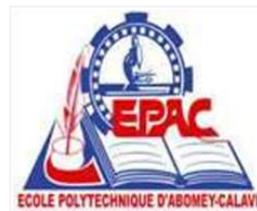




REPUBLIQUE DU BENIN

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

ECOLE POLYTECHNIQUE D'ABOMEY-CALAVI

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

Option : Bâtiment et Travaux Publics (BTP)

MEMOIRE DE FIN DE FORMATION



Pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur de Conception Grade Master

THEME :

**ETUDE DES DEGRADATIONS DES ROUTES
REVETUES : CAS DU TRONCON AKPRO-
MISSERETE - KPEDEKPO**

Présenté et soutenu par :

Ivince Maurice Onésime Mahugnon MONTCHO

Encadrement :

Doctorant GANMAVO Boris

Sous la supervision de :

Dr Valéry K. DOKO

Maître de Conférences des
Universités du CAMES

Année Académique :2021-2022

RÉPUBLIQUE DU BÉNIN

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
(MESRS)

UNIVERSITÉ D'ABOMEY-CALAVI (UAC)

DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL

DIRECTEUR

Docteur ALITONOU Guy Alain

(Professeur Titulaire des Universités du CAMES)

DIRECTEUR ADJOINT

(Chargé des Affaires Académiques)

Docteur PRODJINONTO Vincent

(Professeur Titulaire des Universités du CAMES)

CHEF DU CENTRE AUTONOME DE PERFECTIONNEMENT

Docteur Paul Fidèle TCHOBO

(Professeur Titulaire des Universités du CAMES)

CHEF DU DEPARTEMENT GENIE CIVIL

Docteur Valery Kouandété DOKO

(Maître de Conférence des Universités du CAMES)

Année Académique :2021-2022

LISTE DES ENSEIGNANTS ETANT INTERVENU DANS NOTRE FORMATION

N°	Nom	Prénoms	Matières enseignées
1	ADJOVI	Edmond Codjo	Conception des Charpentes en bois
2	ADELABOU	Saïdou	Planification et Contrôle de projet
3	AGOSSOU	Yémalin Daniel	Conception des ponts
4	ANANOUH	Victor Kouassi	Construction métallique
5	Feu AWANTO	Christophe	-Technique d'Optimisation -Informatique appliquée
6	BOGNON	Wilfried	Structures hydrauliques
7	DOKO	Valéry	-Mécanique des fluides pour Ingénieurs -Contrôle de Qualité
8	FAGBEMI	Latifou	Transfert thermique-Thermodynamique
9	GBAGUIDI	A.N. Magloire	Traitemet des eaux
10	GBAGUIDI	Ahonankpon Hubert	Génie Urbaniste et Architectural
11	GBAGUIDI	Victor	-Béton armé Avancé -Conception en ouvrages d'Art et Bâtiments
12	GBAGUIDI-AISSE	Gérard	Analyse dynamique des structures
13	GIBIGAYE	Mohamed	-Structures -Béton Précontraint
14	GNANHA	Martin	Hydraulique Routière
15	HODE	Wilfrid	Mécanique des sols
16	HOUANOU	Kocouvi Agapi	Introduction aux Eurocodes
17	KPETONI	Roufaï	Dessin Assisté par Ordinateur/Conception Assistée par Ordinateur
18	OLODO	Emmanuel	Introduction à la méthode des éléments finis
19	OLODO	Télé David	-Conception des Routes -Construction et Restauration des Chaussées
20	OLORY	Bienvenu	Anglais Génie Civil
21	SOUMAHO	Gabriel	Passation des Marchés Publics
22	TANKPINOU KIKI	Yvette	Géotechnique
23	WOTTO	Théophile	-Economie de l'Ingénieur -Entrepreneuriat et Innovation

Dédicaces

A mon père **Ignace**

A ma mère **Vicentia**

A ma femme **A. Kalumey SASSOU** et à mes très chers enfants **Kendrick, kéli et Réginald**, pour leur amour et soutien indéfectible durant toutes ces années d'études.

