une couche de réglage éventuelle) ou sur la plate-forme support de chaussée (figure I.5).

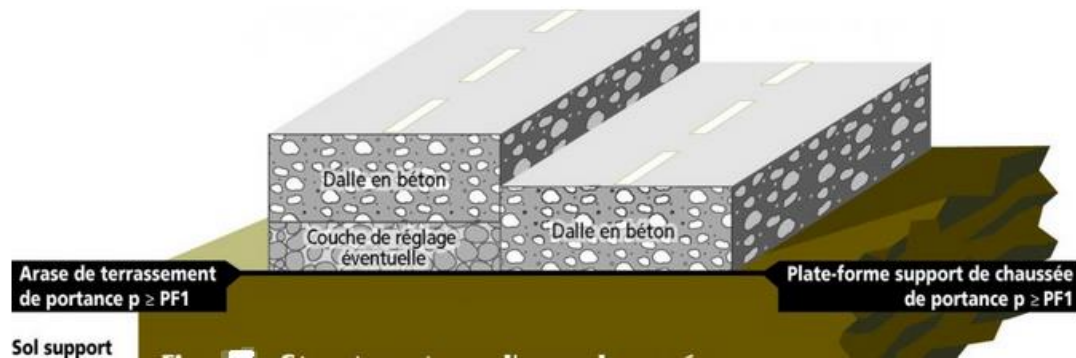


Fig.I.5.structure type d'une chaussée rigide à trafic ≤ 50 PL/j/sens.

I.3. DEGRADATION DES ROUTES

Le dictionnaire de Microsoft Encarta 2008 définit la dégradation comme étant le délabrement qui résulte du manque de soin ou de l'action du temps.

La dégradation d'une route est donc la détérioration, l'aviilissement de cette dernière sous l'effet de certains facteurs.

Les dégradations des chaussées revêtues se répartissent en deux catégories :

- les dégradations de type A ;
 - les dégradations de type B.
- ✓ **Les dégradations de type A :** Elles caractérisent un état structurel de la chaussée, soit lié à l'ensemble des couches et du sol, soit seulement lié à la couche de surface. Ce sont des dégradations issues d'une insuffisance de capacité structurelle de la chaussée qui interviennent dans la recherche de la solution en association avec d'autres critères et notamment la portance caractérisée par la déflexion statique. Ces dégradations sont au nombre de trois : - la déformation; - la fissuration (de fatigue); - le faïençage.
 - ✓ **Les dégradations de type B :** Elles ne concernent normalement que la superficie. Ces dégradations engendrent des réparations qui généralement ne sont pas liées à la capacité structurelle de la chaussée. Leur origine est soit un défaut de mise en œuvre, soit un

défaut de qualité d'un produit, soit une condition locale particulière que le trafic peut accentuer bien évidemment. Dans les dégradations de type B on distingue:

- la fissuration, hors fissures de fatigue: c'est les fissures longitudinales de joint, les fissures transversales de retrait thermique;
- le nid-de-poule ;
- les arrachements et de manière générale tous les défauts du revêtement de type ressuage, plumage, etc..... ;
- le retrait thermique des matériaux bitumineux;
- le retrait argileux des couches de chaussées.

Ces dégradations généralement classées en cinq (5) grands groupes (ou familles) :

1.3.1. LES DEFORMATIONS

Les déformations sont des dépressions ou ondulations de la route qui prennent généralement naissance dans le corps de la chaussée ou dans le sol support et qui se manifestent sur la couche de roulement. On les différencie suivant leur forme et leur localisation.

Dans ce type de dégradation, on distingue : les affaissements, les flaches, les bourrelets, les ornières et plus rarement les tôles ondulées.

- a- Les affaissements :** dépressions très prononcées et souvent assez étendues localisées en rive ou en pleine largeur de la chaussée transversalement ou longitudinalement. **Causes :** sous dimensionnement du corps de chaussée; tassements différentiels; construction défectueuse; drainage insuffisant, chaussée non buttée en rive. **Remèdes :** tapis en enrobés ou enduit superficiel; réfection localisée; drainage de la chaussée.
- b- Les flaches :** dépressions localisées de forme arrondie de la chaussée. **Causes :** insuffisance en un point du corps de chaussée ou du sol support; stabilité insuffisante du revêtement. **Remèdes :** déflachage ou réfection localisée suivant la profondeur de l'affaissement.
- c- les bourrelets :** renflements de la surface de la chaussée suivie d'ornières. **Causes :** sous dimensionnement du corps de chaussée; compactage insuffisant; stabilité insuffisante du revêtement ; perte de portance des couches sous- jacentes du revêtement. **Remèdes :** déflachage ou réfection localisée suivant la profondeur de l'affaissement.
- d- Les ornières :** affaissements localisés apparaissant sous passage des véhicules affectant la couche de roulement ou le corps de chaussée. **Causes :** sous dimensionnement du

corps de chaussée; compactage insuffisant; stabilité insuffisante du revêtement; perte de portance des couches sous- jacentes du revêtement. **Remèdes** : déflachage ou réparation localisée suivant la profondeur de l'affaissement.



Fig. I.6 : Ornières

- e- **Les tôles ondulées** : suite d'ondulation de faible longueur d'onde perpendiculaire à l'axe de la chaussée. **Causes** : défaut de profilage de la couche de base ; manque des stabilités des enrobés; action mécanique due au trafic. **Remèdes** : enduit superficiel ou tapis en enrobés.



Fig. I.7 : Tôle ondulée

I.3.2. LES FISSURATIONS

Les fissurations sont des fentes de degré plus ou moins important de la route qui affectent la couche de roulement et même tout ou une partie du corps de la chaussée. On rencontre généralement :

- a- **Fissures** : petites cassures du revêtement avec ou sans rupture du corps de chaussée longitudinalement ou transversalement à l'axe de la chaussée. **Causes** : retrait; vieillissement; mauvaise mise en œuvre; mauvaise qualité des matériaux; Épaisseur insuffisante de la chaussée. **Remèdes** : colmatage des fissures en surface; réparation localisée si le corps de chaussée est atteint; tapis en enrobés ou enduit superficiel.



Fig.I.8 : Fissurations

- b- Faïençages** : mailles de fissures au niveau de la surface déroulement. *Causes* : fatigue du revêtement; sous dimensionnement et mauvaise mise en œuvre. *Remèdes* : réfection localisée, tapis en enrobés ou enduit superficiel.



Fig.I.9: Faïençage

- c- Épaufures** : cassures des bords de la chaussée. *Causes* : érosion; mauvais drainage de l'eau; compactage insuffisant sur les rives; largeur insuffisante. *Remèdes* : réfection localisée; drainage de la chaussée.

1.3.3. LES ARRACHEMENTS

Ce sont des phénomènes de rupture d'adhésion entre éléments ou parties de la route suivis généralement de leur disparition. Ce type de dégradation n'affecte que la couche de roulement au début de son apparition, mais peut s'aggraver en affectant les couches sous-jacentes au revêtement. Il se caractérise par le décollement, le dé enrobage, le plumage, le peignage, la pelade et le nid-de-poule.

- a- Décollement** : rupture d'adhésion entre le revêtement et la couche de base. **Causes** : mauvaise mise en œuvre de la couche d'accrochage ; dés enrobage; phénomène de retrait-gonflement des matériaux de la couche de base. **Remèdes** : réparation localisée ou tapis en enrobé ou enduit superficiel.
- b- Dé enrobage** : disparition du liant enveloppant les granulats du revêtement Mauvaise qualité des enrobés; **Causes** : mauvaise adhésivité liant- granulats; mise en œuvre par conditions atmosphériques défavorables. **Remèdes** : réparation localisée ou tapis en enrobé ou enduit superficiel.
- c- Plumage** : arrachement des gravillons du liant. **Causes** : conditions d'exécution défectueuses; ouverture précoce du chantier à la circulation; insuffisance du liant. **Remèdes** : réparation localisée ou tapis en enrobé ou enduit superficiel.



Fig.I.10 : Plumage

- d- Peignage** : arrachement des gravillons du revêtement suivant des lignes parallèles à l'axe de chaussée. **Causes** : conditions d'exécution défectueuses; ouverture précoce du chantier à la circulation; insuffisance. **Remèdes** : réparation localisée ou tapis en enrobé ou enduit superficiel.
- e- Pelade** : décollement du revêtement par plaques plus ou moins grandes. **Causes** : mauvaise mise en œuvre de la couche d'accrochage. **Remèdes** : réparation localisée ou tapis en enrobé ou enduit superficiel.
- f- Nid-de-poule** : cavités arrondies à bords francs apparaissant sur le revêtement par arrachement de matériaux. **Causes** : défaut localisé de la couche de surface ou de base; défaut de portance; évolution finale des fissurations et déformations. **Remèdes** : réparation locale.



Fig.I.11 : Nids de poule

1.3.4. LES REMONTEES DE MATERIAUX

Les remontées de matériaux sont l'apparition de matériaux ou d'eau à la surface du revêtement en l'affectant ; ce phénomène peut soit provenir des couches inférieures, soit se manifester à partir même de la couche de roulement (cas du ressuage). On pourra citer au nombre de ces désordres, les remontées d'eau ou de boue, le ressuage (séparation d'une phase liquide au cours du chauffage d'un alliage) et les boursouflures.

- a- Remontées d'eau ou de boue** : apparition à la surface du revêtement devenues d'eau ou fines ou de boue sous l'effet du trafic à travers les défauts du revêtement. **Causes** : mauvais drainage; fondation en sol argileux. **Remèdes** : drainage de la chaussée.
- b- Ressuage** : remontée du liant à la surface de la couche de roulement. **Causes** : mauvaise formation du liant; mauvaise mise en œuvre; température ambiante trop élevée pour la viscosité du liant. **Remèdes** : sablage ou réfection localisée.



Fig. 1.12 : Ressuage

- c- Boursouflures** : surhaussement du revêtement avec fissures et décollement de la couche de surface. *Causes* : fondation en argile gonflante ou de nappes salines qui se gonflent lorsque la teneur en eau est élevée. *Remèdes* : drainage d'une réfection localisée a chaussée.

I.3.5. LES USURES DE LA COUCHE DE ROULEMENT

En dehors des dégradations dues au vieillissement et à la fatigue du corps de chaussée qui affectent le revêtement, il existe même l'usure de cette couche de roulement par frottement caractérisée par une perte de matériaux. On distingue le glaçage (lissage), les têtes de chat et l'usure de la signalisation horizontale (lorsqu'elle existe).

- a- Glaçage** : usure du revêtement par arasement progressif des gravillons sans arrachement de ces derniers. *Causes* : défaut de profilage de la couche de base; manque de stabilité des enrobés; action mécanique due au trafic. *Remèdes* : réalisation d'enduit superficiel ou d'un tapis en enrobés.
- b- Têtes de chat** : usure partielle des matériaux du revêtement sans arrachement. *Causes* : revêtement sur corps constitué de tout venant à granulométrie discontinue et granularité élevée. *Remèdes* : réalisation d'enduit superficiel ou d'un tapis en enrobés.
- c- l'usure de la signalisation horizontale** : effacement partiel ou total du marquage de la chaussée. *Causes* : effet du trafic; intempéries; mauvaise qualité de la peinture; mauvaise mise en œuvre. *Remèdes* : nouveau marquage.

I.4. LES PRINCIPALES CAUSES DE DEGRADATIONS DES CHAUSSEES REVETUES

I.4. 1. LE TRAFIC : L'usure de la couche de roulement est la conséquence directe des efforts de cisaillement qui se manifestent au contact des pneumatiques et dont la résultante équilibre les forces de traction .Elle entraîne essentiellement des pertes de matériaux, le polissage des granulats, la diminution de la rugosité etc. Elle est proportionnelle au trafic, elle est également fonction de la croissance des véhicules et se trouve aggravée par la présence des poids lourds.

La fatigue des couches inférieures au contraire résulte des efforts verticaux de transmission des charges à la couche de fondation .La répétition des contacts inter granulaires entraîne des effets d'attrition, la production de fines, et l'augmentation de la plasticité de la chaussée. Celle-ci devenant moins rigide, les déformations sous charges augmentent, deviennent irréversibles, et il en résulte une destruction plus ou moins rapide de la couche de roulement.

Ces phénomènes de fatigue sont fonction non seulement du nombre de répétition des charges, mais aussi et surtout du poids des essieux. La limitation des charges revêt donc, d'une sage exploitation de la route, une importance essentielle.

I.4.2. LES CONDITIONS CLIMATIQUES

Le paramètre le plus nuisible sur le corps de chaussée est la présence de l'eau. L'eau s'infiltré dans le corps de chaussée soit: -par infiltration; -par remontées capillaires.

En effet, nous savons que la teneur en eau d'un sol, si elle est trop élevée peut provoquer des désordres importants en modifiant la portance ou en aggravant l'attrition de certains matériaux comme les argiles contenues dans la latérite.

Les matériaux traités avec les liants hydrocarbonés sont particulièrement sensibles au phénomène de dés enrobage. En effet l'eau peut s'interposer entre les granulats et le liant lorsque la qualité du collage entre ces corps n'est pas suffisante.

Quand les accotements ne sont pas protégés, des ravinements sont très probables par l'effet du ruissellement. Ils se manifestent sur les bords de la chaussée, perpendiculaires à son axe, lorsque la pente traversée est trop forte

I.4.3. LA QUALITE DES MATERIAUX

a-1 LES GRANULATS

Les granulats traités aux liants hydrocarbonés doivent remplir les qualités suivantes:

- Une bonne résistance mécanique : elle est caractérisée avec les essais de LOSANGELES (résistance aux chocs) et MICRO DEVAL en présence d'eau (résistance à l'attrition). Les exigences sur résultats sont fonction du trafic de poids lourds.
- Une résistance au polissage: il s'agit d'une contrainte propre aux couches de roulement. Il faut être particulièrement vigilant sur le coefficient de polissage accéléré (CPA) des gravillons qui entrent dans la construction des matériaux.
- L'adhésivité: les matériaux traités avec les liants hydrocarbonés sont particulièrement sensibles aux phénomènes de dés enrobage. En effet l'eau peut s'interposer entre les granulats et le liant lorsque la qualité du collage entre ces corps n'est pas suffisante. Il arrive que certains matériaux présentent avec le bitume une adhésivité très moyenne, parfois médiocre. Le moyen

le plus couramment utilisé pour résoudre ce problème consiste à remplacer la fraction sable de ces matériaux par du sable ayant une bonne adhésivité au bitume.

b- LES LIANTS

Le liant comme son nom l'indique, est la colle qui va assurer la continuité du revêtement, sa fixation au support et la liaison entre les gravillons qui doivent solidement accrochées entre eux. Le problème d'emploi du liant hydrocarboné est d'arriver à mettre sur la chaussée un liant suffisamment dur pour qu'il puisse ternir durablement les gravillons; or il est difficile de mettre en œuvre un liant dur. Ainsi pour convenir à l'usage routier, le liant hydrocarboné doit présenter certaines propriétés et en particulier:

- Résistance aux sollicitations sans se fissurer et sans entraîner la rupture au sein des couches. Le couple liant-granulats doit avoir donc une bonne cohésion et cette propriété dépend étroitement de celle du liant ;
- Susceptibilité thermique ;
- Adhésivité: pour pouvoir parler d'adhésivité il faut avant qu'il y est contact entre le liant et granulats ce qui suppose un bon mouillage ne peut se produire que si la fluidité du liant est suffisante ;
- Vieillessement: Sous l'influence de l'oxygène de l'air en particulier, les caractéristiques d'origine du liant hydrocarboné se modifie plus ou moins au cours du temps. D'une façon générale, ceci se traduit par un durcissement et une diminution de la susceptibilité thermique.

c- LA MISE EN ŒUVRE

Même si la qualité du liant et des granulats est excellente, le dimensionnement bien fait, une mauvaise réalisation au cours de la mise en œuvre, de la manutention ou de la consolidation pourra se traduire par un ouvrage fini d'une qualité médiocre. Ainsi, une bonne opération de mise en œuvre devra permettre : d'assurer une bonne adhérence entre couches; de produire des couches homogènes et compactes ; d'offrir une surface régulière et uniforme.

II. DEGRADATIONS EN MILIEU URBAIN

II.1.1. Fissuration autour des regards et des puisards

Elle est décrite par la rupture du revêtement suivant un tracé circulaire et/ou radial

A- Gravité et étendue

- **Faible** : Fissures simples et intermittentes dont les ouvertures sont inférieures à 5 mm. Les bords sont en général francs et bien définis.
 - **Moyen** : Fissures simples ou fissures multiples le long d'une fissure principale, celle-ci étant ouverte de 5 à 20 mm. Les bords sont parfois érodés et un peu affaissés. Sans être inconfortable, la fissure est perceptible par l'utilisateur.
 - **Majeur** : Fissures simples ou fissures multiples le long d'une fissure principale, celle-ci étant ouverte de plus de 20 mm. Les bords sont souvent érodés et il y a affaissement ou soulèvement au gel au voisinage de la fissure. Le confort au roulement est diminué par les déformations de surface.
 - **Etendue** : nombre totale de regards ou de puisards par section du relevé et par niveau de sévérité.
- B- **Causes probables** : Ces fissurations sont produites par la consolidation ou tassement de la chaussée, les cycles de gel et de dégel, la désagrégation de la cheminée par la saumure, les impacts dynamiques, la perte de matériaux autour de la structure.

II.1.2. Coupe et tranchée

C'est une Fissuration ou un affaissement dans la tranchée ou dans son voisinage.

A- Gravité et étendue

- **Faible**: il correspond à une dénivellation inférieure à 20 mm et/ou fissure simple dont l'ouverture est inférieure à 5 mm et dont les bords sont en général francs et bien définis.
- **Moyen** : c'est une dénivellation de 20 à 40 mm et/ou fissure simple ou fissures multiples le long d'une fissure principale, celle-ci étant ouverte de 5 à 20 mm. Les bords sont parfois érodés et un peu affaissés.
- **Majeur** : à ce niveau la dénivellation est de plus de 40 mm et/ou fissures simples ou fissures multiples le long d'une fissure principale, celle-ci étant ouverte de plus de 20 mm. Les bords sont souvent érodés.
- **Etendue**: superficie touchée sur la section du relevé

B- Causes probables : **Les causes possibles sont:**

- ✓ Le Compactage insuffisant des matériaux de remblayage de la tranchée.
- ✓ L'hétérogénéité des matériaux de tranchées et celles des chaussées existantes.
- ✓ Le relâchement des contraintes produit par une perte de support latéral dans la tranchée.
- ✓ Le remblayage incomplet sous les bords du revêtement.
- ✓ Le manque d'étanchéité du joint de coupe.

II.1.3. Dénivellation des regards et des puisards

C'est une Inégalité entre la surface du revêtement et le dessus d'un puisard ou d'un regard

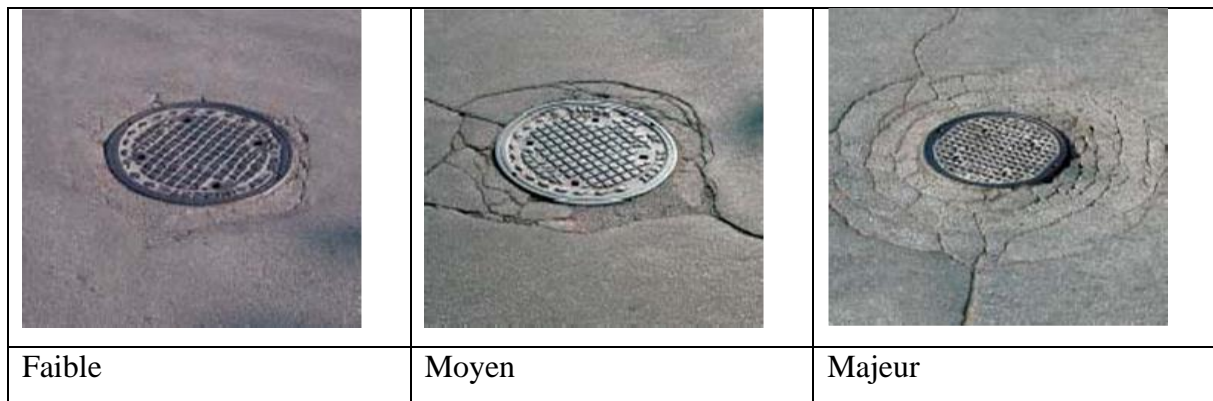
A- Gravité et étendue

- **Faible** : il est défini par une dénivellation de moins de 20 mm.
- **Moyen** : on observe dans ce cas une dénivellation de 20 à 40 mm.
- **Majeur**: ici la dénivellation est de plus de 40 mm.
- **Étendue**: nombre totale de regards ou de puisards par section du relevé et par niveau de sévérité.