A mes grands frères **Viniak, Géraud** et à ma grande sœur **Corrinne** pour leur soutien inconditionnel, que Dieu nous unisse davantage et renforce nos liens.

Ces quelques mots ne sauront traduire avec exactitude mon affection et ma profonde gratitude à votre égard.

Remerciements

« J'exprime ici ma profonde gratitude à DIEU pour son amour infini. Merci Seigneur pour m'avoir gardé toute ma vie durant et particulièrement ces trois dernières années. GLOIRE A TOI SEIGNEUR AU PLUS HAUT DES CIEUX »

Dire « **Merci** » est et demeure un acte de gratitude envers ceux qui accordent une grâce. Ainsi, je ne saurais commencer la rédaction de ce mémoire sans adresser mes sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à l'aboutissement de ce travail.

✓ Nous tenons à remercier notre maître de mémoire, **Dr Valéry DOKO**, Maître de Conférence des Universités du CAMES, Enseignant Chercheur à l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC) qui nonobstant ses multiples occupations professionnelles, et académiques s'est malgré tout engagé à nous encadrer durant ce travail. Nous lui sommes reconnaissant pour ses encouragements et sa confiance. Merci à vous et que Dieu bénisse vous et votre famille.

Nos remerciements vont également à l'endroit du :

- ↳ **Dr Guy Alain ALITONOU**, Professeur Titulaire des Universités du CAMES, Directeur de l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi ;
- ↳ **Dr Vincent PRODJINONTHO**, Professeur Titulaire des Universités du CAMES, Directeur adjoint de l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi ;
- ↳ **Dr Paul Fidèle TCHOBO**, Professeur Titulaire des Universités du CAMES, Chef du Centre Autonome de Perfectionnement (CAP), Enseignant Chercheur à l'EPAC ;
- ↳ **Dr Valéry DOKO**, Maître de Conférence des Universités du CAMES, Chef du Département de Génie Civil de l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, pour ses précieux conseils et le dévouement au travail qu'il m'a transmis ;
- ↳ Corps des enseignants de l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, en particulier à ceux du Département de Génie Civil qui ne se sont aucunement ménagés pour développer ma passion pour ce travail, pour enrichir mon savoir et pour la qualité de la formation reçue ;
- ↳ Corps administratif du Centre Autonome de Perfectionnement (CAP) et de tous les enseignants, en particulier ceux du Département de Génie Civil. Je voudrais vous dire merci pour la qualité de l'enseignement donné.

A tous ceux, qui de près ou de loin, m'ont permis de traverser ces années d'étude à l'Université d'Abomey-Calavi, je vous remercie du fond du cœur. Je voudrais enfin remercier d'une façon toute particulière, mes camarades et à travers eux, toute notre promotion de Génie Civil.

Résumé

L'évolution progressive des dégradations des routes permet le suivi de la structure afin de déterminer soit l'indice de qualité visuelle, soit la portance résiduelle de la chaussée. On peut donc fixer des seuils d'alerte à partir desquels des actions judicieuses peuvent être entreprises pour sa remise en état. Le présent mémoire est une étude consacrée aux dégradations des routes revêtues, principalement celles qui affectent le tronçon Akpro-missérété-Kpédekpo. Il s'agit de déterminer en fonction de la qualité visuelle du tronçon, la solution idoine pour la remise en état dudit tronçon. Ainsi, des relevés de dégradations ont été établis sur la base d'une inspection visuelle des tronçons. Les relevés ont permis d'évaluer les tronçons par les méthodes VIZIR et CEBTP-LCPC. Les résultats obtenus sont prometteurs car ils préconisent le renforcement de la chaussée. Une structure de chaussée a été également proposée.

Mots clés : Chaussée, dégradation, VIZIR, CEBTP-LCPC.

Abstract

The gradual evolution of road deterioration makes it possible to monitor the structure in order to determine either the visual quality index or the residual bearing capacity of the pavement. Warning thresholds can then be set, at which point judicious action can be taken to restore the pavement. The present report is a study devoted to the deterioration of paved roads, mainly on the Akpro-missérété-Kpédekpo. Based on the visual quality of the section, the aim is to determine the most appropriate solution for restoring them. Based on a visual inspection of the section, damage surveys were carried out. The results obtained are promising, as they recommend reinforcing the pavement. A pavement structure was also proposed.

Key words: pavement, deterioration, VIZIR, CEBTP-LCPC.

Sommaire

Dédicaces	iii
Remerciements	iv
Résumé	v
Abstract	vi
Sommaire	vii
Liste des figures	ix
Liste des tableaux	1
Liste des sigles et abréviations	2
Introduction générale.....	3
0.1 Contexte et justification.....	3
0.2 Problématique.....	4
0.3 Objectif de travail	5
Chapitre 1 : Généralité sur les chaussées et les dégradations	6
1.0 Introduction	6
1.1. La chaussée.....	6
1.2. Méthode de dimensionnement des chaussées.....	14
1.3. Les principales causes des dégradations.....	17
1.4. La qualité des matériaux	18
1.5. La mise en œuvre.....	18
1.6. Les types de dégradations.....	18
1.7. Processus de dégradation par type de chaussées	19
1.8. Les types de dégradations sur les chaussées revêtues	23
Chapitre 2 : Matériaux, matériels et méthodes utilisées.....	38
2.1. Localisation et caractéristiques des tronçons	38
2.1 Matériels	41
2.2 Méthodes	46
Chapitre 3 : Résultats et Discussions	69
3.1 Résultats d'Auscultation visuelle	69

3.2 Causes probables des dégradations observées	79
3.3 Résultats d'Auscultation mécanique	81
3.4 Evaluation sur les chaussées ciblées.....	84
Conclusion générale	92
Références	xiii
Table des matières	xviii

Liste des figures

Figure 1 : Photo de la structure type d'une chaussée	7
Figure 2 : Structure type d'une chaussée souple	7
Figure 3 : Structure type d'une chaussée bitumineuse épaisse	8
Figure 4 : Structure type d'une chaussée semi-rigide	8
Figure 5 : Structure type d'une chaussée mixte	9
Figure 6 : Structure type d'une chaussée inverse	9
Figure 7 : Structure type d'une chaussée rigide	10
Figure 8 : Coupe type d'une chaussée non revêtue	11
Figure 9: Carte géologique du Bénin	13
Figure 10 : Sollicitations internes dans les structures de chaussées	16
Figure 11 : Schématisation d'un affaissement	25
Figure 12 : Schématisation d'une ornière.....	26
Figure 13 : Schématisation d'un bourrelet	27
Figure 14 : Schématisation d'une fissure transversale	28
Figure 15 : Schématisation d'une fissure longitudinale	30
Figure 16 : Schématisation des faïençages.....	31
Figure 17 : Schématisation des pelades.....	33
Figure 18 : Schématisation de nid de poule	34
Figure 19 : Schématisation de dentelles de rive.....	35
Figure 20 : Epaufures de grande ampleur	35
Figure 21 : Localisation du tronçon Akpro missérété-Kpedekpo	40
Figure 22 : Photo de l'appareil photo	41
Figure 23 : Photo du Jalon.....	42
Figure 24 : Photo des plots de chantier	42
Figure 25 : Photo de la poutre de Benkelman placée sous le véhicule	43
Figure 26 : Photo de la carotteuse et ses accessoires.....	44
Figure 27 : Photo de l'appareil de mesure d'UNI	45
Figure 28 : Photo de la mesure d'uni à la règle de 3 m	46
Figure 29 : Photo de la mesure d'uni à la règle de 3 m	46
Figure 30 : Photo d'une carotte fragmentée	47
Figure 31 : Photo de carotte désagrégée.....	47
Figure 32 : VIZIR – Organigramme de fonctionnement.....	55