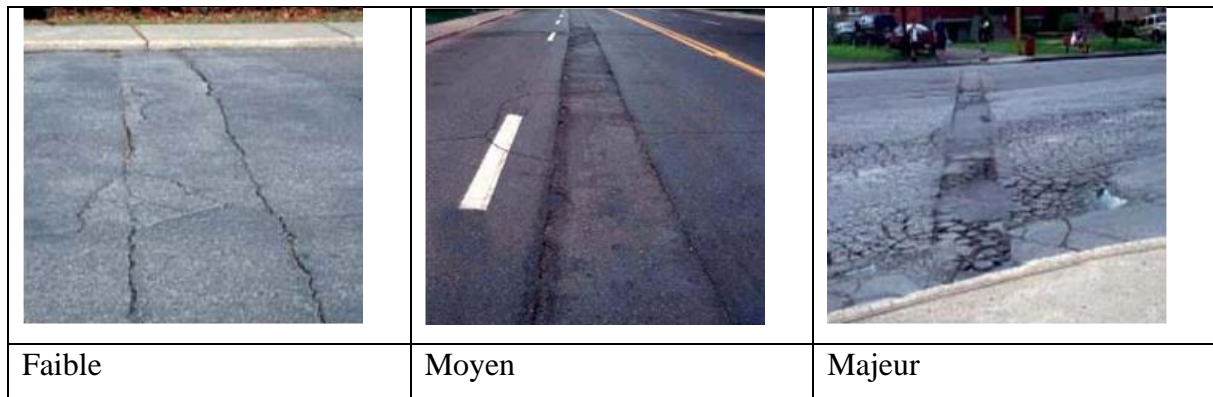
B- Causes probables : **Les causes les plus probables sont les suivants.**

- ✓ Consolidation ou tassement de la chaussée.
- ✓ Cycles de gel et de dégel engendrant des déformations permanentes.
- ✓ Désagrégation de la cheminée en présence de saumure.
- ✓ Impacts dynamiques cumulant des déformations permanentes.
- ✓ Perte de matériaux autour de la structure.

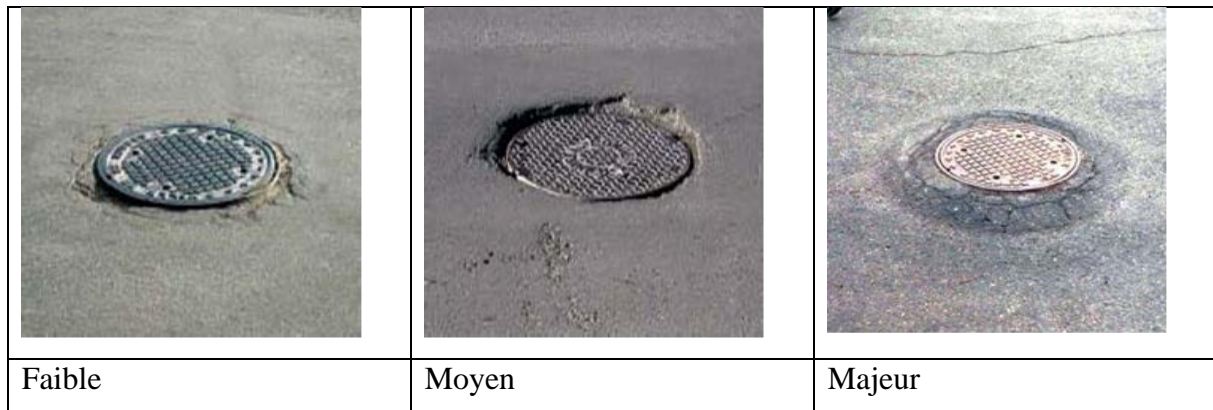
Les schémas ci-dessous illustrent ces types de dégradation.



a. Fissurations autour des regards



b. Coupe et tranchée



c. Dénivellation des regards

Figure I.13: Dégradations en milieu urbain (d'après AIMQ 2002)

III. CONCLUSION

Ce chapitre présente en détail la structure de la chaussée des routes et ces différents types. Il présente aussi les types des dégradations, leurs causes et solutions proposées.



CHAPITRE II

Auscultation et Entretien des chaussées

II.1. INTRODUCTION :

Le secteur routier occupe une place importante dans les échanges entre les populations des pays en voie de développement. Mais les routes connaissent des problèmes pendant leur période de service. Alors intervient l'Entretien routier pour les corrections des dégradations observées. Selon la norme AIPCR, l'entretien routier est l'ensemble des actions à réaliser sur les routes afin que leur état demeure satisfaisant et pour qu'elles offrent une sécurité suffisante à des vitesses appropriées et à faible coût pour les usagers.

II.2. L'ENTRETIEN ROUTIER ET SES TECHNIQUES:

II.2.1. L'ENTRETIEN ROUTIER:

On distingue deux types fondamentaux :

- a- **L'entretien préventif** : ensemble des tâches entreprises pour prévenir les dégradations pouvant apparaître sur la route et ses dépendances.
- b- **L'entretien curatif** : ensemble des opérations à réaliser pour corriger les défauts apparents sur la route et ses dépendances.

Ces deux types d'entretien se déclinent en deux catégories qui sont :

- **L'entretien courant** : Il s'agit des travaux partiels de remise en état de sections de routes présentant, d'une année à l'autre, des dégradations pouvant être dues à des accidents ou à des faiblesses localisées de la structure ne mettant pas en péril l'ouvrage global. Il doit être réalisé régulièrement (tous les ans).
- **L'entretien périodique** : La notion d'entretien périodique implique, le vieillissement des routes, les dégradations suffisamment fréquentes et répétées. Si ces dégradations ne sont pas reprises d'une façon globale elles entraîneront la destruction de l'ouvrage. Un entretien périodique comme son nom l'indique se réalise suivant une périodicité dont la valeur n'est pas forcément constante. Seules des inspections systématiques pourront permettre d'en déterminer l'opportunité.

II.2.2. REALISATION DE L'ENTRETIEN ROUTIER :

➤ **Méthodes de collecte et d'identification des dégradations :**

- La restitution des données relevées sur le terrain
- L'appréciation de la gravité et l'étendue des dégradations et, une mauvaise manière de quantifier les dégradations entraîne un mauvais entretien.

Plusieurs systèmes de relevés existent et sont le plus souvent effectués. On distingue :

➤ **Méthodologie VIZIR assistée par ordinateur**

La méthode VIZIR émane de l'expérience des ingénieurs des Laboratoires des Ponts et Chaussées des années quatre-vingt (80) apportant leur concours aux bureaux d'études français qui travaillaient principalement à l'étranger. C'est dans ce sens que la méthode a été expérimentée pour la première fois dans les continents Asiatique et Africain. Elle se base sur l'hypothèse suivante:

L'état de surface de la chaussée est un paramètre indispensable pour l'évaluation de la qualité de la chaussée, parfois il représente l'élément principal d'identification voire même le seul.

En effet, d'après l'expérience de ces ingénieurs, l'état de surface traduit fidèlement la qualité de la route dans 60% des cas, dans d'autres cas elle n'est qu'un élément d'un diagnostic plus complexe qui fait intervenir d'autres critères.

VIZIR est au bout de la chaîne une méthode scientifique de détermination des besoins d'entretien et de remise en état des chaussées.

VIZIR a pour but de :

- Quantifier et classer les dégradations des routes;
- Fournir l'image de l'état du réseau de surface revêtue à un instant donné;
- Identifier les zones d'équi-qualité classifiées en trois (3) niveaux de dégradations;
- Évaluer la qualité des réseaux routiers

Le principe consiste à attribuer une note de qualité aux dégradations par association d'un indice de dégradation et de la classe de déflexion, à quantifier et à prendre des décisions concernant les dégradations.

Dans cette méthodologie, les diverses dégradations sont relevées et codifiées en fonction de leur gravité et de leur étendue.

Nous présentons ci – après l'essentiel de la méthode VIZIR

- **Anti-remontée de fissures et resurfaçage :** Les membranes bitumineuses servent à l'étanchéité des chaussées et à la diminution des fissures à travers le recouvrement en enrobés bitumineux. Une variété de membranes bitumineuses sont disponibles dans le marché dont certaines sont adjointes à des géotextiles ou à des fibres coupées. Elles sont appliquées généralement sur une chaussée existante dont la surface présente un léger niveau d'oxydation et de fissuration qui nécessite un renforcement structural. L'épandage de bitume polymère posé à chaud suivi d'une membrane géotextile de grande densité servira sur les routes à fort trafic avec des charges importantes. L'épandage d'une émulsion de bitume polymère suivi de fibres coupées ou encore d'une membrane géotextile de faible densité servira sur les chemins ou rues à trafic moyen. Quant à la membrane bitumineuse de faible densité elle servira d'étanchéité et de support aux techniques plus légères comme le traitement de surface et l'enrobé coulé à froid (ECF), et sera utilisée sur les routes ou chemins de gravier à faible trafic.
- **Décohésionnement :** Le décohésionnement est un procédé consistant à défaire l'enrobé bitumineux d'une chaussée et à le malaxer avec une épaisseur prédéterminée de matériaux provenant de la fondation granulaire sous-jacente. Ces matériaux ainsi mélangés sont alors compactés et agissent comme nouvelle fondation granulaire. Lorsque le décohésionnement est complété, il faut recouvrir ces matériaux d'un nouveau revêtement.

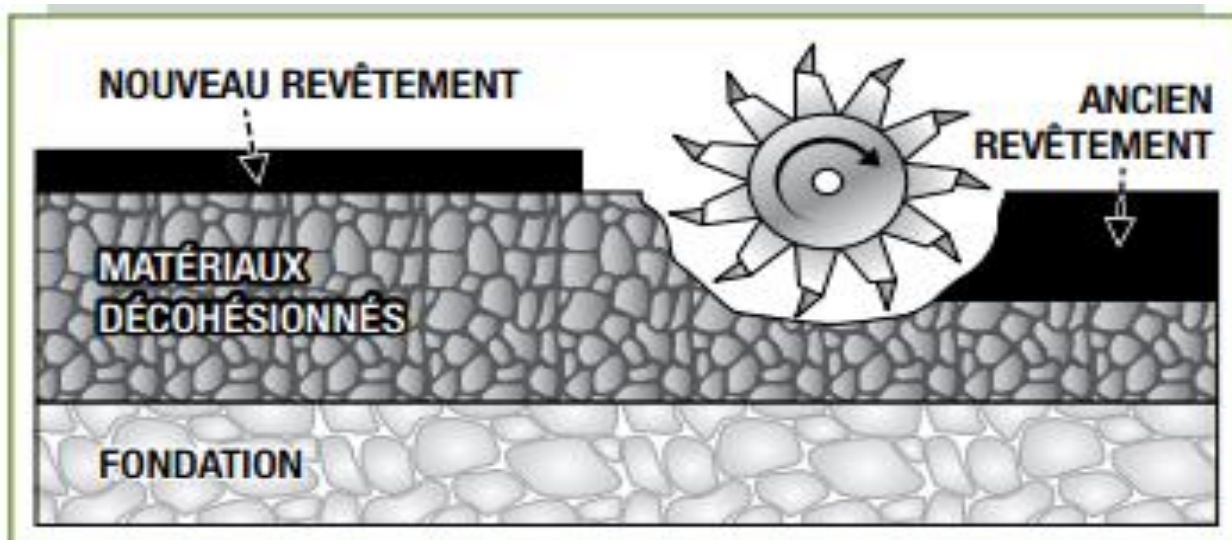


Fig.II.1. Décohesionnement

Méthodologie : La planification et la réalisation du décohesionnement s'effectuent en différentes étapes:

- débiter par une étude préliminaire ;
- ajouter un matériau de correction granulométrique, lorsque requis ;
- décohesionner et homogénéiser les matériaux ;
- réaliser le profil final et le compactage des matériaux.



Fig.II.2. chaussée décohésionnée.

Domaine d'application : Le décohésionnement s'applique dans tous les contextes de trafic routier que ce soit pour les autoroutes, les routes nationales, régionales, urbaines ou résidentielles.

Option N°1 : Décohésionnement

Le décohésionnement appliqué seul crée une nouvelle fondation granulaire. Il économise les ressources naturelles, les rebuts, le transport et les impacts sur le réseau routier.

Option N°2 : Décohésionnement et rechargement granulaire

Le décohésionnement accompagné du rechargement granulaire est généralement utilisé en milieu rural. Le rechargement granulaire est destiné à la fondation tandis que les matériaux décohésionnés deviennent la sous-fondation de la chaussée. L'augmentation d'épaisseur de la structure atténue le comportement gélif de la route.

Option N°3: Décohésionnement et stabilisation :

Lorsque le décohésionnement est accompagné de la stabilisation, il devient la première phase du retraitement de type II.

Caractéristiques et avantages : Le décohesionnement élimine la fissuration de la partie supérieure du revêtement et toute dégradation non structurale dont :

- le carrelage ;
- les nids-de-poule ;
- la pelade ;
- les ornières d'usure et de fluage.

Conditions : Les déficiences structurales et les soulèvements différentiels provoqués par le gel devront être évalués afin de garantir la performance de cette technique.

Durée de vie : La technique du décohesionnement est liée au choix de l'apport du revêtement. La conception doit être adaptée à la sollicitation du trafic afin de permettre une durée de vie de l'ordre de 7 à 12 ans.

- **Enrobés Coulés à Froid (ECF) :** L'enrobé coulé à froid (ECF) est un procédé mis au point au début des années 90 au Québec. De nos jours, l'ECF demeure le procédé de référence pour la réfection et la conservation de la chaussée. L'enrobé coulé à froid (ECF), aussi appelé microsurfacing (CAN et US), consiste en un procédé d'entretien de chaussée constitué de granulats concassés de haute performance, d'émulsion de bitume polymère et d'additifs. Comme son nom l'indique, ce mélange est coulé sur la chaussée permettant ainsi d'imperméabiliser le revêtement sur lequel il est appliqué tout en améliorant son adhérence. L'ECF, qui possède un aspect similaire à un enrobé conventionnel, permet aussi de corriger de légers défauts de surface tels que l'orniérage mineur, la porosité, l'esthétique tout comme le confort de roulement. Ce procédé de conservation de chaussée s'applique en couche mince entre 6 et 20 mm, il permet en milieu urbain d'éliminer tous les travaux d'ajustement des accessoires qui sont incontournables dans le cas de la pose d'un enrobé traditionnel. Le temps de prise d'un ECF est d'environ une heure, ce qui permet une reprise rapide de la circulation. La durée de vie de l'intervention est fonction de l'état de la chaussée, de l'épaisseur du traitement et de la densité du trafic.

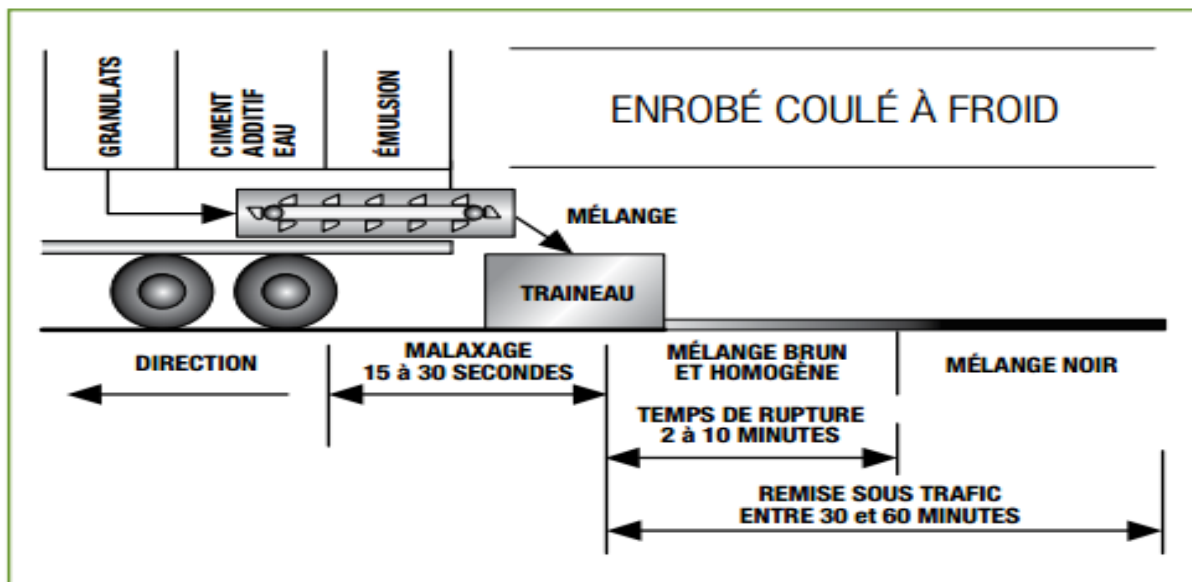


Fig.II.3. Enrobés Coulés à Froid (ECF)

Pourquoi l'utiliser ?

- Présente une solution de choix pour l'entretien préventif ;
- Prolonge la durée de vie utile des chaussées de 5 à 7 ans en ralentissant la dégradation de surface ;
- Scelle les fissures et les vides, et prévient la pelade ;
- Augmente l'adhérence et améliore la sensation de conduite agréable des usagers ;
- Favorise une meilleure planification à long terme de l'entretien ;
- Donne un aspect neuf à toutes les chaussées.

Le meilleur argument ?

Le coût de l'intervention de l'ECF présente un très bon rapport qualité / prix parmi les techniques d'entretien préventif. Pour un très bas coût, il est possible de prolonger jusqu'à sept ans la vie utile de la chaussée.

Domaine d'application : L'enrobé coulé à froid est utilisé principalement sur deux types de surface :

- Sur une Surface granulaire L'ECF est utilisé en couche de roulement avec l'application préalable d'une couche support. L'ECF protège la structure de la chaussée, imperméabilise la surface et élimine les soulèvements de poussière. Il est d'abord destiné à apporter une bonne adhérence et selon le cas à imperméabiliser le support.
- Sur une Surface revêtue L'ECF est utilisé pour sceller et protéger des intempéries la couche sous-jacente de matériaux. La bonne rugosité de la technique favorise l'adhérence et la résistance au patinage des véhicules. Ce type d'entretien préventif renforce et préserve l'intégrité de la chaussée. L'ECF s'inscrit donc parfaitement dans un programme d'optimisation réseau routier car il prolonge la vie utile de la route en retardant de plusieurs années la reconstruction.

Méthodologie sur une surface granulaire : Les travaux consistent à :

- Scarifier et mettre en forme la chaussée.
- Corriger le profil avec des matériaux d'ajout, si requis.
- Appliquer une couche support en traitement de surface simple.
- Appliquer une couche d'ECF avec un camion-usine spécialement conçu à cet effet.
- Cylindrer le nouveau revêtement, si requis.
- Répéter les deux étapes précédentes si l'ECF est multicouche.

Méthodologie sur une surface revêtue : Les travaux consistent à :

- Nettoyer la surface à revêtir par balayage ou lavage sous pression, si requis ;
- Sceller les fissures d'ouverture supérieure à 5 mm ;
- Effectuer les réparations ponctuelles (dépressions, trous) au besoin ;
- Corriger les ornières (de 8 à 20 mm) p a r remplissage avec des ECF, si requis ;

- Appliquer une première couche d'ECF de reprofilage ;

Caractéristiques et avantages :

- **Économique** : la faible épaisseur de l'ECF en fait une technique d'entretien des plus économiques sans nécessité de travaux connexes.
- **adhérent** : l'ECF renouvelle la rugosité et imperméabilise la chaussée.
- **rapide** : le procédé est très rapide d'exécution et peut être fait partout en région.
- **Écologique** : comme le procédé est réalisé à froid, il demande moins d'énergie lors de la fabrication. Lorsque l'ECF est directement réalisé sur une surface granulaire avec l'application préalable d'une couche support, il diminue les coûts d'entretien et élimine les projections de particules et les soulèvements de poussière. Le produit fini présente un aspect visuel similaire à un enrobé à chaud.

Éléments à considérer : Ce type d'intervention doit être évité lorsque la chaussée présente une capacité structurale déficiente et si le drainage de la fondation est insuffisant. La période d'application de l'ECF se situe de mai à septembre. La mise en œuvre nécessite des conditions météorologiques convenables :

- Température ambiante supérieure à 10°C et taux d'humidité inférieur à 80 %.
- Température de la surface à recouvrir supérieure à 5°C. Le support doit présenter un uni de surface adéquat. Les déformations telles que nids- de -poule ornières ou dépressions localisées doivent être préalablement corrigées avant d'appliquer le produit.

Durée de vie : L'ECF prolonge la vie utile d'une chaussée de 4 à 7 ans.