Figure 33 : Analyse de l'indice de surface	61
Figure 34 : Photo des bourrelets	69
Figure 35 : Photos de l'orniérage	71
Figure 36 : Photos de l'affaissement et faïençage	72
Figure 37 : Photo du réseau de fissurations longitudinales	73
Figure 38 : photo de fissurations longitudinales	73
Figure 39 : Photo des fissurations transversales.....	73
Figure 40 : Photo des arrachements	75
Figure 41 : Photo des arrachements	75
Figure 42 : Photos des nids de poule	76
Figure 43 : Calcul de l'allongement ξ_t à la base du béton bitumineux	88
Figure 44 : Calcul de la déformation verticale ξ_z sur GNT et sol	89
Figure 45 : Chargement des données (épaisseurs des couches et modules de Young des matériaux).....	90

Liste des tableaux

Tableau 1 : Relation entre déflexion et qualité structurelle de la chaussée	48
Tableau 2 : Niveau de gravité des gradations de A	52
Tableau 3 : Niveau de gravité des gradations de B	53
Tableau 4 : Note de qualité Q.....	57
Tableau 5 : Exemple du tableau de solutions en fonction du trafic.....	59
Tableau 6 : Indice de surface.....	60
Tableau 7 : Note de qualité.....	61
Tableau 8 : Résultats de comptage de trafic	62
Tableau 9 : CAM selon le trafic de chaussée	64
Tableau 10 : Définition de classe de trafic	64
Tableau 11 : Résultats essai CBR.....	65
Tableau 12 : Résultats essai CBR.....	66
Tableau 13 : Résultats essai CBR.....	66
Tableau 14 : Classe de la portance	67
Tableau 15 : Synthèse des dégradations relevées.....	79
Tableau 16 : Déflexions de la chaussée.....	81
Tableau 17 : Récapitulatif du pourcentage	83
Tableau 18 : Zones de dégradation.....	83
Tableau 19 : Déflexion caractéristique de la section étudiée	84
Tableau 20 : Quantification des dégradations entre PK49+000 et PK69+700.....	84
Tableau 21 : Vérification des contraintes et déformations de la chaussée	90

Liste des sigles et abréviations

- AASHTO : American Association of State Highway and Transportation Officials
CBR : Californian Bearing Ratio
CEBTP : Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics
CNERTP : Centre National d'Essais et de Recherches des Travaux Publics
LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
NF : Norme française
TVO : Teneur en vide d'Origine

Introduction générale

0.1 Contexte et justification

Les chaussées jouent un rôle fondamental dans nos systèmes de transport, assurant la connectivité entre les villes, les régions et les pays. Elles sont les artères vitales qui permettent aux véhicules de circuler en toute sécurité et efficacité[1] [2] [3]. L'étude des chaussées revêt une importance capitale dans le domaine de l'ingénierie routière et de la planification des infrastructures, car elle vise à comprendre et à améliorer les différentes facettes de ses structures essentielles.

Les dégradations de chaussée, telles que les nids-de-poule, les fissures ou les affaissements, peuvent compromettre la sécurité des conducteurs et des usagers de la route. Une étude des techniques de réparation vise à identifier les méthodes les plus efficaces pour rétablir rapidement l'intégrité structurelle de la chaussée et réduire les risques d'accidents.

Les infrastructures routières nécessitent un entretien régulier pour prévenir les dégradations majeures et prolonger leur durée de vie. Une étude approfondie des techniques de réparation permet de déterminer les méthodes les plus économiques, durables et rentables pour restaurer les chaussées endommagées, en évitant ainsi des coûts de réparation plus importants à long terme.

La programmation de l'entretien routier est effectuée par les structures compétentes à partir des données routières collectées sur le réseau par le Service des Banques de Données Routières (SBDR) qui organise annuellement des campagnes de recueils de données sur l'ensemble du réseau routier. Les données collectées concernent essentiellement :

- les dégradations de la chaussée par la méthode VIZIR avec l'équipement VIZIROAD.
- le trafic à partir des comptages manuels ;
- l'uni de la chaussée à partir des relevées avec l'équipement Bump Intégrator
- les déflections de routes revêtues avec la poutre Benkelman ;
- les dégradations des ouvrages hydraulique à partir des inspections sommaires.

Les données collectées permettent d'actualiser la Banque de Données Routières (BDR) qui servent à la programmation de l'entretien routier à partir du logiciel GIRR.