Cout : L'enrobé coulé à froid permet des économies pouvant aller jusqu'à 40 % comparativement à la pose d'un enrobé à chaud.

Formulation : La composition généralement utilisée est la suivante :

GRANULATS SECS	100 %
RÉGULATEUR	0,5 à 2 %
ÉMULSION	10 à 13 %

Pour que les résultats soient optimums, le dosage des constituants doit varier en fonction de la granulométrie et de la perméabilité du support. La teneur en eau d'apport varie selon celle des granulats. Pour un ECF utilisé comme recouvrement de surface revêtue, le taux de pose est

généralement entre 8 à 12 kg/m². Pour un ECF utilisé sur une nouvelle couche support en recouvrement d'une surface granulaire, le taux de pose devient de 16 à 18 kg/m².

Granulats : Les granulats utilisés doivent être conformes aux exigences de la norme NQ 2560-114. Les granulats doivent être conformes à la classe 1 pour les granulats fins et respecter le fuseau suivant :

TAMIS	% PASSANT
10 mm	100
5 mm	85 – 99
2,5 mm	50 – 70
630 µm	25 – 45
80 µm	5 – 11

Émulsion de bitume : Le liant utilisé dans le procédé se présente sous forme d'émulsion de bitume modifiée par des polymères. Il s'agit généralement d'émulsion à rupture lente et contrôlée. Le régulateur de rupture peut être composé de chaux hydratée ou de ciment. Un tensioactif en solution aqueuse peut aussi être utilisé selon les conditions climatiques.

Équipements : Les équipements conventionnels tels que la niveleuse, les compacteurs et le balai mécanisé servent surtout à la préparation des travaux, la compaction des matériaux et le nettoyage des surfaces. L'équipement spécialisé pour poser les enrobés coulés à froid est constitué d'une centrale mobile montée sur un châssis automoteur et équipée d'un traîneau extensible à largeur d'épandage variable.

Contrôle et assurance qualité : Les entrepreneurs spécialisés dans les enrobés coulés à froid doivent suivre un processus opérationnel certifié tel qu'un système de qualité répondant aux normes ISO 9001. Avant le début des travaux, il est essentiel de faire une formulation de mélange pour s'assurer de la bonne compatibilité des matériaux (émulsion de bitume et granulats) et pour déterminer le bon dosage de chacun des constituants. En chantier, les principaux contrôles portent sur :

- La vérification des taux de pose du mélange ;
- La vérification du dosage de chacun des constituants dans le mélange. Développements et références L'enrobé coulé à froid est une technique éprouvée depuis de nombreuses années partout au Canada. Au Québec, il est utilisé depuis les années 90.

- **Planage et couche d'usure :** La technique d'entretien la plus conventionnelle consiste à renouveler les caractéristiques de sécurité et de confort et de diminuer le bruit routier par planage de la couche de roulement existante et l'épandage d'une nouvelle couche d'enrobés. L'application d'une nouvelle couche d'enrobés de surface s'applique autant sur une chaussée rigide que sur une chaussée bitumineuse. Si le niveau de détérioration de la couche de roulement existante est trop élevé ou si le respect des seuils de confort devient un enjeu (milieu urbain), il convient de procéder préalablement à un planage (fraisage) de l'ancien enrobé. La technique d'entretien par planage et couche d'usure est la plus utilisée car elle est connue des concepteurs et est disponible partout au Québec. Un des avantages de cette technique est d'offrir un éventail de possibilités selon le niveau de dégradation de la chaussée, les profils longitudinaux et transversaux à corriger ainsi que les choix multiples d'épaisseur, de texture et de durabilité des enrobés (granulats et grade PG). Un épandage de quelques centimètres d'enrobés permettra un renforcement significatif de la structure de chaussée existante. De par son approche conventionnelle, cette technique est très bien encadrée, entre autres par les documents du ministère des Transports (voir devis type du MTQ) ou des grandes villes et municipalités. Il faut évaluer le niveau d'intervention selon l'état de dégradation de la chaussée et l'espérance de vie désirée par l'intervention.



Fig.II.4. Planage et couche d'usure

- **Retraitement de type I- recyclage à froid :** Le retraitement de type I représente une des interventions les plus écologiques. Ce procédé réhabilite la partie supérieure du revêtement bitumineux en utilisant les matériaux et les équipements en place. Le retraitement de type I – recyclage à froid réhabilite la partie supérieure du revêtement bitumineux par le recyclage à froid des matériaux en place ou à l'extérieur du chantier.

Cette technique consiste à traiter les matériaux planés ou concassés à l'aide d'un liant composite constitué d'un liant bitumineux et d'un liant hydraulique, tel que le ciment ou la chaux hydratée. L'intervention s'effectue sur une épaisseur de 75 à 150 mm. La couche d'enrobés recyclés devient alors une nouvelle couche de base de la chaussée et nécessite d'être recouverte d'un revêtement de surface.



Fig.II.5. Retraitement de type I- recyclage à froid

- **Retraitement de type II – décohésionnement/stabilisation :** Le retraitement de type II est un procédé de réhabilitation qui renforce une chaussée fortement dégradée. En utilisant les matériaux en place, cette intervention stabilise et homogénéise la couche de fondation. Le revêtement bitumineux en place est d'abord pulvérisé et réduit à la taille d'un granulats et malaxé simultanément avec une épaisseur prédéterminée de matériaux de la fondation granulaire sous-jacente. Ces matériaux ainsi mélangés sont alors stabilisés par l'incorporation d'un liant bitumineux et, si nécessaire, d'un liant hydraulique, tel que le ciment ou la chaux hydratée. Le retraitement de type II s'effectue sur une épaisseur de 100 à 300 mm et nécessite des opérations de profilage et de compactage.
- **Recyclons nos investissements !** L'industrie routière développe des techniques de retraitement qui réutilisent les matériaux existants d'une chaussée afin de leur redonner une nouvelle vie. Ces techniques, entièrement réalisées à froid, consistent en l'ajout d'un liant bitumineux et d'un liant hydraulique aux matériaux en place formant une nouvelle couche de base plus structurale. Celle-ci sera plus homogène et corrigera plusieurs types de base plus structurale. Celle-ci sera plus homogène et corrigera plusieurs types de dégradations routières telles que l'orniérage, la fissuration, les

décollements d'interfaces et, par le fait même, le profil. Cette couche retraitée sera complétée par une nouvelle couche de roulement.

- **Scellement de fissures :** Le scellement de fissures représente l'un des procédés les plus importants d'un programme d'entretien préventif. Ce procédé retarde les dégradations de la chaussée en prévenant l'infiltration de l'eau et des matériaux incompressibles dans les couches sous-jacentes de la chaussée. Le scellement de fissures a une durée de vie de trois à huit ans et est considéré comme un traitement permanent. Au Québec, la technique sans fraisage est celle la plus souvent utilisée. La première opération consiste à nettoyer et à sécher la fissure à l'aide d'un jet d'air comprimé et d'une lance thermo-pneumatique. Ensuite, il faut remplir la fissure d'un produit de scellement à chaud. Présentement, plusieurs produits sont disponibles sur le marché afin de répondre aux différents types des surfaces. Les produits les plus populaires sont ceux à base de bitume modifié aux polymères. Le scellement de fissures, lorsqu'il est effectué au bon moment et au bon endroit, préserve le confort et la sécurité des usagers et reporte les interventions plus coûteuses.



Fig.II.6. Scellement de fissures

- **Traitement de surface :** Le traitement de surface, parfois appelé enduit superficiel, est une technique d'entretien de surface des chaussées constituée de couches superposées d'émulsion de bitume et de granulats sélectionnés. Il peut être constitué d'une, deux ou trois couches. Chaque couche varie de 5 à 20 mm d'épaisseur selon l'état du support, le trafic et d'autres besoins particuliers. Le traitement de surface peut être mis sur une surface granulaire ou sur une surface revêtue. Il permet de créer une couche de roulement sur une surface donnée. Il protège et scelle la surface. Il redonne les

caractéristiques de surface d'une chaussée usée prolongeant ainsi sa durée de vie de plusieurs années. Il permet de protéger l'intégrité de la chaussée. Il existe des traitements de surface à haute performance, qui sont conçus pour durer plus longtemps pour des sollicitations de trafic plus élevé. Ils sont constitués de granulat de première qualité et d'émulsion aux polymères. Le traitement de surface offre une surface flexible et résistante. C'est une technique d'entretien économique et rapide d'exécution.



Fig.II.7. Traitement de surface

II.2.3. RECONSTRUCTION : Lorsque l'usure de la chaussée atteint un niveau de dégradation et de détérioration élevée, une reconstruction est à envisager.



Fig.II.8. Reconstruction

- **Techniques d'interventions palliatives :** Les techniques d'interventions palliatives permettent de redonner à la chaussée un niveau de service aux usagers sans traiter de façon permanente la réelle problématique de la chaussée existante. Elles permettent de repousser les investissements plus significatifs ou simplement d'accepter un compromis quand il semble non-viable économiquement de reconstruire la chaussée. Ces interventions sont rapides et impliquent une gêne minimale aux usagers.
- **Enrobés flexibles :** Lorsqu'une chaussée municipale présente un fort niveau de dégradations en lien avec sa faible capacité structurale et sa gélivité, la reconstruction est la seule solution permanente. De façon palliative, il est possible de recourir aux enrobés flexibles qui sont spécialement formulés pour recouvrir les supports dégradés et redonner à la chaussée un bon niveau de service. La flexibilité de ces enrobés permet de réduire fortement la remontée des dégradations du support et d'épouser les soulèvements et la fissuration associée. Le recouvrement se fait en deux couches dont une première de correction à une épaisseur moyenne de 25 mm, recouverte d'une couche de roulement uniforme de 50 mm. Cette intervention palliative permet de redonner une capacité structurale à la chaussée.
- **Planage fin sans revêtement :** Le planage fin, de l'anglais fine milling, s'effectue en retirant une mince couche d'enrobés du revêtement existant. Ce type d'intervention redonne un profil transversal sécuritaire à la chaussée et corrige le profil longitudinal. Étant donné la texture plus fine de ce type de planage versus celui régulier, il n'y a aucun besoin d'ajouter une couche d'enrobés au revêtement pour compléter ce type d'intervention. Des normes régissent les différentes opérations de cette technique et la macro texture qui en résulte s'y conforme. Le planage fin atténue les défauts de surface de la chaussée et retarde les interventions majeures.
- **II .3 Auscultation de la chaussée**

Le dimensionnement du renforcement se base sur les données concernant la route à renforcer (l'état visuel, mesure de déflexion et l'uni), ceci d'une part, d'autre part sur celles concernant le trafic actuel et son évaluation dans le futur en exploitant les résultats des différentes études se rapportant au trafic (détermination du taux d'accroissement, le pourcentage de poids lourds .

II.3.1 Auscultation par mesures de déflexion

Une déflexion est par définition une modification progressive de position ou d'une trajectoire sous l'effet d'un phénomène physique. En mécanique des structures, une déflexion est le déplacement obtenu en un point d'un corps sous l'effet d'un chargement statique ou dynamique. Elle s'exprime par rapport à la position de ce même corps au repos, dans un référentiel absolu ou lié au point concerné. Elle généralise la notion de flèche, déflexion transverse d'une structure élancée (ex. flèche en y d'une poutre d'axe x). Elle exprimée en unité de longueur (micron de mètre) sous l'effet de la charge exercée par le défléctomètre. Ce paramètre mesuré permet d'évaluer la portance de la chaussée exprimée par la durée de vie résiduelle calculé à la fin du traitement de toutes ces données. L'amplitude de la déflexion est intimement liée aux propriétés et dimensions du corps de chaussée.

Les déflexions enregistrées au niveau du capteur central représentent les comportements du corps de chaussée entier vis-à-vis des charges exercées par le défléctomètre simulant l'impact d'un véhicule poids lourds se déplaçant à une vitesse de 80 km/h .

II.3.2 Description de l'appareil d'acquisition HWD

Le Heavy Weight Deflectometer (HWD) est l'appareil de référence international pour la détermination de la portance des chaussées. Le CTTTP possède un défléctomètre lourd à masse tombante de marque Dynatest, modèle 8081. Celui-ci se compose de plusieurs systèmes distincts, soit le système de chargement, le système hydraulique et le système électronique. Un système d'acquisition de données situé dans le véhicule tracteur permet de contrôler l'exécution des essais et d'enregistrer les données sur des fichiers informatiques.



Fig II. 9: L'appareil d'acquisition HWD du CTPP

Le contrôle de l'opération d'acquisition des données HWD est assisté par ordinateur à partir du véhicule tracteur. Le dispositif d'acquisition utilisé est composé de :

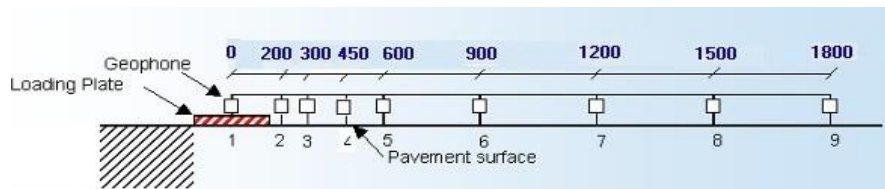
- Un ordinateur de bord muni d'un logiciel d'acquisition FWDWIN



- Une charge de 250 Kg qu'on fera chuter deux fois à une hauteur de 100 mm, ceci génère une pression aux alentours de 920 MPa, et une force d'environ 65KN, sur le point de mesure



- Une plaque de diamètre Ø300mm, qui peut s'incliner jusqu'à 6° pour épouser la forme de la chaussée.
- 9 géophones dont la disposition lors de cette campagne est la suivante :



- Trois types de thermomètre sont utilisés, le premier est un thermomètre à Infrarouge qui mesure la température à la surface de la chaussée, les deux autres mesurent la température de l'air et la température à l'intérieur de la couche bitumineuse AC (Asphalt Concrete).



**thermomètre à infrarouge
(T° surface AC)**



Thermomètre(T° d'air)



**Thermomètre (T° intérieur
AC)**

II.3.2.1 Principe de l'essai

Le principe de base consiste à simuler une charge roulante exerçant une force entre 30 et 260 KN, sous l'effet de cette charge la chaussée subit un affaissement ou une déflexion mesurable grâce à 09 capteurs en surface, c'est ce qui est appelé le bassin de déflexion (déflexion basin). Cette simulation peut être réalisée par le biais d'une masse (entre 250 et 700 kg) tombant d'une hauteur donnée (entre 100 et 400 mm) en heurtant un système d'amortissement en caoutchouc. Cette chute génère une impulsion semi-sinusoïdale pendant une durée de 25 à 30 msec. En plus des mesures des déflexions, les températures, à l'air, à la surface de la chaussée et à l'intérieur de la couche bitumineuse sont mesurées et enregistrées dans une base de données pour être intégrées dans les calculs des paramètres de la structure étudiée (back calculation). [1]

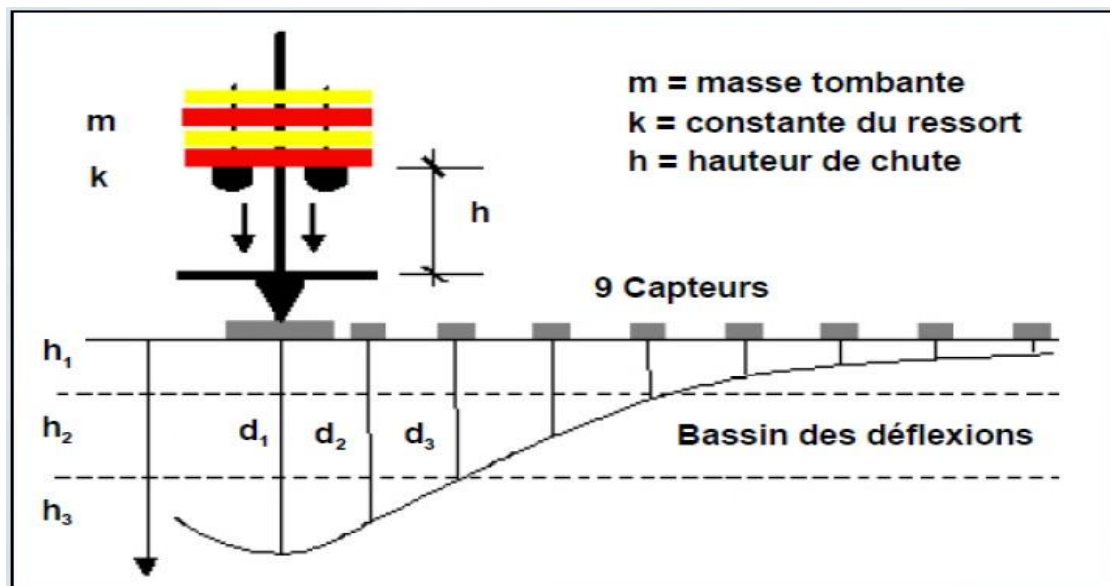


Fig II. 10 : Le bassin de déflexion

II.3 Auscultation par mesure d'uni :

L'uni est un critère géométrique caractérisant l'ensemble des dénivellations de la surface de la chaussée par rapport à son profil théorique. C'est donc un indicateur d'état de planéité de la surface de la chaussée.

Il nous informe, sur les irrégularités du profil en long et des déformations fonctionnelles dues à l'usure en surface et au trafic et sur les déformations structurelles liées à la structure de la chaussée et l'état de dégradation.

Un bon uni est l'une des qualités essentielles qu'un réseau routier doit posséder. En effet, l'uni a des incidences néfastes qui intéressent aussi bien l'utilisateur que la structure de chaussée.

- Incidence sur le confort et la sécurité de l'utilisateur,
- Incidence sur le coût d'exploitation des véhicules,
- Incidence sur la dégradation des chaussées [11].

II.3.1 Seuils admissibles d'uni

L'index international de rugosité (IRI) a été développé par la banque mondiale pendant les années 80 (UMTRI, 1998). IRI est employé pour définir une caractéristique du profil longitudinal d'un wheeltrack parcouru et constitue une mesure normalisée de rugosité. Les unités généralement recommandées sont des mètres par kilomètre (m/km) ou millimètres par mètre (mm/m). L'IRI est basé sur la pente rectifiée moyenne (ARS), qui est un rapport filtré du mouvement accumulé de la suspension d'un véhicule standard (dans le millimètre, les pouces, etc.) divisé par la distance à voyagé en le véhicule pendant la mesure (kilomètre, MI, etc.). IRI est alors égal à l'ARS multiplié par 1.000. La balance ouverte d'IRI est montrée sur le schéma ci-dessus [3]:

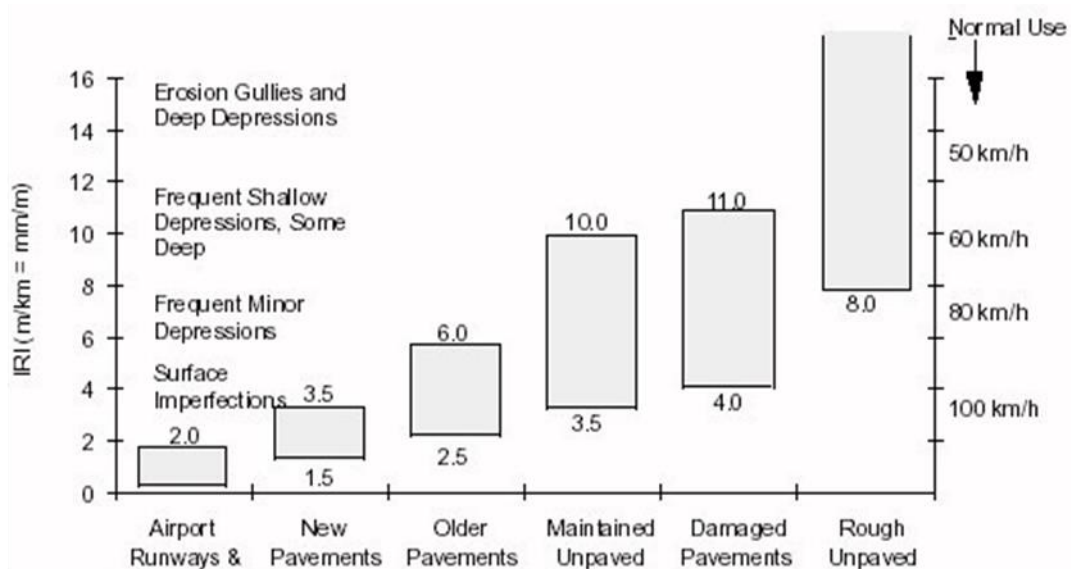


Fig II. 11 : Seuils admissibles d'uni [3]

Les mesures d'uni, sur le tronçon de la RN46 ont été réalisées dans le sens des PK croissants à l'aide de RSP 5051 de marque Dynatest [1].