Les méthodes de réparation des dégradations de chaussées doivent également prendre en compte l'impact environnemental. L'étude des techniques de réparation permet d'évaluer les options qui réduisent l'utilisation de matériaux et d'énergie, favorisent le recyclage des

matériaux existants et minimisent les émissions polluantes associées aux travaux de réparation.

Des chaussées en mauvais état peuvent entraîner des secousses, des vibrations et un inconfort pour les usagers de la route. En étudiant les différentes techniques de réparation, il est possible de trouver des solutions qui restaurent la surface de la chaussée de manière à assurer une conduite lisse et confortable, améliorant ainsi l'expérience des conducteurs et des passagers.

Ainsi à l'initiative de l'UEMOA, des normes techniques de construction et d'entretien des routes du réseau routier communautaire ont été définies. Il s'agit :

- du Règlement n°08/2009/CM/UEMOA portant adoption du statut du réseau routier communautaire de l'UEMOA et de ses modalités de gestion du 25 septembre 2009 ;
- de la Directive n°11/2009/UEMOA portant harmonisation des stratégies d'entretien routier dans les Etats membres de l'UEMOA.

Et le Règlement 14/2005/CM/UEMOA relatif à l'harmonisation des normes et des procédures du contrôle du gabarit, du poids et de la charge à l'essieu des véhicules lourds dans les Etats membres de l'UEMOA.

0.2 Problématique

Les dégradations des chaussées peuvent être causées par divers facteurs tels que le trafic intense, les conditions climatiques, la mauvaise conception ou la qualité des matériaux, le manque d'entretien régulier et la surcharge des véhicules.

Ces dégradations constituent un risque majeur pour la sécurité des usagers d'une route. Les nids-de-poule et les fissures peuvent causer des accidents, endommager les véhicules et entraîner des blessures graves, voire la perte en vies humaines. La réparation efficace et rapide de ces dégradations est donc essentielle pour garantir la sécurité des conducteurs, des passagers et des piétons. C'est dans cette logique que nous avons choisi le thème : « **Etude des dégradations des routes revêtues : cas du tronçon Akpro-missérété-Kpédekpo**».

0.3 Objectif de travail

⇒ Objectif général

L'objectif principal de ce travail est d'étudier les dégradations de la chaussée du tronçon Akpro missérété-Kpedekpo.

⇒ Objectifs spécifiques

De façon spécifique, il s'agit de :

- ⦿ Présenter les notions essentielles sur la chaussée ;
- ⦿ Présenter les différents types de dégradations des chaussées ;
- ⦿ Faire un diagnostic sur l'état de la chaussée du tronçon Akpro Missérété-Kpédékpô;
- ⦿ Analyser ce tronçon ;
- ⦿ Proposer des solutions pour la réparation en technique routière de ce tronçon

0.4 Approche méthodologique et plan d'étude

Notre étude sera basée sur trois axes principaux que sont :

- Documentation relative à ce sujet ;
- Collecte des informations sur la zone ;
- Descente sur le terrain ;

Le présent document est structuré autour de trois (03) chapitres distincts de l'introduction générale à la conclusion générale puis les perspectives. Le premier chapitre présente les notions essentielles sur la chaussée et les dégradations. Ensuite, le deuxième chapitre présente les matériaux, matériels et méthodes. Quant au troisième chapitre, il expose les résultats et discussions sur les techniques de réparation des dégradations des chaussées souples.

Chapitre 1 : Généralité sur les chaussées et les dégradations

1.0 Introduction

La route, l'un des éléments les plus fondamentaux de notre infrastructure moderne, tisse une toile interconnectée qui relie les communautés, les régions et les nations entre elles [4]. Depuis les premiers chemins tracés par nos ancêtres jusqu'aux autoroutes et voies rapides d'aujourd'hui, les routes ont façonné nos sociétés, notre commerce et nos modes de vie [5]. Elles offrent une voie pour l'exploration, le commerce et la découverte, permettant aux voyageurs d'explorer de nouveaux horizons et de se connecter les uns aux autres. Dans ce chapitre, il est question de présenter les notions essentielles sur la chaussée et les dégradations.