Fig II. 12 : RSP 5051 de marque Dynatest

II.4 Essais géotechniques

L'exécution de chaque projet routier doit être précédée par une reconnaissance de terrain, et une étude géotechnique routière qu'est une science étudie les propriétés physiques et mécaniques des roches et des sols qui vont servir d'assise pour la structure de chaussée. Elle étudie aussi les problèmes d'équilibre et de formation des masses de terre de différentes natures soumises à l'effet des efforts extérieurs et intérieurs.

Cette étude doit d'abord permettre la localiser des différentes couches, et la déterminer de la structure complète détaillée du corps de chaussée existante a l'aide des sondages sous chaussée chaque 3 km (la profondeur de ces sondages sera telle qu'on puisse atteindre le sol support), et donnée les caractéristiques mécaniques et physiques de ce sol, pour cela on a des essais qui se font au laboratoire et qui permettent de déterminer les caractéristiques en place, les essais les plus utilisés sont :

II.4.1 Les essais d'identification

II.4.1.1 Analyse granulométrie

L'analyse granulométrique est l'un des essais les plus importants pour l'étude d'un sol, car elle fait partie intégrante des essais d'identification. Elle consiste à déterminer les différentes fractions granulaires qui composent le sol concerné, et déterminer la répartition des grains de différentes tailles dans le sol.

Les résultats obtenus par l'analyse granulométrique sont traduits par la courbe granulométrique qui nous permet de déterminer différents coefficients nous permettant d'identifier et de classer notre sol.

II.4.1.2 Limites d'Atterberg

Le comportement d'un sol fin est avant tout fonction de sa composition minéralogique, de sa teneur en eau et de sa structure, c'est-à-dire de la manière dont les particules sont disposées et orientées les unes par rapport aux autres.

Dans les sols fins ou cohérents l'eau joue un rôle très important par son influence sur les forces qui s'exercent entre les particules.

Limite de plasticité (W_p) et limite de liquidité (W_L), ces limites conventionnelles séparent les trois états de consistance du sol :

W_p sépare l'état solide de l'état plastique et W_L sépare l'état plastique de l'état liquide ; les sols qui présentent des limites d'Atterberg voisines, c'est à dire qui ont une faible valeur de l'indice de plasticité ($IP = W_L - W_p$), sont donc très sensibles à une faible variation de leur teneur en eau.

II.4.1.3 L'équivalent de sable

Pour les sols à faible pourcentage de particules fines, les limites d'Atterberg ne sont pas mesurables, alors pour déceler la proportion des limons et argiles du sol présumé qui peuvent être très nuisibles et nocifs selon la nature de l'ouvrage, on réalise l'essai équivalent de sable.

L'équivalent de sable est le pourcentage de matières fines dans un échantillon de sol, il s'applique sur les éléments inférieurs à 5 mm, Pour les couches de fondation, l'ES est de l'ordre de 40.

II.4.2 Essais mécaniques

II.4.2.1 Essai PROCTOR

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

II.4.2.2 Essai CBR :

Dans les travaux routiers où l'on ne peut admettre que de faibles déformations du sol, on détermine la portance du sol, c'est à dire sa résistance à la rupture par un essai particulier appelé Essai CBR (Californian-bearing-ratio) qui détermine l'indice CBR. C'est un essai qui est toujours précédé par l'Essai Proctor parce qu'il est réalisé avec les caractéristiques Proctor (optimum Proctor).

L'indice portant exprime en % le rapport entre les pressions produisant dans le même temps un enfoncement donné dans le sol étudié d'une part et dans un matériau type d'autre part.

Le résultat obtenu de l'indice CBR et des calculs approchés des contraintes de cisaillement dans les fondations d'une chaussée souple sous l'effet des charges roulantes, ont permis de tracer une série d'abaques de dimensionnement, qui nous permettent d'estimer les épaisseurs des couches de chaussée d'un nouveau tracé de route.

II.5 Vérification de la structure vis-à-vis des contraintes et déformations

Pour établir la vérification du point de vue comportement à moyen terme, on a eu recours au programme ALIZEIII pour le calcul des contraintes et déformations.

Principe du programme ALIZEIII

ALIZE III est un programme mis au point au laboratoire central des ponts et chaussées. Il permet de déterminer à partir d'un modèle multicouche, élastique et linéaire fondé sur l'hypothèse de Burmister, les contraintes et les déformations aux différentes interfaces de la structure ayant jusqu'à six (06) couches supposées infinies en plan.

La charge prise en compte dans la modélisation est une charge unitaire correspondant à un demi-essieu de 13 tonnes présenté par une empreinte circulaire de rayon (r) avec une symétrie de révolution. Le problème est traité en coordonnées cylindriques.

II.5.1 Principe de calcul et introduction de données

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

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

- L'épaisseur ;
- Le module de rigidité (E) ;
- Le coefficient de poisson (ν).

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

II.6. Détermination des limites admissibles

II.6.1. Déformation admissible sur le sol support (ϵ_z)

La déformation verticale ϵ_z , qui est donnée par une relation empirique déduite à partir d'une étude statistique de comportement des chaussées algériennes, cette formule est de la forme suivante [5]:

$$\epsilon_z = 22 * 10^3 \times (TCEi)^{-0.235}$$

Pour chaque classe de trafic $TCEi$ correspond une valeur de , .

II.6.2 Déformation admissible à la base de l'enrobé existant ($\epsilon_{t,ad}$)

Le calcul de la déformation admissible de traction ϵ_t , à la base des couches bitumineuses est donné par la relation suivante :

$$\epsilon_{t,ad} = \epsilon_6(10^\circ\text{C}, 25\text{Hz}) \times k_{ne} \times k_\theta \times k_r \times k_c$$

Ou :

$\epsilon_6(10^\circ\text{C}, 25\text{Hz})$: déformation limite détenue au bout de 10^6 cycles avec une probabilité de rupture de 50% à 10°C et 25Hz (essai de fatigue).

k_{ne} : facteur lié au nombre cumulé d'essieux équivalents supporté par la chaussées.

k_θ : facteur lié à la température.

k_r : facteur lié au risque et aux dispersions.

k_c : facteur lié au calage des résultats du modèle.

Avec :

$$k_{ne} = \left(\frac{10^6}{TCEi}\right)^b$$

$$k_\theta = \sqrt{\frac{E(10^\circ\text{C})}{E(\theta_{cq})}}$$

$$k_r = 10^{-tb\delta}$$

D'où :

$$\epsilon_{t,ad} = \epsilon_6(10^\circ\text{C}, 25\text{Hz}) * \left(\frac{10^6}{TCEi}\right)^b * \sqrt{\frac{E(10^\circ\text{C})}{E(\theta_{eq})}} * 10^{-tb\delta} * k_c$$

Avec :

TCEi : trafic en nombre cumulé d'essieux équivalents de 13 tonnes sur la durée de vie considérée ;

b : pente de la droite de fatigue ($b < 0$) ;

E(10°C) : module complexe du matériau bitumineux à 10°C ;

E(θ_{eq}) : module complexe du matériau bitumineux à la température équivalente qui est fonction de la zone climatique considérée.

δ f (dispersion)

$$\delta = \sqrt{SN^2 + (c/b Sh)^2}$$

Avec :

SN : Dispersion sur la loi de fatigue ;

Sh : Dispersion sur les épaisseurs (en cm) ;

c : Coefficient égale à 0.02 ;

t : Fractile de la loi normale, qui est fonction du risque adopté (r%).

Tableau II. 11 : Valeurs de $t = f(r\%)$

r%	2	3	5	7	10	12	15
t	-2.054	-1.881	-1.645	-1.520	-1.282	-1.175	1.036
r%	20	23	25	30	35	40	50
t	-0.842	-0.739	-0.674	-0.524	-0.385	-0.253	0

II.7 CONCLUSION

Dans cette conclusion, nous avons consolidé les concepts clés et les outils essentiels qui ont été présentés dans ce chapitre. L'importance de comprendre les paramètres, les méthodes et les logiciels utilisés dans notre étude pour l'analyse, le traitement des données, le calcul et la vérification des structures ne peut être surestimée.

En établissant des définitions claires et en identifiant les outils appropriés, nous avons jeté les bases d'une approche méthodique et rigoureuse pour aborder notre sujet. Ces fondations solides sont cruciales pour garantir la précision, la fiabilité et la pertinence de nos résultats et conclusions.

Il convient également de souligner l'impact potentiel de ces éléments sur la qualité globale de notre recherche. En comprenant pleinement les paramètres impliqués, en utilisant les méthodes appropriées et en exploitant efficacement les logiciels disponibles, nous sommes mieux équipés pour explorer, interpréter et communiquer efficacement les complexités de nos données et de nos analyses.

En fin de compte, cette section a servi de point d'ancrage pour notre travail, nous permettant de naviguer avec confiance à travers les défis et les exigences de notre étude. En intégrant de manière réfléchie ces éléments fondamentaux dans notre approche de recherche, nous avons établi une base solide sur laquelle construire et développer nos contributions à notre domaine d'étude.



CHAPITRE III

Etude du trafic

III.1- INTRODUCTION :

L'étude de trafic constitue une étape fondamentale en amont de toute réflexion relative à l'aménagement qui convient et la caractéristique à lui donner depuis le nombre de voie jusqu'à l'épaisseur des différentes couches de matériaux qui constituent la chaussée.

Cette étude constitue un moyen important de saisie des grands flux à travers un pays ou une région, elle représente une partie appréciable des études de transport, et constitue parallèlement une approche essentielle de la conception des réseaux routiers.

Cette conception repose, pour partie « stratégie, planification » sur la prévision des trafics sur les réseaux routiers, qui est nécessaires pour :

- Apprécier la valeur économique des projets.
- Estimer les coûts d'entretiens.

III.2- ANALYSE DU TRAFIC :

Pour connaître en un point et à un instant donné le volume et la nature du trafic, il est nécessaire de procéder à un comptage. Ces derniers nécessitent une logistique et une organisation appropriées.

Les analyses de circulation sur les diverses artères du réseau routier sont nécessaires pour l'élaboration des plans d'aménagement ou de transformation de l'infrastructure, détermination des dimensions à donner aux routes et appréciation d'utilité des travaux projetés.

Les éléments de ces analyses sont multiples :

- Statistiques générales.
- Comptages sur routes (manuels, automatique).
- Enquêtes de circulation.

III.3- DIFFÉRENTS TYPES DE TRAFIC :

- TRAFFIC NORMAL** : C'est un trafic existant sur l'ancien aménagement sans prendre en considération le trafic du nouveau projet .Définir les caractéristiques techniques des différents tronçons.
- TRAFFIC INDUIT** : C'est un trafic qui résulte de nouveau déplacement des personnes vers d'autres déviations.

- c) **TRAFIC DEVIE** : C'est le trafic attiré vers la nouvelle route aménagée. La déviation du trafic n'est qu'un transfert entre les différents moyens d'atteindre la même destination.
- d) **TRAFIC TOTAL** : C'est la somme du trafic annuel et du trafic dévié.

III.4- MODÈLES DE PRÉSENTATION DE TRAFIC :

Dans l'étude des projections des trafics, la première opération consiste à définir un certain nombre de flux de trafic qui constituent des ensembles homogènes, en matière d'évolution ou d'affectation.

Les diverses méthodes utilisées pour estimer le trafic dans le futur sont :

- Prolongation de l'évolution passée.
- Corrélation entre le trafic et des paramètres économiques.
- Modèle gravitaire.
- Modèle de facteur de croissance.

III.4.1- Prolongation de l'évolution passée :

La méthode consiste à extrapoler globalement au cours des années à venir, l'évolution des trafics observés dans le passé. On établit en général un modèle de croissance du type exponentiel.

Le trafic T_n à l'année n sera :

$$T_n = T_0 (1+\tau)^n$$

Ou :

T_0 : est le trafic à l'arrivée pour origine.

τ : est le taux de croissance.

III.4.2-Corrélation entre le trafic et des paramètres économiques:

Elle consiste à rechercher dans le passé une corrélation entre le niveau de trafic d'une part et certains indicateurs macro-économiques :

- Produit national brut (PNB).

- Produits des carburants, d'autres part, si on pense que cette corrélation restera à vérifier dans le taux de croissance du trafic, mais cette méthode nécessite l'utilisation d'un modèle de simulation,

III.4.3- Modèle gravitaire :

Il est nécessaire pour la résolution des problèmes concernant les trafics actuels au futur proche, mais il se prête mal à la projection.

III.4.4- Modèle de facteurs croissance :

Ce type de modèle nous permet de projeter une matrice origine-destination. La méthode la plus utilisée est celle de FRATAR qui prend en considération les facteurs suivants :

- Le taux de motorisation des véhicules légers et utilisation.
- Le nombre d'emploi.
- La population de la zone.

Cette méthode nécessite des statistiques précises et une recherche approfondie de la zone à étudier.

III.5- CALCUL DE LA CAPACITÉ :

III.5.1- Définition de la capacité :

La capacité est le nombre de véhicule qui peut raisonnablement passer sur une direction de la route « ou deux directions » avec des caractéristiques géométriques et de circulation qui lui est propre durant une période bien déterminer, la capacité s'exprime sous forme d'un débit horaire.

III.5.2- Procédure de détermination de nombre de voies :

Le choix de nombre de voies résulte de la comparaison entre l'offre et la demande, c'est à dire, le débit admissible et le trafic prévisible à l'année d'exploitation.

Pour cela il est donc nécessaire d'évaluer le débit horaire à l'heure de pointe pour la dixième année d'exploitation.

❖ Calcul de TJMA horizon :

La formule qui donne le trafic journalier moyen annuel à l'année horizon est :

$$T_n = T_0 (1 + \tau)^n$$

T_0 , τ , n : sont définies précédemment.

❖ Calcul des trafics effectifs:

C'est le trafic traduit en unités de véhicules particuliers (U.V.P) en fonction de type de route et de l'environnement.

Pour cela on utilise des coefficients d'équivalence pour convertir les PL en (U.V.P).

Le trafic effectif donné par la relation :

$$T_{\text{eff}} = [(1 - Z) + PZ]. T_n$$

T_{eff} : trafic effectif à l'horizon en (U.V.P/j)

Z : pourcentage de poids lourds (%).

P : coefficient d'équivalence pour le poids lourds, il dépend de la nature de la route.

Tableau (III-1) : Coefficient d'équivalence selon de la nature de la route

Environnement	E1	E2	E3
Route à bonne caractéristique	3-6	6-12	16-24
Route étroite	3-6	6-12	16-24

❖ Débit de pointe horaire normal :

Le débit de pointe horaire normal est une **traction** du trafic effectif à l'horizon, il est donné par la formule :

$$Q = \left(\frac{1}{n}\right) T_{\text{eff}}$$

$\left(\frac{1}{n}\right)$: Coefficient de pointe prise égale 0.12.

Q : est exprimé en UVP/h.

❖ Débit horaire admissible :

Le débit horaire maximal accepté par voie est déterminé par application de la formule :

$$Q_{\text{adm}} (\text{uvp/h}) = K1.K2. C_{\text{th}}$$

$K1$: coefficient lié à l'environnement.

K_2 : coefficient de réduction de capacité.

C_{th} : capacité effective par voie, qu'un profil en travers peut écouler en régime stable.

Avec :

Tableau III.2 : Valeur de K_1

Environnement	E_1	E_2	E_3
K_1	0.75	0.85	0.90 à 0.95

Tableau III.3 : Valeur de K_2

Environnement	1	2	3	4	5
E_1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
E_2	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98
E_3	0.91	0.95	0.97	0.96	0.96

Tableau II.4 : Valeur de la capacité théorique C_{th}

	Capacité théorique (uvp/h)
Route à 2 voies de 3.5m	1500 à 2000
Route à 3 voies de 3.5	2400 à 3200
Route à chaussée séparée	1500 à 1800

❖ **Calcul du nombre de voies :**

✓ **Cas d'une chaussée bidirectionnelle :**

On compare Q à Q_{adm} et on prend le profil permettant d'avoir : $Q_{adm} \times Q$

✓ **Cas d'une chaussée unidirectionnelle :**

Le nombre de voie par chaussée est le nombre le plus proche du rapport $S \cdot Q / Q_{adm}$

Avec :

S : coefficient dissymétrie en général = 2/3 et Q_{adm} : débit admissible par voie

III.5. CONCLUSION :

Le trafic routier est une donnée nécessaire. A partir de ce paramètre on peut estimer le nombre de voie ainsi que l'épaisseur des différentes couches de matériaux qui constituent la chaussée. C'est parmi les causes principales de l'origine des dégradations.



CHAPITRE IV

Géotechnique routière

IV.1. INTRODUCTION :

La géotechnique routière a pour objectif de définir les caractéristiques des sols qui serviront d'assise pour la structure de chaussée. Elle étudie les problèmes d'équilibre et de formation des masses de terre de différentes natures soumises à l'effet des efforts extérieurs, appliquée aussi bien au sol que l'on rencontre dans la nature et qui supporte la construction d'une route et des massifs de terres artificiels (remblai). Cette étude doit d'abord permettre de localiser les différentes couches et donner les renseignements de chaque couche et les caractéristiques mécaniques et physiques de ce sol. Pour cela on fait des essais en laboratoire et in situ qui permettent de déterminer les caractéristiques en place.

IV.2. REGLEMENTATION ALGERIENNE EN GEOTECHNIQUE :

La géotechnique couvre un grand champ qui va de la reconnaissance des sols au calcul et à l'exécution des ouvrages en passant par les essais de sols en laboratoire ou en place (in situ).

Les normes algériennes adoptées dans le domaine de la géotechnique sont relatives aux modes opératoires et des essais de sols couramment réalisés en laboratoire dans le cadre des études géotechniques ; par exemple :

- ✓ les essais en place (essais pressiométrique, pénétromètre statique ou dynamique....etc.)
- ✓ les essais de laboratoire : essais d'identification et de classification.

IV.3. LES DIFFERENTS ESSAIS EN LABORATOIRE :

Les essais réalisés en laboratoire sont :

- Analyse granulométrique ;
- Equivalent de sable ;
- Limites d'Atterberg ;
- Essai PROCTOR ;
- Essai CBR ;
- Essai Los Angeles ;
- Essai Micro Deval.

Le calcul de l'épaisseur des chaussées souples nécessitera des prélèvements destinés à des essais CBR en laboratoire. Les essais seront faits à différentes teneurs en eau et énergies de compactage, afin d'apprécier la stabilité du sol aux accidents lors des terrassements, ces essais seront précédés d'essai PROCTOR.

- **Teneur en eau :** La teneur en eau se détermine par deux pesées. Une première pesée de l'échantillon à l'état initial donne la masse **M** de l'échantillon humide et une deuxième pesée après passage à l'étuve à 105° pendant 24 heures (évaporation de l'eau libre et de l'eau capillaire) donne la masse sèche de l'échantillon **M_s**. (Léreau 2005/2006)



Fig.IV.1. Teneur en eau

- **Analyses granulométriques :** Pour les sols grenus on utilise une série de passoire est de tamis. Les trous des passoires sont un diamètre variant de 100 à 6,3 mm. L'ouverture intérieure des mailles des tamis varient de 12,5 mm à 40 mm. Par définition le diamètre d'une particule égale à l'ouverture intérieure des mailles du plus petit tamis la laissant passer quand on se sert de passoire et il faut connaître les dimensions des tamis équivalents. D étant le diamètre des trous de la passoire l'ouverture intérieure des mailles du tamisé équivalents égale à $D * 1,25$ (Résultat de Féret). On utilise par exemple indifféremment tamis de 10 mm ou une passoire de 12,5 mm. (Léreau 2005/2006)

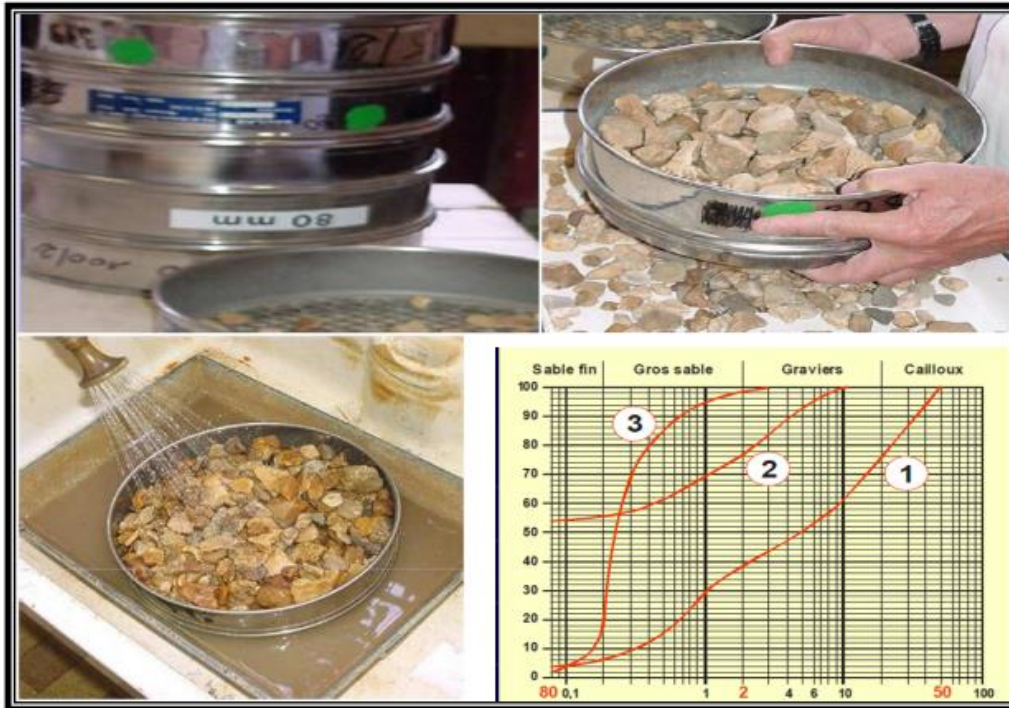


Fig.IV.2. Analyses granulométriques

- **Equivalent de sable :** L'essai d'équivalent de sable signé par le symbole E .S pour but d'évaluer la proportion relative d'éléments fins contenus dans le sol et dont la présence en quantité notable peut modifier le comportement mécanique. C'est un essai empiriques, simple, rapide et ne nécessitant qu'un appareillage très élémentaire. Il permet de contrôler la constance de certaines qualités de matériaux mis en œuvre sur chantier à une cadence rapide. il est très largement utilisé, en particulier en géotechnique routière. L'essai consiste à opérer sur l'échantillon de sol (fraction du matériau dont les éléments sont inférieurs à 5 mm) un lavage énergique de manière à le séparer de ses matières fines. L'éprouvette contenant le sol et la solution lavant est soumise à 30 cycles de 20 cm d'amplitude en 30 secondes. La solution utilisée a un outre, pouvoir flocculant sur les argiles et les colloïdes.(Léreau 2005/2006) .

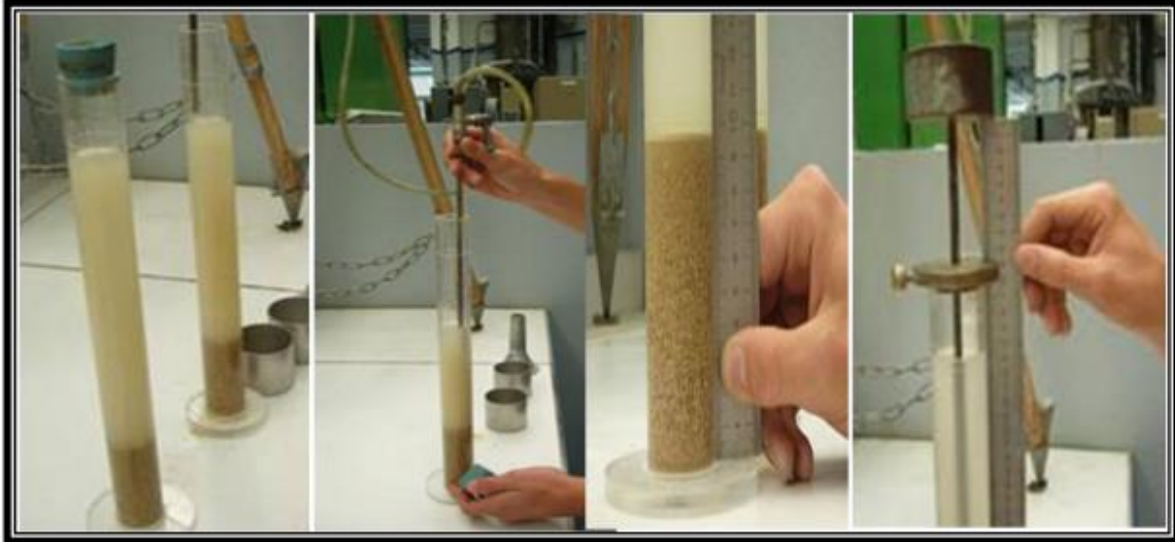


Fig.IV.3. Equivalent de sable.

- **Limites d'Atterberg** : C'est l'un des essais d'identification les plus importants. Ces limites sont mesurées, avec un appareillage normalisé, sur le mortier, c'est à dire la fraction de sol qui passe au tamis de 0,40 mm. On peut considérer quatre états caractérisant la consistance des sols fins. Pour des teneurs en eau décroissantes :
- ***l'état liquide*** : Le sol a une consistance très faible. Il a l'aspect d'un fluide, il tend à se niveler suivant une surface horizontale. Les particules glissent facilement les unes sur les autres.
 - ***l'état plastique*** : Le sol a une consistance plus importante. Il ne tend plus à se niveler. Soumis à de faibles contraintes il se déforme largement sans se rompre. Il garde sa déformation après suppression des contraintes. Les particules ont mis en commun leurs couches adsorbées, lorsqu'il y a déformation les particules restent attachées les une aux autres sans s'éloigner.
 - ***l'état solide (avec retrait)*** : Le sol retrouve sa forme initiale après suppression des contraintes (petites déformations élastiques).
 - ***l'état solide sans retrait*** : les particules arrivent au contact en chassant l'eau adsorbée; le sol ne change plus de volume quand sa teneur en eau diminue. La transition d'un état à un autre est très progressive, c'est pourquoi toute tentative pour fixer la limite entre deux états comporte une part d'arbitraire. Néanmoins, on utilise les limites définies par Atterberg et précisées ensuite par Casagrande.(Léreau 2005/2006)



Fig.IV.4. Limites d'Atterberg.

- **Valeur de bleu de méthylène :** Il s'agit aussi d'un paramètre permettant de caractériser l'argilosité d'un sol. Son application est récente. Ce paramètre, noté VBS (valeur de bleu du sol), représente la quantité de bleu de méthylène pouvant s'adsorber sur les surfaces externes et internes des particules argileuses contenues dans la fraction du sol considéré; c'est donc une grandeur directement liée à la surface spécifique du sol. L'essai consiste à introduire progressivement du bleu de méthylène dans une suspension de sol maintenue en agitation. On prélève périodiquement une goutte de la suspension que l'on dépose sur un papier chromatographique. Dès qu'une auréole bleutée se développe autour de la tache ainsi formée on peut considérer que l'adsorption du bleu de méthylène sur les particules d'argile est terminée. En effet, c'est l'excès de bleu de méthylène qui apparaît dans l'auréole. La VBS traduit globalement la quantité et la qualité (activité) de la fraction argileuse du sol. Elle s'exprime en grammes de bleu pour 100 g de sol. .Ordres de grandeur :

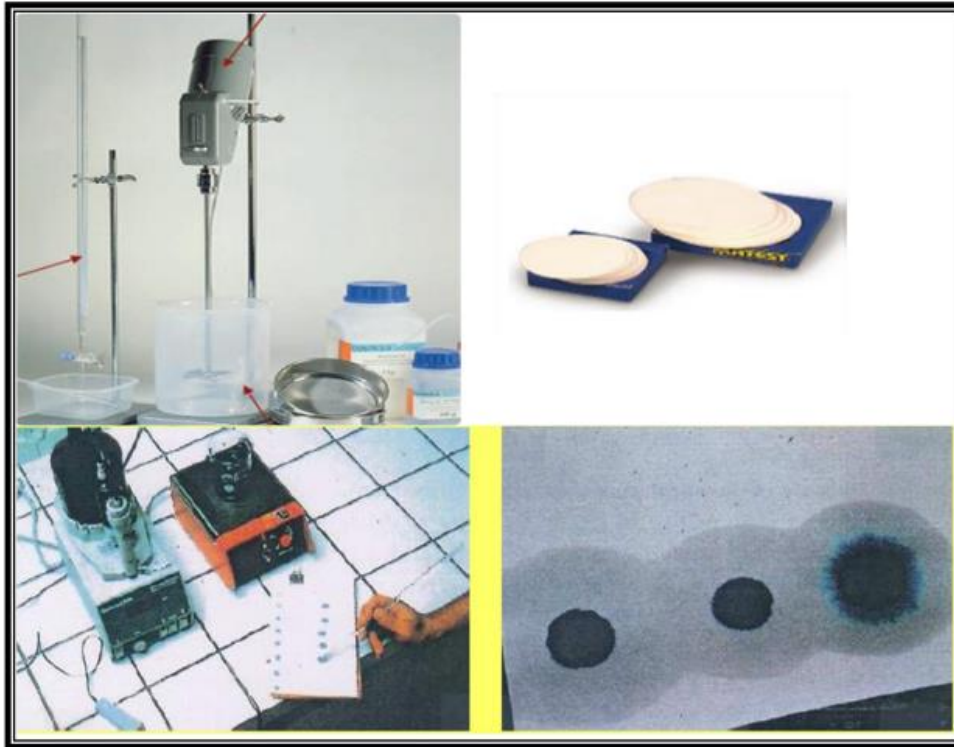


Fig.IV.5. valeur de bleu de méthylène

- **Essai Proctor** : L'essai Proctor, complètement normalisé, consiste à placer dans un moule de dimensions déterminées, un échantillon humidifié de manière homogène à une teneur en eau donnée, peu élevée au début, et à compacter cet échantillon par couches au moyen d'une dame de poids standardisé tombant d'une hauteur standardisée. Pour chacune des teneurs en eau considérées, on détermine le poids volumique sec du sol et on établit la courbe des variations de ce poids volumique en fonction de la teneur en eau. (KHEMAKHEM s.d.)

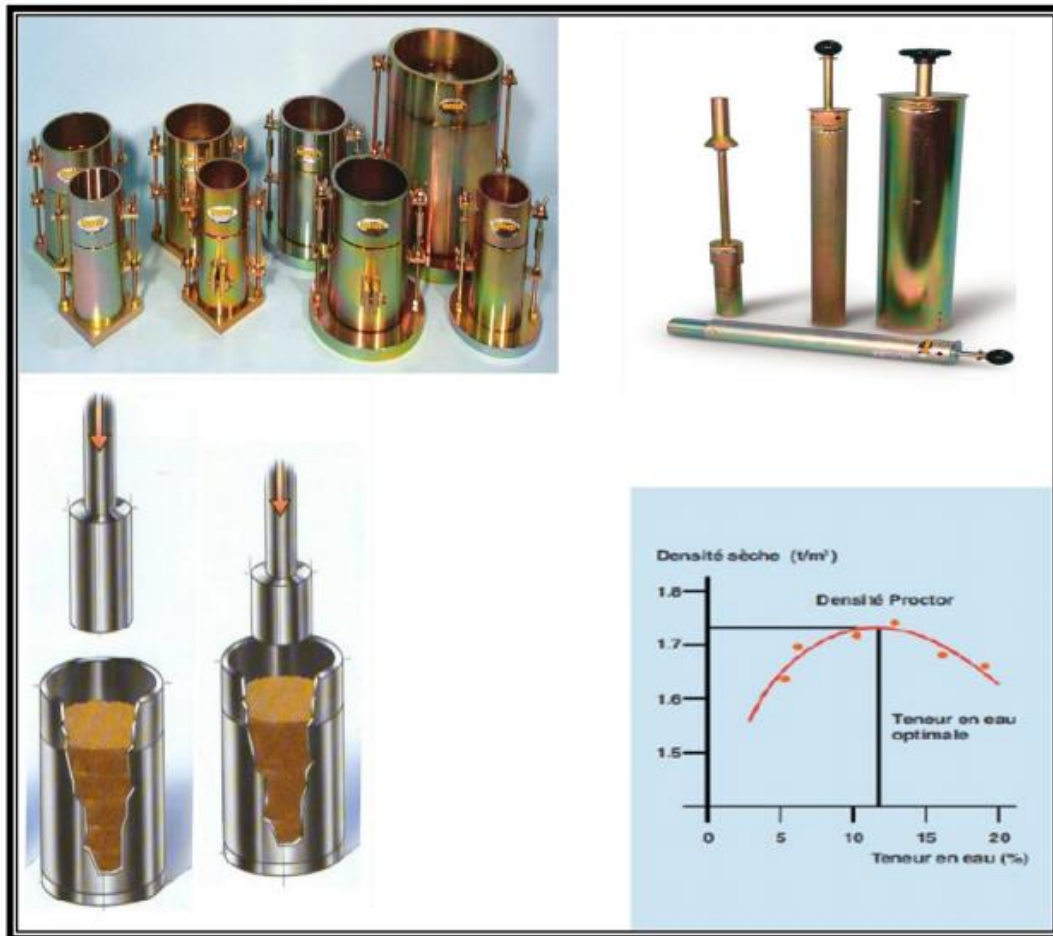


Fig.IV.6. Essai PROCTOR

- **Essai C.B.R (California Bearing Ratio):** Cet essai a pour but d'évaluer la portance du sol en estimant sa résistance au poinçonnement, afin de pouvoir dimensionner la chaussée et orienter les travaux de terrassements. L'essai consiste à soumettre des échantillons d'un même sol au poinçonnement, les échantillons sont compactés dans des moules à la teneur en eau optimum (PROCTOR modifié) avec trois (3) énergies de compactage 25 c/c ; 55 c/c ; 10 c/c et imbibé pendant quatre (4) jours. Il ne concerne que les sols cohérents.



Fig.IV.7. Essai C.B.R.

- **Essai Los Angeles :** Cet essai a pour but de mesurer la résistance à la fragmentation par chocs des granulats utilisés dans le domaine routier, et leur résistance par frottements réciproques dans la machine dite « Los Angeles ». Plus le LA est élevé, moins le granulat est dur.



Fig.IV.8. Essai los Angeles.

- **Essai Micro Deval** : L'essai a pour but d'apprécier la résistance à l'usure par frottements réciproques des granulats et leur sensibilité à l'eau, on parlera du microdeval humide.



Fig.IV.9. Essai Micro Deval.

IV.4. LES ESSAIS IN SITU :

IV.4. 1. ESSAIS DE PLAQUE :

Ces essais permettront d'apprécier directement le module d'un sol par un essai sur le terrain, ils consistent à charger une plaque circulaire et à mesurer le déplacement vertical sous charge. On déduira ensuite un module de sol E en interprétant la valeur du déplacement mesuré à l'aide de la formule de Boussinesq qui relie Z , le déplacement, la pression q_0 le rayon de charge a et les caractéristiques du massif E_2 , Après plusieurs approches, on a abouti à l'approche suivante : $E = 5CBR$.



Fig.IV.10. Essais de plaque.

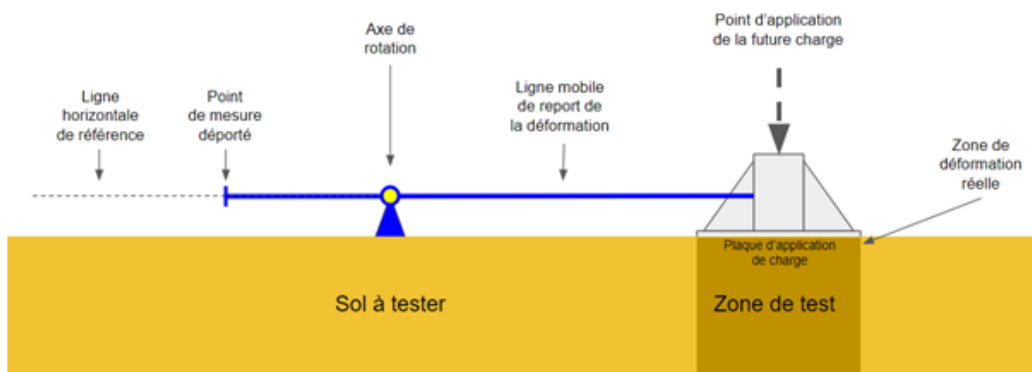


Fig.IV.11. Dispositif à vide.

Lorsque le dispositif est mis en charge, c'est à dire qu'on applique une lourde charge sur la plaque de charge (1), le sol s'enfonce sous la plaque (2). La ligne mobile (3) pivote alors autour de son axe, et l'extrémité libre au niveau du point de mesure (4) se déplace vers le haut. On peut alors mesurer le soulèvement et en déduire l'enfoncement sous la plaque, comme l'indique le schéma ci dessous.

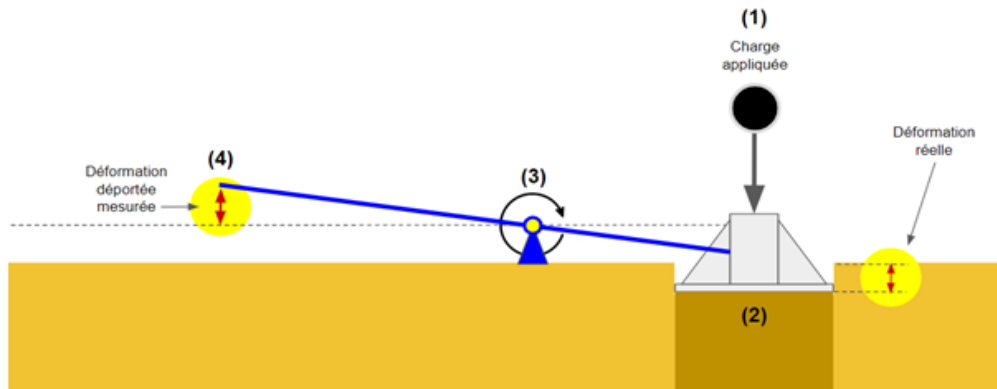


Fig.IV.12. Disposition a charge

Maintenant que le principe de l'essai est maîtrisé, regardons le matériel dont il faut se servir en réalité.

➤ **MATERIEL :**

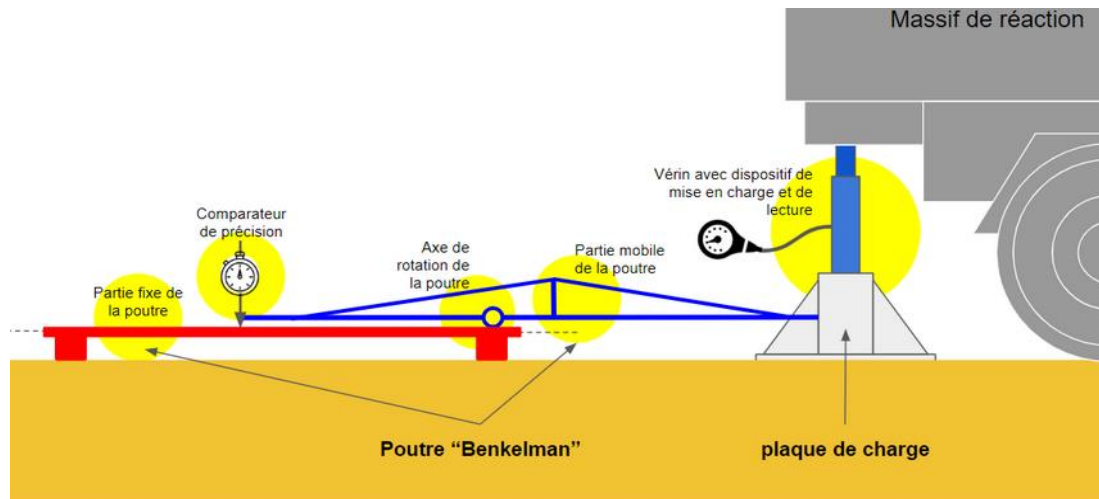


Fig.IV.13. Matériel.

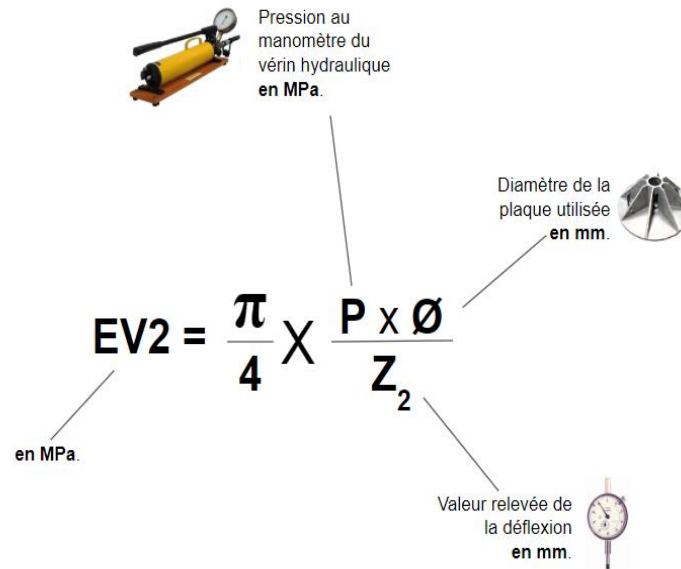
- **Massif de réaction :** Pour pouvoir appliquer la charge sur la plaque de charge, le vérin doit prendre appui sur un objet solide et immobile appelé "massif de réaction". On utilise en général un engin présent sur le chantier comme un 6X4 ou une pelle hydraulique.