1.1. La chaussée

1.1.1. Définition

Une chaussée est une surface spécialement aménagée, sur le sol ou sur un ouvrage pour le stationnement ou la circulation des personnes et des véhicules. Elle fait généralement partie d'un ouvrage plus complexe. Son objet premier est d'assurer une viabilité permanente et de permettre la circulation en toute saison et en toute sécurité sans intervention d'un entretien courant [6]. Les paramètres fondamentaux entrant dans le dimensionnement d'une chaussée sont : le sol support le trafic et les matériaux sélectionnés.

1.1.2. Les différentes structures de chaussée

La structure d'une route est l'ensemble des couches de matériaux de qualités variables empilées les unes sur les autres pour résister aux sollicitations du trafic. Une fois empilées, les couches ne sont plus susceptibles de subir des variations donc conservent leur épaisseur. Les matériaux qui rentrent dans la structure d'une chaussée sont généralement des matériaux granulaires, c'est-à-dire des matériaux qui s'écoulent sous leur propre poids. Une structure type de route est schématisée sur la photo suivante [7].

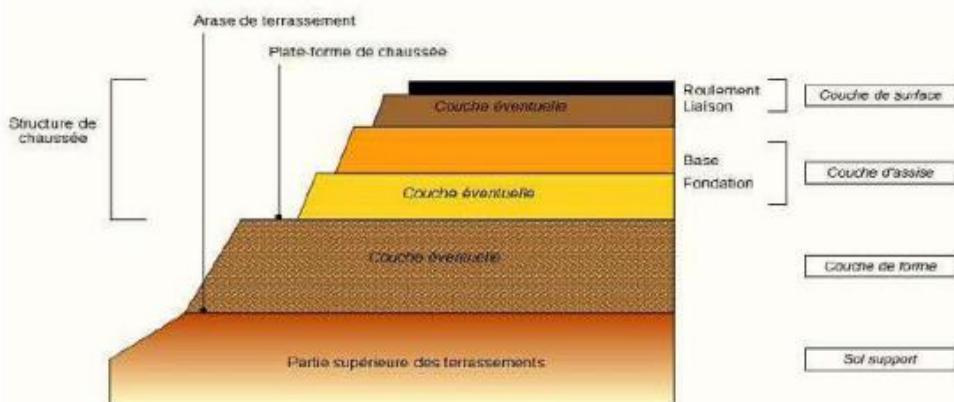


Figure 1 : Photo de la structure type d'une chaussée

Source :[8]

On distingue deux grandes familles de chaussées classiques, les chaussées revêtues et les chaussées non revêtues.

1.1.2.1. Les chaussées revêtues

Il existe plusieurs types de structures de chaussées revêtues. Selon le Guide technique de conception et de dimensionnement des structures de chaussées du LCPC-SETRA, on distingue : *les chaussées souples, les chaussées bitumineuses épaisse, les chaussées semi-rigides, les chaussées mixtes, les chaussées inverses, les chaussées rigides* [9]

1.1.2.2. Les chaussées souples

Ces structures comportent une couverture bitumineuse relativement mince (inférieure à 15 cm), parfois réduite à un enduit pour les chaussées à très faible trafic, reposant sur une ou plusieurs couches de matériaux granulaires traités ou non. L'épaisseur globale de la chaussée est généralement comprise entre 30 et 60 cm [9]:



1. Couche de surface en matériaux bitumineux
2. Couche de base en matériaux granulaires
3. Couche de fondation en matériaux granulaires
4. Plateforme support

Figure 2 : Structure type d'une chaussée souple

Source :[8]

1.1.2.3. La chaussée bitumineuse épaisse

C'est une structure composée d'une couche de surface et d'une couche de base en matériaux bitumineux. La couche de fondation éventuelle peut être en matériaux bitumineux ou en grave non traitée.