Fig.IV.14. Massif de réaction

- **Plaque de charge** : Elle sert à appliquer et à répartir la charge du massif de réaction sur une surface connue et uniforme. Elle est mise en place sur un fin lit de sable qui assure une parfaite répartition de la charge sur la plateforme.
- **Vérin** : Il prend appui entre le massif de réaction et la plaque de charge. Ce vérin est équipé d'une pompe hydraulique qui permet de mettre en charge le système. Un manomètre est généralement intégré à la pompe afin de contrôler la charge à appliquer.
- **Poutre dite de "BENKELMAN" composée** :
 - ✓ **d'une partie fixe**, horizontale, posée sur la plate-forme dont on veut mesurer la déformation. Cette partie fixe sert de support au **comparateur de précision**. Elle supporte également la partie mobile par l'intermédiaire d'un axe de rotation.
 - ✓ **d'une partie mobile**, qui fait la liaison la liaison entre la **plaque de charge** et le **comparateur**. Cette partie pivote autour de l'axe de rotation lorsque la plaque s'enfonce dans la plateforme sous l'effet de la charge, et transmet la déflexion (l'enfoncement) du sol au comparateur.
- **Comparateur de précision** : Placé à l'extrémité de la poutre, il mesure la déflexion (l'enfoncement) du sol sous la poussée du vérin placé entre la plaque de charge et le massif de réaction.

Cet essai à la plaque a pour objectif de mesurer la déformabilité d'un sol. Cela revient à déterminer un indicateur de pression appelé "**module sous chargement statique à la plaque**" encore désigné par EV2, et qui s'exprime en Méga Pascal (Mpa). On désigne aussi EV2 sous le terme de "**Portance du sol**".



The diagram illustrates the formula for EV2 with three annotations and corresponding images:

- Pressure at the hydraulic jack manometer in MPa:** Points to the variable P in the numerator of the fraction.
- Diameter of the plate used in mm:** Points to the variable \emptyset in the numerator of the fraction.
- Value of the deflection reading in mm:** Points to the variable Z_2 in the denominator of the fraction.

The formula is:
$$EV2 = \frac{\pi}{4} \times \frac{P \times \emptyset}{Z_2}$$

Units: $EV2$ is in MPa.

Déterminer EV2 :

- un massif de réaction supérieur à 8 tonnes. Un 6X4 chargé fait très bien l'affaire.
 - un vérin de 200 kN
 - d'effectuer 2 cycles successifs de mise en charge d'une plaque de 60 cm de diamètre, à vitesse constante de 80 daN/s.
- ✓ **1^{er} cycle de chargement :**
1. On monte progressivement en charge de 0 à 0,25 Mpa à la vitesse de 80 daN/s,
 2. On maintient la pression jusqu'à stabilisation de la déformation (< 0,02 mm / 15 sec.)
 3. On mesure sur la poutre l'enfoncement Z_0 en mm.
 4. On redescend la pression à 0.
- ✓ **2^{ième} Cycle de chargement :**
1. On remonte progressivement en charge de 0 à 0,20 Mpa à la vitesse de 80 daN/s,
 2. On attend la stabilisation de la déformation (< 0,02 mm / 15 sec.)
 3. On mesure sur la poutre l'enfoncement Z_2 en mm.

4. On redescend la pression à 0.
5. On retient la valeur Z2 du 2ème cycle de charge.
6. On a alors toutes les données pour calculer EV2.

Tableau. IV.1. Portance minimale du sol.

Portance minimale du sol support à obtenir, avant mise en oeuvre des couches de formes et de chaussées selon recommandation GTR 92	
EV2 (MPa)	Type de couche à mettre en oeuvre sur le support testé.
> 15 à 20	⇒ Couche de forme en matériaux non traités.
> 35	⇒ Couche de forme en matériaux traités.
> 50	⇒ Couches de chaussée

IV.4. 2. PENETROMETRE STATIQUE OU DYNAMIQUE :

Le pénétromètre dynamique est un moyen simple, rapide et économique d'investigation des sols in situ. Il permet :

- d'apprécier de façon qualitative la résistance des terrains traversés, et de prévoir la réaction du sol à l'enfoncement de pieux ;
- de déterminer l'épaisseur et la profondeur des différentes couches de sol ;
- d'effectuer des contrôles de compactage.

**Fig.IV.16.** Essai pénétrométrique.

IV.5. CONCLUSION :

Les ouvrages en interaction avec le sol nécessitent la reconnaissance de ce dernier.

La route parmi ces ouvrages, elle nécessite une étude géotechnique qui nous permet d'identifier le sol et le faire caractériser physiquement, chimiquement et mécaniquement, pour calculer la structure de chaussée la plus résistante.

Cette reconnaissance basant sur des essais au laboratoire et in situ.

CHAPITRE V

Données du projet d'étude

– Chaussée dégradée

V.1. INTRODUCTION :

La route nationale 3 (RN3) est un axe routier majeur traversant l'Algérie du nord au sud sur une distance de 2 120 km, reliant Skikda à Djanet. Elle commence au bord de la mer Méditerranée à proximité du port de Skikda et se termine au cœur du désert dans la région du Tassili. Un tronçon de cette route entre la commune de Skikda et la commune d'Elhadaiek est affecté par une série de dégradations importantes au niveau de la chaussée. Cette étude a pour but de proposer une solution de renforcement adéquate mettre fin aux dégradations relevées.

V.2. DONNEES DU PROJET :

Ce travail se concentre sur l'étude de renforcement en s'appuyant sur les résultats de l'étude géotechnique, comptage du trafic, et mesure de déflexions d'un tronçon de cette route (en sens aller et sens retour), situé du PK 03+500 au PK 08+000 sur un linéaire de 4.5 kms, cette section commence à la sortie de Skikda et se termine à la sortie d'El-Hadaiek. La construction de la route a été en 2017. Elle présente généralement un profil homogène d'une route dédoublée en 2x2 voies.



Fig. V.1. Vue aérienne du projet.

V.2.1. Environnement : Le tronçon en question s'inscrit dans un environnement moyen, caractérisé par de faibles déclivités et de faibles sinuosités. Le tracé en plan y assure une vitesse de 80 km/h.

V.2.2. Résultats de l'étude géotechnique : La campagne de reconnaissance géotechnique qui a été réalisée par le laboratoire régional du CTTP à Tébessa (en Mai 2022), a comporté la réalisation de cinq (05) sondages sous chaussée. Afin de relever d'une part les épaisseurs des couches constituant la couche de roulement, la couche de base et la couche de fondation et

d'autre part pour déterminer la nature et les caractéristiques de ces matériaux composant le corps de chaussée et le sol support.

Les résultats issus de la compagnie de sondage à savoir les différentes couches composantes le corps de chaussée au niveau des points de sondages réalisés sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau V.1. Sondages et couches.

N° de sondage	Localisation (PK)	Type de sondage	Couche et épaisseur récupérer et nature du matériau	N° d'échantillon
S-01	07+700 (Sens aller)	Chaussée C.D	Ancien Enrobé (BB+GB) sur 10 cm	A-01
			Couche de fondation sur 40 cm en GK	B-01
S-02	07+200 (Sens retour)	Chaussée C.D	Ancien Enrobé (BB+GB) sur 15 cm	A-02
			Couche de fondation sur 11 cm en TVC	B-02
			Couche de forme en sur 10 cm en BB	C-02
			Couche sur 20 cm en TVC	D-02
S-03	06+300 (Sens retour)	Chaussée C.D	Ancien Enrobé (BB+GB) sur 16 cm	A-03
			Couche de fondation sur 40 cm en TVC	B-03
			Couche de forme en sur 07 cm en Sable	C-03
S-04	04+500 (Sens retour)	Chaussée C.D	Ancien Enrobé (BB+GB) sur 10 cm	A-04
			Couche de fondation sur 25 cm en GK	B-04
			Couche de forme en sur 20 cm en TVN	C-04
S-05	03+900 (Sens aller)	Chaussée C.D	Ancien Enrobé (BB+GB) sur 18 cm	A-04
			Couche de fondation sur 32 cm en GK	B-04
			Couche de forme en sur 50 cm en TVO	C-04

Les résultats des essais réalisés sur les sondages prélevés à partir du sol support sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau V.2. Résultats des essais sol support.

Localisation PK	Granulométrie			Limites D'atterberg		Proctor Modifié		CBR 95% Opm	Classification selon GTR			
	Dmax (mm)	% Tamisât à 2mm	% Tamisât à 80µm	WL	IP	γD Max (t/m ³)	Wopm		classe	Description	Sous classe	Classification GTR
PK07+700 (sens aller)	≤ 50	93	48	16.87	16.59	02.02	10.05	07.21	A	sols fins	A ₂	Sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques, arènes
PK07+200 (sens retour)	≤ 50	93	63	23.79	19.67	02.04	11.74	02.04	A	sols fins	A ₂	Sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques, arènes
PK06+300 (sens retour)	≤ 50	93	63	25.27	19.50	01.98	10.20	04.57	A	sols fins	A ₂	Sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques, arènes
PK04+500 (sens retour)	≤ 50	94	65	20.76	19.45	01.99	9.96	04.90	A	sols fins	A ₂	Sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques, arènes
PK03+900 (sens aller)	≤ 50	98	60	26.66	18.87	01.78	16.52	05.13	A	sols fins	A ₂	Sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques, arènes

Donc on peut résumer que :

- Les analyses granulométriques réalisées sur les matériaux du sol support donnent des courbes uniformes, qui présentent relativement différentes allures, les tamisas à 2 mm varient de 93 à 98 %, avec un pourcentage de fines qui varient de 48 à 65 %, et un Dmax inférieur ou égal à 50 mm.
- Les résultats des limites d'Atterberg, obtenus, donnent un indice de plasticité qui varie de 16.59 à 19.67 % pour une limite de liquidité moyenne autour de 16.87 à 26.66 %, qui montre un matériau de nature plastique.
- Les résultats des densités sèches maximales obtenus par l'essai Proctor modifié varient de 1.78 à 2.04 t/m³ pour des teneurs en eau optimales de 09.96 % à 16.52 %.
- Les résultats de l'indice de portance à différentes énergies, déterminés par l'essai CBR, associé aux données de l'essai Proctor modifié, nous ont permis de déterminer l'indice de portance à 95 % de l'optimum qui varie entre 02.04 à 07.21 définissant ainsi un sol de portance faible classée selon le catalogue de dimensionnement en S4 pour les sondages N°02, N°03, N°04 et un sol de classe en S3 pour les sondages N°01, N°05.
- Ces données ont permis de classer ces matériaux selon la classification géotechnique GTR comme étant un sol de classe A dans la sous-classe est A2 (Sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques, arènes).

V.2.3. Résultats de l'étude du trafic :

L'étude du trafic a été réalisée par le CTTP, la compagnie de comptage du trafic a été effectuée pendant la période du 09/12/2021 au 15/12/2021, en utilisant deux types de sondages (manuel et automatique) pour déterminer la valeur maximale du trafic ainsi que le pourcentage de poids lourds.

Les résultats de compactage sont représentés comme suit :

- Sens aller : Le trafic journalier a atteint son maximum le jeudi avec 10 194 véhicules, et les véhicules lourds représentent un pourcentage de 21.40 %.
- Sens retour : Le trafic journalier a atteint son maximum le jeudi avec 12 363 véhicules, et les véhicules lourds représentent un pourcentage de 23.20 %.

V.2.4. Relevé de dégradations de la chaussée :

L'évaluation de l'état apparent de la route est basée sur l'examen visuel de la chaussée réalisé en 2021 par l'organisme National de Contrôle Technique des Travaux Publics (CTTP-EPIC).

Au niveau de la route objet d'étude, un relevé détaillé de dégradations a été effectué, en relevant d'une part les types des différentes dégradations observés, leur localisation, et d'autre part en estimant le degré et l'étendue de chaque dégradation pour pouvoir apprécier l'état actuel de la chaussée.

Le relevé des dégradations visuelles sur la chaussée de la route a permis de constater la présence de type de dégradations superficielles sur tout le tronçon étudié d'une gravité faible à élevée avec une étendue localisée à généralisée dans certains tronçons. Les photos suivantes montrent les différents types de dégradations. Ces dégradations sont de divers types à savoir:

- **Déformation de la surface** : on trouve *l'affaissement* (voir fig.V.2), les causes probables sont :
 - Manque de support latéral et instabilité du remblai.
 - Présence de matériaux inadéquats ou mal compactés.
 - Zone de déblai argileux ou secteurs marécageux.
 - Affouillement ou assèchement du sol support (milieu urbain).
 - Mauvais état des réseaux souterrains (milieu urbain).



Déformation de la surface
au PK 03+500 (sens aller)

Déformation de la surface
au PK 03+550 (sens aller)

Fig. V.2. Dégradation : type affaissement.

- **Fissures** : on rencontre les types suivants :
- ❖ **Fissures longitudinales** : les causes probables sont :
 - Fatigue du revêtement.
 - Capacité structurale insuffisante.
 - Mauvais drainage des couches granulaires de la chaussée.



Fissures longitudinales au
PK 05+300 (sens aller)

Fissures longitudinales au
PK 05+400 (sens aller)

Fig. V.3. Dégradation : type fissures longitudinales.

- ❖ **Fissures transversales** : les causes probables sont :
 - Retrait thermique.
 - Vieillessement et fragilisation du bitume.
 - Remontée de fissures après les travaux de surfacage.



Fissures transversales au
PK 05+000 (sens aller)

Fig. V.4. Dégradation : type fissures transversales.

❖ **Faiénçage** : à maille fines les causes probables sont :

- Epaisseur de revêtement insuffisant.
- Vieillessement et fragilisation du bitume.
- Capacité portante insuffisante.



Faiénçage à maille fines au
PK 03+800 (sens aller)



Faiénçage à maille fines au
PK 03+900 (sens aller)



Faiençage à maille fines au
PK 03+610 (sens aller)

Fig. V.5. Dégradation : type Faiençage.

➤ **Arrachements:** on rencontre les types suivants :

❖ **Dé enrobage :** les causes probables sont :

- Usure par trafic intense.
- Sous-dosage du bitume ou mauvais enrobage.
- Utilisation d'agrégats hydrophiles.
- Compactage insuffisant.
- Surchauffe ou vieillissement de l'enrobé (oxydation et fragilisation).
- Sollicitations accrues en zone de virage et de freinage (milieu urbain).



Arrachement
au PK 06+200 (sens aller)

Arrachement
au PK 06+230 (sens aller)

Fig. V.6. Dégradation : type Dé enrobage.

❖ **Nid de Poule** : les causes probables sont :

- Faiblesse ponctuelle de la fondation.
- Épaisseur insuffisante du revêtement.
- Chaussée fortement sollicitée par le trafic lourd.



*Nid de Poule
au PK 03+500 (sens aller)*

Fig. V.7. Dégradation : type Nid de Poule.

❖ **Pelade** : les causes probables sont :

- Mauvaise adhérence de la couche de surface (ex. : manque de liant d'accrochage, incompatibilité chimique, saleté entre les couches).
- Épaisseur insuffisante de la couche de surface.
- Chaussée fortement sollicitée par le trafic.



*Pelade
au PK 07+100 (sens retour)*

Fig. V.8. Dégradation : type Pelade.

V.2.5. Mesure de déflexion : une déflexion est le déplacement obtenu en un point d'un corps sous l'effet d'un chargement statique ou dynamique. Elle est exprimée en unité de longueur (micron de mètre) sous l'effet de la charge exercée par le deflectomètre. Ce paramètre mesuré permet d'évaluer la portance de la chaussée exprimée par la durée de vie résiduelle calculé à la fin du traitement de toutes ces données.

L'importance de la déflexion d'une route sous les charges dépend principalement de la rigidité de sa structure. Typiquement, les déflexions engendrées par une même charge seront plus importantes sur une route souple bitumineuse que sur une route rigide en béton.

Les essais ont été réalisés le 16 Octobre 2021, plusieurs points ont été relevé et une mesure a été effectuée chaque 200 m.

Les résultats des déflexions pour chaque zone homogène sont illustrés dans les graphes suivants :

➤ **Section totale de la RN03 du PK 03+500 au PK 08+000 (sens aller)**

Le graphe suivant illustre bien les différents résultats.

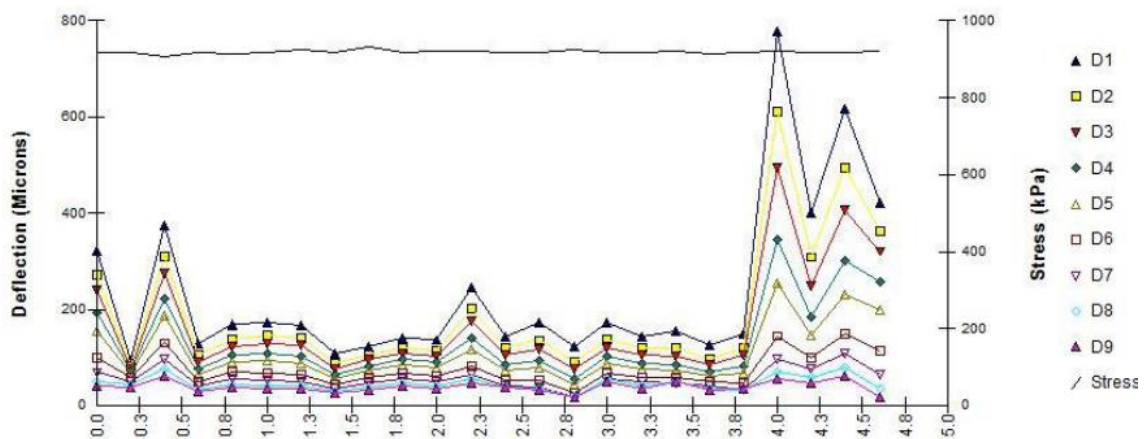


Fig. V.9. Déflexion de la section totale (sens aller).

➤ **Section totale de la RN03 du PK 08+000 au PK 03+500 (sens retour)**

Le graphe suivant illustre bien les différents résultats.

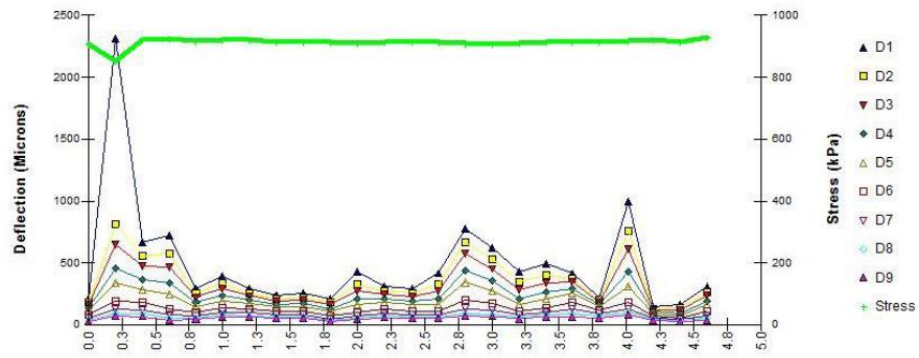


Fig. V.10. Déflexion de la section totale (sens retour).

Les déflexions enregistrées au niveau du capteur central représentent les comportements du corps de chaussée entier vis-à-vis des charges exercées par le défléctomètre simulant l'impact d'un véhicule poids lourds se déplaçant par une vitesse de 80 km/h.

V.3. CONCLUSION :

Pour faire le choix de la structure de renforcement plusieurs données, dont paramètres géotechniques, mesures de déflexion, et relevés visuels des dégradations sont exposés dans ce chapitre.

L'investigation géotechnique sur la section objet d'étude a été basée sur cinq (05) sondages et après plusieurs essais d'identification et de portance effectués au niveau du laboratoire régional CTTTP à Tébessa, on a pu constater que le sol support est de classe A, l'indice de portance CBR varie entre 02.04 à 07.21, définissant ainsi un sol de portance faible classée selon le catalogue de dimensionnement en S4 à l'exception du PK07+700 (sens aller) et PK03+900 (sens aller) où la portance du sol est de classe S3.

Les mesures de déflexion montrent que l'état du corps de chaussée est bon au sens aller et moyen au sens retour.