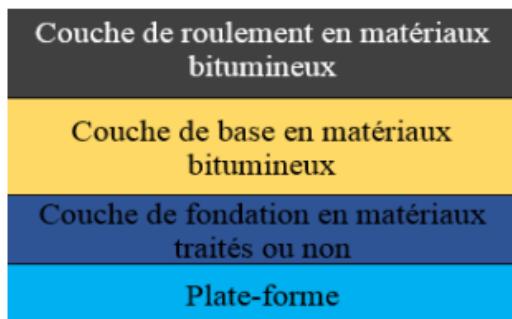


Figure 3 : Structure type d'une chaussée bitumineuse épaisse

1.1.2.4. Les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques ou semi-rigide

Structures composées d'une couche de surface en matériaux bitumineux sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques.



Figure 4 : Structure type d'une chaussée semi-rigide

1.1.2.5. La chaussée mixte

Structure composée d'une couche de surface et une couche de base en matériaux bitumineux, à l'exclusion d'enrobés à module élevé, sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques. Le rapport K de l'épaisseur de matériaux bitumineux à l'épaisseur totale de la chaussée est compris entre 0,45 et 0,60.

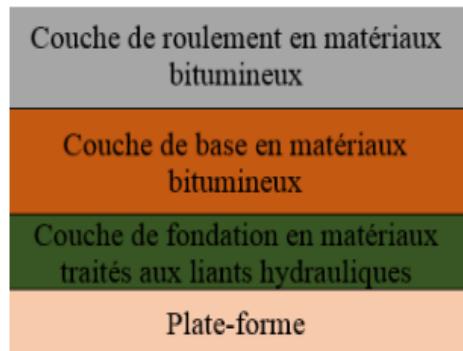


Figure 5 : Structure type d'une chaussée mixte

Source :[8]

1.1.2.6. Les chaussées inverses

Structures composées de couches bitumineuses, sur une couche en grave non traitée d'épaisseur comprise entre 0,10 m et 0,12 m, reposant elle-même sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques. [8]



Figure 6 : Structure type d'une chaussée inverse

Source :[8]

1.1.2.7. Les chaussées en béton de ciment ou rigide

Structures comportant une couche en béton de ciment d'au moins 0,12 m. Elles peuvent être classées en trois catégories : béton de ciment sur matériau bitumineux, béton de ciment sur matériau hydraulique et béton de ciment sur couche de forme ou couche drainante.

Dans la technique des chaussées en béton de ciment, les couches de base et de roulement peuvent former une seule et même couche appelée couche base-roulement. Dans le cas d'utilisation d'une couche de roulement mince bitumineuse, la couche de béton devient une couche de base. [9]

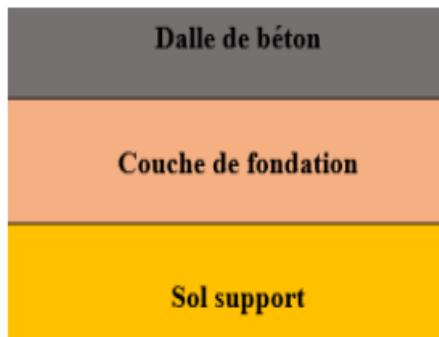


Figure 7 : Structure type d'une chaussée rigide

Source :[8]

1.1.2.8. Les chaussées non revêtues

Les chaussées non revêtues font référence à des surfaces de route qui ne sont pas recouvertes d'un matériau d'asphalte ou de béton. Au lieu de cela, ces chaussées reposent sur des matériaux naturels tels que le gravier, le sable, la terre ou d'autres agrégats non liés. Les chaussées non revêtues peuvent être constituées de différents types de matériaux selon la disponibilité locale et les conditions géographiques. Le gravier est l'un des matériaux les plus couramment utilisés, car il offre une surface relativement stable et durable. Ces chaussées sont souvent utilisées dans les zones rurales, où le trafic est moins intense. Elles peuvent également être présentes sur des routes d'accès, des pistes forestières, ou dans des zones où l'installation d'une chaussée revêtue n'est pas justifiée en termes de coûts.

La coupe d'une chaussée non revêtue est constituée de :

Surface de roulement (gravier) : la couche supérieure de la chaussée non revêtue est généralement constituée de gravier ou d'autres matériaux similaires. Cette couche offre la surface de roulement pour les véhicules.