Le relevé visuel des dégradations effectué au niveau du tronçon a permis d'identifier les types de dégradations et d'en déterminer la sévérité. On a pu noter la présence des dégradations de type superficiel sous forme de fissures longitudinales, fissures transversales et faïençages à mailles fines, des arrachements de type pelade et Nid de poule d'une gravité faible à élever avec une étendue localisée à généralisé dans certains tronçons, ainsi que des dégradations profondes sous forme affaissement d'une gravité faible avec une étendue localisée.

D'une première analyse nous pouvons dire que la chaussée est dans l'état de fatigue cela nous ramène vers une solution de renforcement.



CHAPITRE VI

Renforcement de la

chaussée

VI.1. INTRODUCTION

Le dimensionnement d'une structure de chaussée (neuve ou renforcée) consiste à appliquer l'ensemble d'objectif (durée de vie) à un faible coût et de bonne conditions de sécurité et confort, tout en prenant compte l'ensemble de paramètre (trafic, climat, matériaux locaux et politiques d'entretien).

Pour cela la construction des chaussées, passe d'abord par une bonne étude du sol support et un choix exact des matériaux à utiliser, cela ça va permettre de résister aux effets des agents extérieurs (l'environnement de la route, le climat essentiellement, et aux surcharges d'exploitations le trafic).

VI.2. Facteurs à déterminer pour le dimensionnement de la chaussée :

Le nombre des couches, leurs épaisseurs et les matériaux d'exécution, sont conditionnés par plusieurs facteurs parmi les plus importants sont :

VI.2.1. Trafic :

- ✓ Année de comptage : 2021
- ✓ Année de mise en service : 2025
- ✓ Durée de vie choisie pour le renforcement 10 ans
- ✓ Coefficient d'accroissement annuel 5%
- ✓ Coefficient de charge 0.70

Les résultats de compactage sont représentés comme suit :

- Sens aller : $TJMA_{2021}=10\ 194\ v/j$, % PL= 21.40 %.
- Sens retour : $TJMA_{2021}=12\ 363\ v/j$, % PL= 23.20 %.

On traite la chaussée dans le sens le plus chargée (sens retour).

TJMA_n : trafic à l'année de mise en service. (2025)

TJMA₀ : trafic à l'année de comptage (2021)

A l'année de comptage le trafic poids lourd par voie de circulation : $TPL=12\ 363 \times \frac{23,20}{100} \times 0.5 =$

1435 PL/j

❖ **Détermination du trafic a l'année de mise en service (Tms):**

$$Tms = (1 + i)^n \times TPL = 1435 \times (1 + 0,05)^4 = 1745 \text{ PL/sens}$$

Où **i** : Taux d'accroissement annuel.

n : Nombre d'année s'écoulant entre l'année de comptage et l'année de mise en service.

TPL : Trafic poids lourd par voie de circulation considérée.

❖ **Détermination du trafic cumulé pour la durée de vie escompté :**

Nous avons la formule suivante :

$$Tc = 365 \times Tms \times \frac{(1+i)^N - 1}{i} = 8.10^6 \text{ VPL/j/sens}$$

Avec: N : durée de vie escomptée.

❖ **Détermination de la classe de trafic de calcul :**

Les classes de trafic considérées pour le dimensionnement des structures de renforcement sont celles définies à partir du trafic cumulé pour la durée de vie escomptée.

Tableau VI.1 : classes de trafic d'après le trafic cumulé à la fin de la durée de vie escompté

Classes de trafic	Trafic cumulé à la fin de la durée de vie escomptée en nombre cumulé de poids lourd de CU>5t
T0	<3,5.
T1	3,5.10 ⁵ à 7,3.10 ⁵
T2	7,3.10 ⁵ à 2,0.10 ⁶
T3	2,0.10 ⁶ à 7,3.10 ⁶
T4	7,3.10 ⁶ à 4,0.10 ⁷
T5	>4,0.10 ⁷

Sachant que : $TC=8.10^6$ VPL/j/sens, on distingue que le classement de trafic de notre route est :
T4

❖ **Détermination du trafic cumulé écoulé supporté par l'ancienne chaussée (Te):**

Il se détermine sur la voie la plus chargée :

$$Te = 365 \times TJMA \times 0.5 \times \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = 1.458.10^7 \text{ v/j/sens}$$

TJMA=12 363 v/j : trafic journalier moyen annuel (à l'année de mesure de déflexion octobre 2021).

n = 8: âge en années de la chaussée depuis la construction (en 2017) jusqu'à l'année de mise en service).

VI.2.2. Définition de la déflexion caractéristique (dc) :

La déflexion caractéristique est définie par l'expression suivante : $dc = m + 2\sigma$

m: moyenne $m = \frac{1}{n} \sum_1^n d_i$

d_i : déflexion au point i.

σ : écart type avec $\sigma^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum_1^n (m - d_i)^2$

Les valeurs de déflexion sont résumées par le tableau suivant :

Les déflexions enregistrées au niveau du capteur central représentent les comportements du corps de chaussée entier vis-à-vis des charges exercées par le défléctomètre simulant l'impact d'un véhicule poids lourds se déplaçant une vitesse de 80 km/h.

On trouve : $m = 482.87 \mu\text{m}$; $\sigma = 444,41 \mu\text{m}$

$$dc = 482.87 + 2 \times 444.41 = 1371.69 \mu\text{m} = 137.2 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

	di (μm)
	204,9
	2310
	665,7
	720,7
	290,6
	391,4
	293,5
	241,2
	258,6
	204,8
	429,7
	312,9
	288,9
	416,1
	777,2
	618,4
	428,1
	491,2
	416,1
	214,1
	997,9
	145,8
	165,1
	306
m	482,870833
segma	444,41347

Station	Stress	Force	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
0	906	64.04	204.90	182.90	165.60	139.50	117.80	80.40	55.90	38.60	26.70
0.203	852	60.22	2310.00	814.60	651.30	453.60	333.80	193.70	131.90	91.30	71.80
0.4	920	65.03	665.70	560.70	475.00	366.10	287.30	180.50	122.60	90.00	68.10
0.6	924	65.31	720.70	576.30	468.20	333.30	248.20	132.00	79.50	51.10	39.70
0.8	917	64.82	290.60	252.40	223.60	182.60	148.00	99.40	71.80	52.90	42.50
1	920	65.03	391.40	333.10	289.30	232.20	191.80	136.30	104.90	81.90	65.90
1.2	922	65.17	293.50	257.40	231.90	197.40	169.30	125.00	96.70	75.80	61.40
1.4	913	64.54	241.20	211.70	192.50	166.90	143.30	105.60	81.10	64.20	52.00
1.601	914	64.61	258.60	222.10	198.70	169.30	146.30	108.60	85.40	67.90	54.40
1.802	913	64.54	204.80	179.00	159.70	131.40	107.60	71.20	48.70	35.50	27.40
2	911	64.39	429.70	324.00	271.60	207.00	161.70	103.70	72.00	53.80	42.00
2.2	912	64.47	312.90	274.10	246.40	208.90	178.40	126.50	95.00	72.60	58.70
2.406	914	64.61	288.90	253.70	228.70	190.60	160.10	113.30	85.60	66.60	52.50
2.6	914	64.61	416.10	332.20	275.00	206.90	165.00	111.50	83.30	65.40	54.40
2.801	908	64.18	777.20	663.00	571.20	441.60	342.20	203.90	132.10	95.20	74.20
3.001	907	64.11	618.40	528.20	452.00	351.30	275.90	169.30	114.30	84.90	68.30
3.201	911	64.39	428.10	343.90	284.80	211.80	166.10	109.50	81.30	60.80	48.90
3.4	914	64.61	491.20	399.60	337.70	260.70	207.50	136.90	100.30	80.10	65.00
3.6	913	64.54	416.10	377.10	347.90	293.10	251.90	178.00	126.60	87.20	65.20
3.801	914	64.61	214.10	196.20	183.40	165.30	148.50	116.40	91.20	71.30	56.60
4.011	916	64.75	997.90	754.40	615.00	426.40	306.70	182.90	124.50	101.90	84.30
4.2	922	65.17	145.80	129.40	119.60	105.10	93.90	73.50	58.90	46.00	36.80
4.4	912	64.47	165.10	134.10	117.80	93.60	76.40	54.10	42.20	34.50	29.60
4.6	929	65.67	306.00	264.80	234.00	193.90	163.80	111.90	74.10	48.90	36.40
MAX	929	65.67	2310.00	814.60	651.30	453.60	342.20	203.90	132.10	101.90	84.30
MIN	852	60.22	145.80	129.40	117.80	93.60	76.40	54.10	42.20	34.50	26.70
MOYENNE	912.42	64.50	482.87	356.87	305.87	238.69	191.31	126.00	90.00	67.43	53.45

❖ Coefficients de correction :

- Influence saisonnière (Cs):

Le Cs est un coefficient correcteur de la déflexion caractéristique, il est fonction de la nature du sol et de la sensibilité à l'eau. On peut le tirer du tableau suivant.

Sachant que la déflexion est mesurée au 16 octobre (saison sèche) et le sol de nature argileux, on peut prendre Cs=1.3.

NATURE DU SOL	COEFFICIENT CORRECTEUR EN FONCTION DE LA SAISON (Cs)		
	Saison sèche	Saison intermédiaire	Saison humide
Sableux, graveleux et perméable	1,20 - 1,30	1,10 - 1,20	1,00
Argileux	1,30 - 1,50	1,20 - 1,30	1,00

REMARQUE :

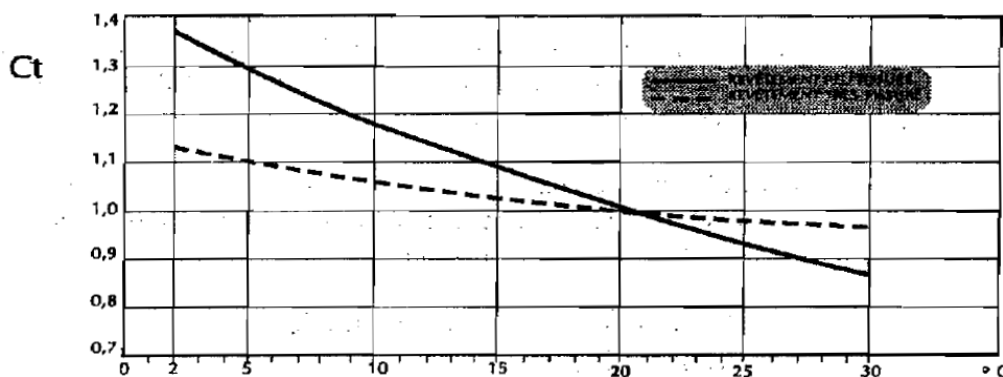
- * On considère en Algérie comme :
 - saison humide : de début novembre à fin avril
 - saison intermédiaire : de début mai à mi-juin
 - saison sèche : de mi-juin à fin octobre.

- **Influence de la région climatique (Cr) :** le projet est au nord d'Algérie donc Cr=1 (voir le tableau)

REGION	COEFFICIENT CORRECTEUR EN FONCTION DE LA REGION CLIMATIQUE (Cr)
NORD	1,00
HAUTS-PLATEAUX	0,70 - 0,90
SAHARA	0,40 - 0,60

- **Influence de la température du revêtement (Ct):**

Pour une température de référence de 20°, chaussée bitumineuse et épaisseur de l'enrobé > 10 cm Ct=1 selon le graphe suivant :

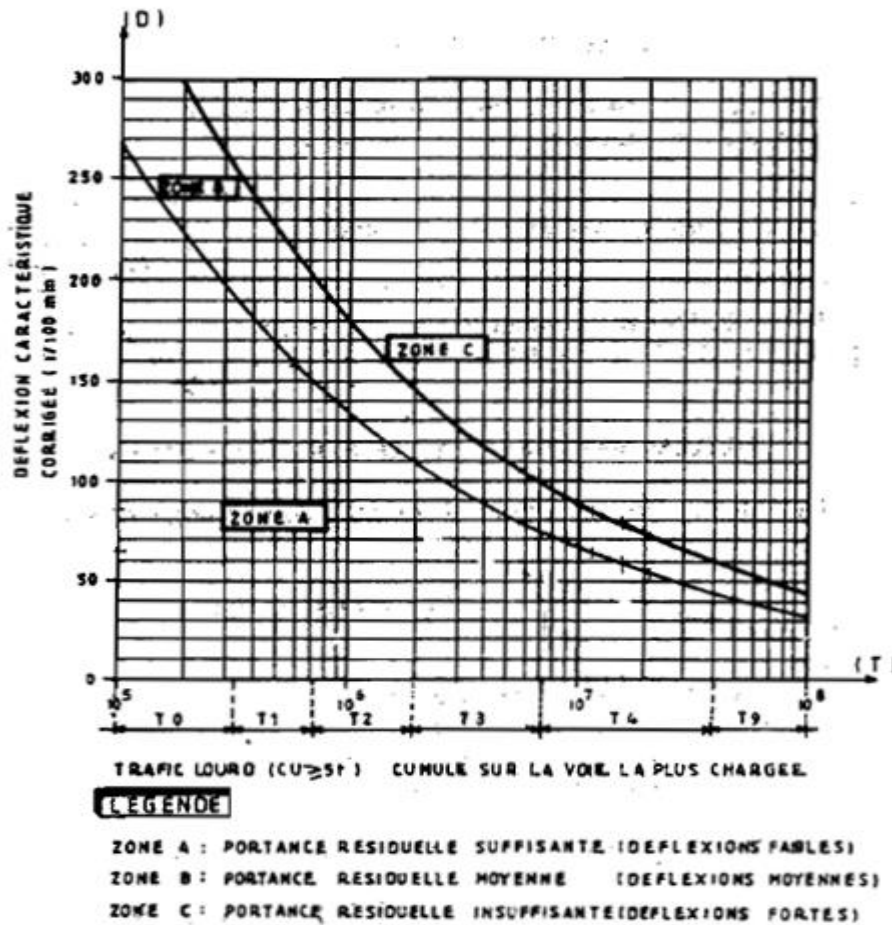


- ❖ **Déflexion de calcul :**

$$d = d_c \cdot C_s \cdot C_r \cdot C_t = 137.2 \times 10^{-2} \times 1.3 \times 1 \times 1 = 178.36 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

❖ La portance résiduelle :

On peut la tirer du graphe suivant, fonction de T_c ou T_e et la déflexion de calcul d'unité (1/100 mm). On a T_4 et $d = 178.36$ (1/100) mm, on trouve que la portance est insuffisante dans la **zone C**, donc la déflexion est forte.



VI.3. Dimensionnement du renforcement

VI.3.1. Détermination du type de renforcement :

Des grilles de décisions ont été établies pour conduire au choix du type de renforcement :

- ✓ Léger
- ✓ Moyen
- ✓ Lourd
- ✓ Très lourd

Cependant, on définira le type de renforcement de chaque section homogène de route en fonction :

- ✓ De l'importance du trafic (classes de trafic définies précédemment) T4;
- ✓ Des critères d'auscultation de la chaussée (dégradation, UNI, déflexion) :
 - déflexion est forte (zone C),
 - dégradations moyenne
 - Il est à noter que par manque de données sur la mesure de l'Uni, nous avons adopté un Uni moyen en analysant les résultats et les photos du relevé visuel des dégradations.

Remarque : le guide de renforcement recommande une durée de validation des indicateurs d'état de la chaussée. Pour la déflexion de 4 ans et pour les dégradations et l'uni de 2 ans. Les mesures faites pour notre projet en 2021 et on est en 2024, donc il y a une durée de 3 ans.

Les mesures de déflexion sont encore valide mais les dégradations et l'uni nécessite leur actualisation. Puisque on n'a pas de nouvelles mesures on considère que les dégradations et l'uni sont évolués pour être élevé.

Pour cela, selon la grille de décision suivante permet de choisir un type de renforcement très lourd.

A : BON - B : MOYEN - C : MAUVAIS

	UNI			DEFLEXION			DEGRADATION		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
ENTRETIEN	○			○			○		
LEGER	○			○			○		
	○			○	○		○		
		○		○			○		
		○		○			○	○	
MOYEN	○				○			○	
	○			○					○
		○		○			○		○
		○		○			○		○
		○		○			○	○	○
		○		○			○		○
	○			○					○
LOURD			○		○				○
			○		○				○
		○			○			○	○
		○			○		○		○
		○			○		○	○	○
TRES LOURD		○			○				○
			○		○				○
			○		○				○

VI.3.2. Dimensionnement des structures

Le catalogue de structure type de renforcement qui suit propose des structures pour trois (03) types de matériaux :

- ✓ Grave non traitées
- ✓ Matériaux traités aux liants hydrocarbonés
- ✓ Matériaux traités aux liants hydrauliques

Ces structures peuvent être adaptées en fonction de deux paramètres déterminés au préalable.

- ✓ La classe de trafic
- ✓ Le type de renforcement décide lors du diagnostic en conjuguant les critères d'états de la chaussée.

❖ **Structures types de renforcements pour les routes à forts trafics**

- T0, T1, T2, T3, T4, T5 sont les classes de trafic définies précédemment

- Léger, moyen, lourd, très lourd : sont les types de renforcement définies précédemment
- BB : Béton bitumineux
- ES : Enduit superficiel
- GB : Grave bitume
- G : Grave non traité
- GLX : Grave laitier à la chaux
- GC : Grave ciment
- GLy : Grave laitier au gypse
- Les épaisseurs sont indiquées en centimètre.

VI.3.3. Les techniques de renforcement :

1- **Base :** Grave bitume (GB) ; **Revêtement :** Béton bitumineux (BB)

Type de Renforcement / Classes de trafic	léger	moyen	lourd	très lourd
T 3	5 BB 12 GB	5 BB 16 GB	5 BB 20 GB	5 BB 25 GB
T 4	5 BB 16 GB	5 BB 20 GB	5 BB 25 GB	5 BB 30 GB
T 5	5 BB 16 GB	5 BB 20 GB	5 BB 25 GB	5 BB 30 GB

STRUCTURE NON CONSEILLÉE (NECESSITE D UNE ETUDE COMPLEMENTAIRE)

Remarque : La structure choisie pour ce type est déconseillée, elle nécessite une étude complémentaire.





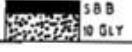



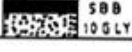
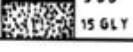

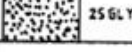
2- Base : Grave ciment (GC) ; Revêtement : Béton bitumineux (BB).

Type de Renforcement / Classes de trafic	léger	moyen	lourd	très lourd
T 3	5 BB 15 GC	5 BB 15 GC	5 BB 20 GC	5 BB 25 GC
T 4	5 BB 15 GC	5 BB 20 GC	5 BB 25 GC	5 BB 30 GC
T 5	5 BB 15 GC	5 BB 20 GC	5 BB 25 GC	5 BB 30 GC

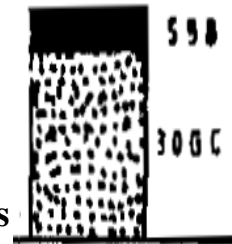
3- Base : Grave laitier à la chaux (GLX) ; Revêtement : Béton bitumineux (BB).

Type de Renforcement / Classes de trafic	léger	moyen	lourd	très lourd
T 3	5 BB 15 GLX	5 BB 15 GLX	5 BB 20 GLX	5 BB 25 GLX
T 4	5 BB 15 GLX	5 BB 20 GLX	5 BB 25 GLX	5 BB 30 GLX
T 5	5 BB 15 GLX	5 BB 20 GLX	5 BB 25 GLX	5 BB 30 GLX

4- **Base** : Grave laitier aux gypsonat (GLY) ; **Revêtement** : Béton bitumineux (BB)

Type de Renforcement Classes de trafic	léger	moyen	lourd	très lourd
T3	 5 BB 10 GLY	 5 BB 10 GLY	 5 BB 15 GLY	 5 BB 20 GLY
T4	 5 BB 10 GLY	 5 BB 15 GLY	 5 BB 20 GLY	 5 BB 25 GLY
T5	 5 BB 10 GLY	 5 BB 15 GLY	 5 BB 20 GLY	 5 BB 25 GLY

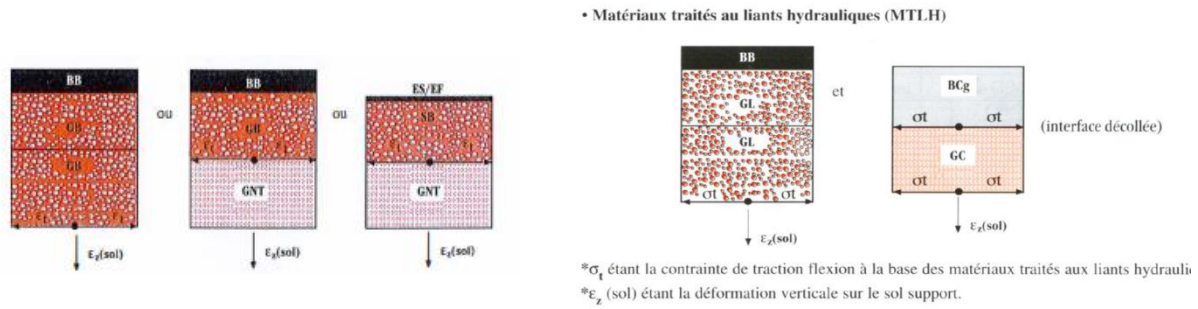
Puisque la structure de renforcement GB+ BB est déconseillée où elle nécessite une étude complémentaire, on choisit la structure type : 30 GC+5 BB



VI.4. Détermination des limites (seuils) admissibles

Dans une structure du corps de chaussée on distingue plusieurs couches superposées reposant sur le sol support, ce qui revient à calculer plusieurs valeurs de contraintes et déformations admissibles. ALIZE-LCPC nous détermine selon la composition du corps de chaussée à vérifier, les contraintes et les déformations au niveau de l'interface de chaque couche.

Pour notre application on s'intéressera à la contrainte admissible σ_{adm} due à la traction dans les fibres inférieures de la couche traitée au liant hydraulique (GC), et à la déformation admissible ϵ_{adm} due à la traction dans les fibres inférieures de la couche GB, par contre pour le sol support, ce qui est important c'est de limiter le tassement et par conséquent la déformation verticale donc on calculera ϵ_{zadm} .



Avant de déterminer les limites admissibles, il y a lieu de calculer le trafic cumulé équivalent en essieux équivalents de 13 t (TCEi) en tenant compte de l'agressivité du poids lourd. (TPL6 selon fascicule 2)

Trafic cumulé : $TC = TPLi * 365 * [(1 + \tau)^n - 1] / \tau$

$$= 1745 * 365 * [(1 + 0.05)^{10} - 1] / 0.05$$

$$= 0.8 * 10^7 \text{ PL/j/sens.}$$

Trafic cumulé équivalent : $TCE = TCi * A$

A : coefficient d'agressivité des poids lourds par rapport à l'essieu de référence 13 t.

A=1 (RP1 et matériaux traités aux liants hydrauliques).

$TCEi = 0.8 * 10^7 \text{ PL/j/sens}$

Niveau de réseau principal (RPi)	Types de matériaux et structures	Valeurs de A
RP1	Chaussées à matériaux traités au bitume : GB/GB , GB/Tuf , GB/SG...	0,6
	Chaussées à matériaux traités aux liants hydrauliques : GL/GL , BCg/GC	1
RP2	Chaussées à matériaux non traités : GNT/GNT, TUF/TUF, SG/SG, AG/AG	0,6
	Chaussées à matériaux traités au bitume : SB/SG	0,4
RP1 et RP2	Sol support (Calcul de $\epsilon_{z,ad}$)	0,6

Tableaux VI .2 la valeur du coefficient d'agressivité A.

❖ La déformation verticale admissible du sol support est donnée par la relation :

$$\epsilon_{Z,ad} = 22 \times 10^{-3} \times TCEi^{-0.235} = 525 * 10^{-6}$$

Avec : $\epsilon_{Z, ad}$: La déformation verticale admissible du sol support;

- ❖ **Le calcul de la contrainte admissible de traction $\sigma_{t, ad}$** à la base de la couche traitée au liant hydraulique (ciment) est donné par la relation suivante :

$$\sigma_{t, ad} = \sigma_6 \times Kne \times Kd \times Kr \times Kc$$

σ_6 : contrainte de flexion limite à 10^6 cycles donnés par essai de fatigue **$\sigma_6 = 0.7$ MPa.**

Tableau 14 : Performances mécaniques des matériaux traités aux liants hydrauliques

Matériaux (MTLH)	E (MPa)	σ_6 (MPa)	-1/b	SN	Sh (cm)	v	kd	kc
GL	20000	0,50	18,4	1,24	3	0,25	1	1,5
GC	20000	0,70	12	1	3	0,25	1	1,5
BCg	35000	2,15	16	1	3	0,25	1/1,47	1,5

GL : grave laitier, GC : grave ciment, BCg : béton de ciment goujonné

Tableaux VI .3performances mécanique des matériaux traités aux liants hydrauliques

Kne : Facteur lié au nombre cumulé d'essieux équivalents supporté par la chaussée, avec :

$$Kne = \left(\frac{TCEI}{10^6} \right)^b = \mathbf{0.841}$$

b : Pente de la droite de fatigue ($b < 0$), (d'après tableau)

$$-\frac{1}{b} = 12 \Rightarrow \mathbf{b = -0.083}$$

Kr : Facteur lié au risque et aux dispersions, avec : $Kr = 10^{-tb\delta}$

b : Pente de la droite de fatigue ($b < 0$), **b = - 0.083;**

t : Facteur de la loi normale, qui est fonction du risque adopté r % . On a : TPL6 et GC \Rightarrow r = 2% \rightarrow **t = -2.054**

δ : fonction de dispersion, avec :

$$\delta = \sqrt{SN^2 + \left(\frac{C}{b} Sh \right)^2} = \sqrt{(1)^2 + \left(\frac{0.02}{-0.083} \times 3 \right)^2} = \mathbf{1.23}$$

Avec :

SN : dispersion sur la loi de fatigue égal **1**

C : coefficient égal à **0.02**

Sh : dispersion sur les épaisseurs en (cm) égal **3 cm.**

Kr=**0.616**

K_c : facteur lié au calage des résultats du modèle de calcul avec le comportement observé sur chaussée : $K_c = 1.5$

$K_d=1$

$$\text{Donc : } \sigma_{t,ad} = 0.7 \times 0.841 \times 1 \times 0.616 \times 1.5 = 0.544 \text{ MPa}$$

❖ **La déformation admissible de traction $\varepsilon_{t,ad}$** à la base de la couche bitumineuse est donné par la relation suivante :

$$\varepsilon_{t,ad} = \varepsilon_6(10^\circ\text{C}, 25\text{Hz}) \times K_{ne} \times K_\theta \times K_r \times K_c$$

Avec :

$\varepsilon_6(10^\circ\text{C}, 25\text{Hz})$: Déformation limite détenue au bout de 10^{-6} cycles avec une probabilité de rupture de 50 % à 10°C et 25Hz , $\varepsilon_6(10^\circ\text{C}, 25\text{Hz}) = 100 \times 10^{-6}$.

Matériau (MTB)	E(30°C, 10Hz) (Mpa)	E(25°, 10Hz) (Mpa)	E(20°, 10Hz) (Mpa)	E(10°, 10Hz) (Mpa)	$\varepsilon_6(10^\circ, 25\text{Hz}) (10^{-6})$	-1/b	SN	Sh (cm)	ν	kc Calage
BB	2500	3500	4000	-	-	-	-	-	0,35	-
GB	3500	5500	7000	12500	100	6,84	0,45	3	0,35	1,3
SB	1500	-	-	3000	245	7,63	0,68	2,5	0,45	1,3

BB : béton bitumineux, GB : grave bitume, SB : sable bitume

Tableaux VI .4 performances mécanique des matériaux bitumineux

K_{ne} : Facteur lié au nombre cumulé d'essieux équivalents supporté par la chaussée, avec :

$$K_{ne} = \left(\frac{TCEi}{10^6}\right)^b = 0.795$$

b : Pente de la droite de fatigue ($b < 0$), (d'après tableau)

$$-\frac{1}{b} = 6.84 \Rightarrow b = -0.146$$

A : 0.6 (RP1 et matériaux cas GB traitée au bitume).

K_θ : Facteur lié à la température, avec :

E (10°, 10HZ) : Module complexe du matériau bitumineux à 10° , égal 12500 MPa;

$E(\theta_{eq}, 10\text{Hz})$: Module complexe du matériau bitumineux à la température équivalente qui est en fonction de la zone climatique considérée (Zone I), égal à 7000 MPa a température 20°.

$$K\theta = \sqrt{\frac{E(10^\circ, 10\text{Hz})}{E(\theta_{eq}, 10\text{Hz})}} = \mathbf{1.336}$$

K_r : Facteur lié au risque et aux dispersions, avec : $K_r = 10^{-tb\delta}$

b : Pente de la droite de fatigue ($b < 0$), $b = -0.146$;

t : Facteur de la loi normale, qui est fonction du risque adopté r %.

On a : TPL6 et GB => $r = 5$ % → $t = -1.645$

		Classe de trafic (TPL) (PL/l/scns)												
		TPL3	TPL4	TPL5	TPL6	TPL7	r%	2	3	5	7	10	12	15
Risque (%)	GB/GB, GB/GNT...	20	15	10	5	2	t	-2,054	-1,881	-1,645	-1,520	-1,282	-1,175	1,036
	GL/GL	15	10	5	2	2	r%	20	23	25	30	35	40	50
	BCg/GC	12	10	5	2	2	t	-0,842	-0,739	-0,674	-0,524	-0,385	-0,253	0

δ : fonction de dispersion, avec :

$$\delta = \sqrt{SN^2 + \left(\frac{C}{b} Sh\right)^2} = \sqrt{(0.45)^2 + \left(\frac{0.02}{-0.146} \times 3\right)^2} = \mathbf{0.609}$$

Avec :

SN : dispersion sur la loi de fatigue égal **0.45**;

C : coefficient égal à **0.02**;

Sh : dispersion sur les épaisseurs en (cm) égal **3 cm**.

K_c : facteur lié au calage des résultats du modèle de calcul avec le comportement observé sur chaussée :

Donc : $K_r = 0.714$; $K_c = 1.3$

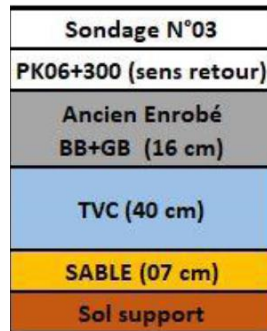
$$\varepsilon_{t,ad} = \varepsilon_6(10^\circ\text{C}, 25\text{Hz}) \times K_{ne} \times K\theta \times K_r \times K_c$$

$$\varepsilon_{t,ad} = 100 \times 10^{-6} \times 0.795 \times 1.336 \times 0.714 \times 1.3$$

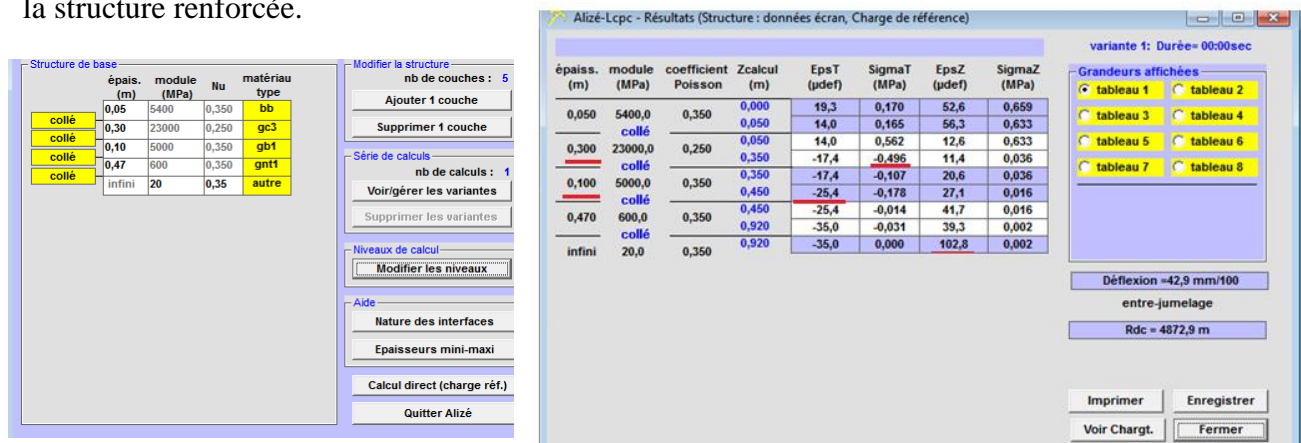
$$\varepsilon_{t,ad} = \mathbf{98.6 \times 10^{-6}}$$

VI.5. Vérification des résultats de calculs des sollicitations par ALIZE III

Après fraisage de la chaussée d'épaisseur moyenne 06 cm, le renforcement par 30 GC + 5BB est disposé sur l'ancien corps de chaussée. Donc sur une couche (d'après les sondages) de 10 cm en BB+GB. Le sol support (S4) est de faible portance d'un CBR environ 4. Donc le module d'élasticité est $E=5.CBR=20$. Une couche de forme de 47 cm.



Les figures suivantes représentent la modélisation du corps de chaussée (épaisseur, module d'élasticité et coefficient de poisson), et les résultats trouvés (déformations et contrainte) pour la structure renforcée.



FigVI.5 :alizélecpc-resultats (structure : données écran ,charge de référence)

	Défomations admissibles *10 ⁻⁶	Contraintes admissibles (MPa)	Défomations calculées *10 ⁻⁶	
ε_z sol support	525		102.8	Vérifiée
σ_t à la base de GC		0.544	0.496	Vérifiée
ε_t à la base de GB	98.6		25.4	Vérifiée

Tableau VI.6. Vérification de la structure 5BB + 30GC +10 GB +47GNT:

D'après les résultats obtenus, on remarque que (ε_z , ε_t et σ_t) sont inférieures aux valeurs admissibles ce qui signifie que la structure proposée ne risque pas d'être tasser ou fissurer vis-à-vis de la traction.

VI.6. CONCLUSION

Le renforcement des chaussées dégradées est influencé par les facteurs suivants : le trafic, la déflexion, l'uni et les dégradations. Le type de renforcement est choisi fonction du niveau d'agressivité de ces facteurs. Dans notre cas et selon les données, le renforcement est très lourd. Selon les matériaux du corps de chaussée, le guide de renforcement propose plusieurs structures. La structure en (BB+GB) est déconseillée puisque elle nécessite une étude complémentaire. Donc selon la disponibilité des matériaux sur le marché, on adopte le renforcement par BB+GC. Et le nouveau corps de chaussée devient : 5BB + 30GC +10 GB +47GNT. Les sollicitations dans le corps de chaussée sous le trafic calculées par Alizé ont été comparées aux valeurs limites calculées selon Fascicule 2. On trouve que cette nouvelle structure ne risque pas d'être tasser ou fissurer vis-à-vis de la traction.



**CONCLUSION
GENERALE**

CONCLUSION GENERALE

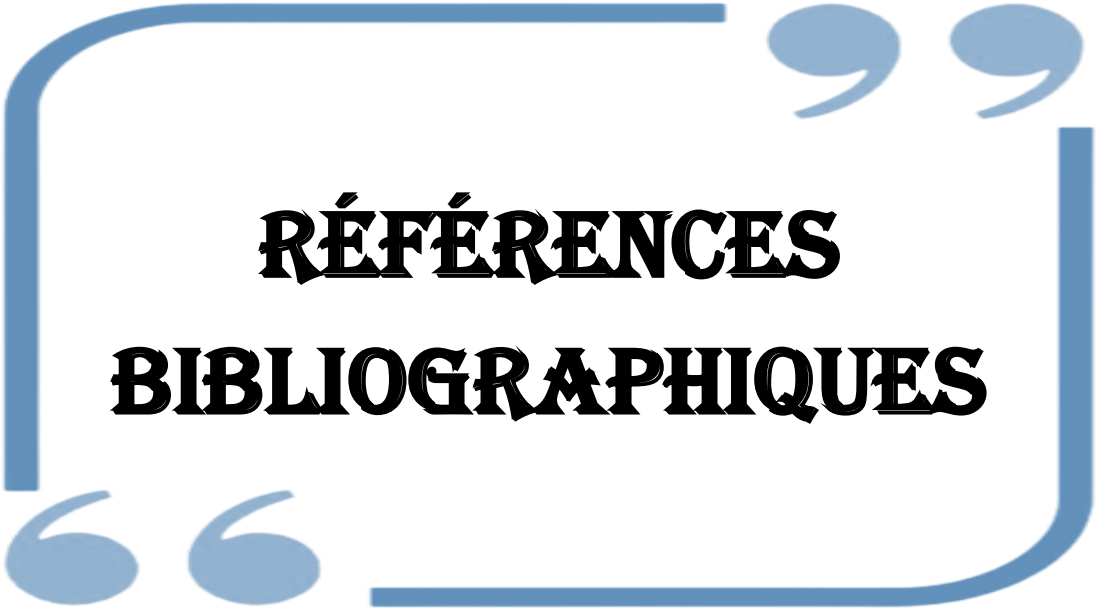
La géotechnique est l'étude des propriétés mécaniques, physiques et hydrauliques des sols en vue de leur utilisation dans la réalisation des ouvrages de génie civil. Son aspect routier est l'une des phases les plus importantes dans la construction et l'entretien d'une route quelque soit l'importance du projet. Par conséquent, l'ingénieur doit impérativement accorder une haute importance à celui-ci dans ses travaux.

Dans le cadre de cette étude, il s'agissait de diagnostiquer les dégradations et de proposer des solutions pour déterminer une intervention appropriée dans les zones jugées critiques, dans le cadre des travaux de renforcement de la Route Nationale N°03 entre Skikda et El Hadaiek, du PK3+500 au PK8+000 sur une distance de 4,5 km.

Pour bien mener cette étude, il était d'abord nécessaire de situer le problème dans son contexte général. Cela a consisté de présenter globalement le projet en mentionnant les différents intervenants. En s'appuyant sur les données telles que le trafic, déflexion et dégradations (ou bien l'environnement du projet), on a évalué la route existante afin de justifier son renforcement. On a trouvé que le renforcement est nécessaire, et il est de type très lourds, suite à l'environnement du projet qui est très agressif.

Pour faire le choix de la variante à mise en œuvre, le guide de renforcement propose plusieurs structures de renforcement fonction des matériaux. La structure en (BB+GB) est déconseillée puisque elle nécessite une étude complémentaire. Donc selon la disponibilité des matériaux sur le marché, on adopte le renforcement par BB+GC pour donner à la chaussée une haute portance de supporter les efforts verticales appliqués et de les transmettre à l'aise au sol support sans risque de tassement ou fissuration vis-à-vis de la traction.

Le nouveau corps de chaussée devient : 5BB + 30GC +10 GB +47GNT, sa résistance est justifiée par le calcul des sollicitations dans le corps de chaussée au moyen de l'outil numérique Alizé et les comparées aux valeurs limites calculées selon Fascicule 2.



**RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ELABORATION D'UN CATALOGUE DES DEGRADATIONS DES CHAUSSEES AU SENEGAL saliou LO et Massamba NDIAYE Juillet 2009.
- Moustapha Bâ « **Détermination des besoins en entretien d'un réseau avec le système VIZIROAD : Application sur l'axe Thilogne-Bakel** » Université de Thiès, Sénégal
- **M. KASSEGNE**, Ingénieur en Génie Civil, « **Cours d'Entretien Routier** », IFTS Lomé-Togo.
- Mémoire de fin d'études en vue d'obtention du diplôme d'Ingénieur en
- Bâtiment et Travaux Publics : RAHARISON « **Andriamihajalaina Heritiana** » LE RESEAU ROUTIER MALGACHE ET TOUTES SES PROBLEMATIQUES.
- Mémoire de fin d'études Nakhla vers Douar El-Maa (wilaya d'El-oued) «**KHALIL NECIB et ABDERRAHMANE GHEDEIR** »
- **ETUDE DE MODERNISATION, REHABILITATION ET DE L'IMPACT SUR L'ENVERONNEMENT DE LA RN 02 SUR 3 KM le 23 juin 2013 par : « RAHMANI Hanane et KADDAR Fatima »**
- **ETUDE D'EXPERTISE DE LA RN 03 DU PK 3+500 AU PK 8+000 SUR UN LINEAIRE DE 4.5 KMS(DEUX SENS) RAPPORT D'EXPERTISE « année 2022 »**

➤ *Site d'internet :*

- <http://www.bitumequebec.ca/wp-content/uploads/2015/06/auscultation-des-chaussees-au-niveau-reseau-m-boucher.pdf>
- <https://www.wikitp.fr/essais-de-compactage/essais-a-la-plaque> « Auteur : Charles A »

1. MIMOIRE DE « Modernisation de la route nationale RN46 avec valorisation du sable de dune dans le grave-ciment comme couche de fondation » an **28/06/2016**, Djelfa.

2. <https://www.infociments.fr/route/caracteristiques-generales-des-chaussees>.

3. ÉTUDE DES DÉGRADATIONS Sur la Route nationale N° 14
(SokodéAlibi20km)

4. http://www.beep.ird.fr/collect/thies/index/assoc/HASH019c/c090e666.dir/pfe.gc.0_546.pdf
5. M. KASSEGNE, Ingénieur en Génie Civil, « Cours d'Entretien Routier », IFTS Lomé-Togo