Couche de base : en dessous de la surface de roulement, il y a souvent une couche de base constituée de matériaux plus gros, tels que des agrégats de gravier ou de pierre concassée. Cette couche contribue à la stabilité structurelle de la chaussée.

Couche de sous-base : la sous-base est une couche supplémentaire située en dessous de la couche de base. Elle peut être constituée de matériaux plus fins, comme du sable ou de la terre compactée, visant à fournir un support supplémentaire.

Couche de sol natif : en certaines occasions, la chaussée non revêtue peut reposer directement sur le sol natif. Cela dépend des conditions du sol et des spécifications de conception. Dans ce cas, des techniques d'amélioration du sol peuvent être utilisées pour renforcer le sol naturel.

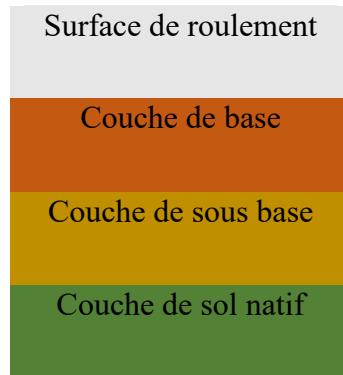


Figure 8 : Coupe type d'une chaussée non revêtue

Source :[8]

1.1.3. Rôle des différentes couches d'une chaussée (NF P 98-080-1)

1.1.3.1. Partie supérieure des terrassements

Zone supérieure d'environ un mètre d'épaisseur des terrains en place (cas des profils en déblais) ou des matériaux rapportés (cas des profils en remblais), notée PST. Elle sert de support à la couche de forme ou, en son absence, aux couches de chaussées [9].

1.1.3.2. Arase de terrassement

Surface de la partie supérieure des terrassements

1.1.3.3. Couche de forme

Cette couche de transition entre le sol support et le corps de la chaussée a une double fonction :

- Pendant la phase de travaux, elle protège le sol support, elle établit une qualité de nivellation et permet la circulation des engins pour l'approvisionnement des matériaux et la construction des couches de chaussée,
- Vis-à-vis du fonctionnement mécanique de la chaussée, elle permet de rendre plus homogènes et éventuellement d'améliorer les caractéristiques dispersées des matériaux de remblai ou du terrain en place ainsi que de les protéger du gel.

Le rôle des couches formant le corps de chaussée :

- ***Les couches d'assise : fondation et base,***
- ***La couche de surface,*** peut être distinguée par leur apport aux fonctions que doit assurer la chaussée).

1.1.3.4. Plateforme support de chaussée

Surface de la couche de forme destinée à recevoir les couches de chaussées. Dans le cas où la couche de forme n'est pas présente, la plateforme support de chaussée se confond avec l'arase de terrassement [9]

1.1.3.5. Couches d'assise

L'assise de chaussée est généralement constituée de deux couches, la couche de fondation surmontée de la couche de base. Ces couches en matériaux élaborés (le plus souvent liés pour les chaussées à trafic élevé) apportent à la chaussée la résistance mécanique aux charges verticales induites par le trafic. Elles répartissent les pressions sur la plateforme support afin de maintenir les déformations à ce niveau dans des limites admissibles.

Pour les chaussées à faible trafic, le rôle de la couche de fondation peut être, dans certains cas, assuré par un traitement du sol en place [9]

1.1.3.6. Couche de surface

La couche de surface est constituée : de la **couche de roulement**, qui est la couche supérieure de la structure de chaussée sur laquelle s'exercent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat, et le cas échéant d'une **couche de liaison**, entre les couches d'assise et la couche de roulement.

C'est à l'interface entre la couche de surface et la couche de base que l'on trouvera éventuellement les dispositifs visant à ralentir la remontée des fissures des couches d'assise traitées aux liants hydrauliques.

Des caractéristiques de surface de la couche de roulement dépendent pour une large part de la qualité d'usage de la chaussée. La couche de surface contribue en outre à la pérennité de la structure de chaussée, en particulier par la fonction d'étanchéité vis-à-vis de l'assise [9].

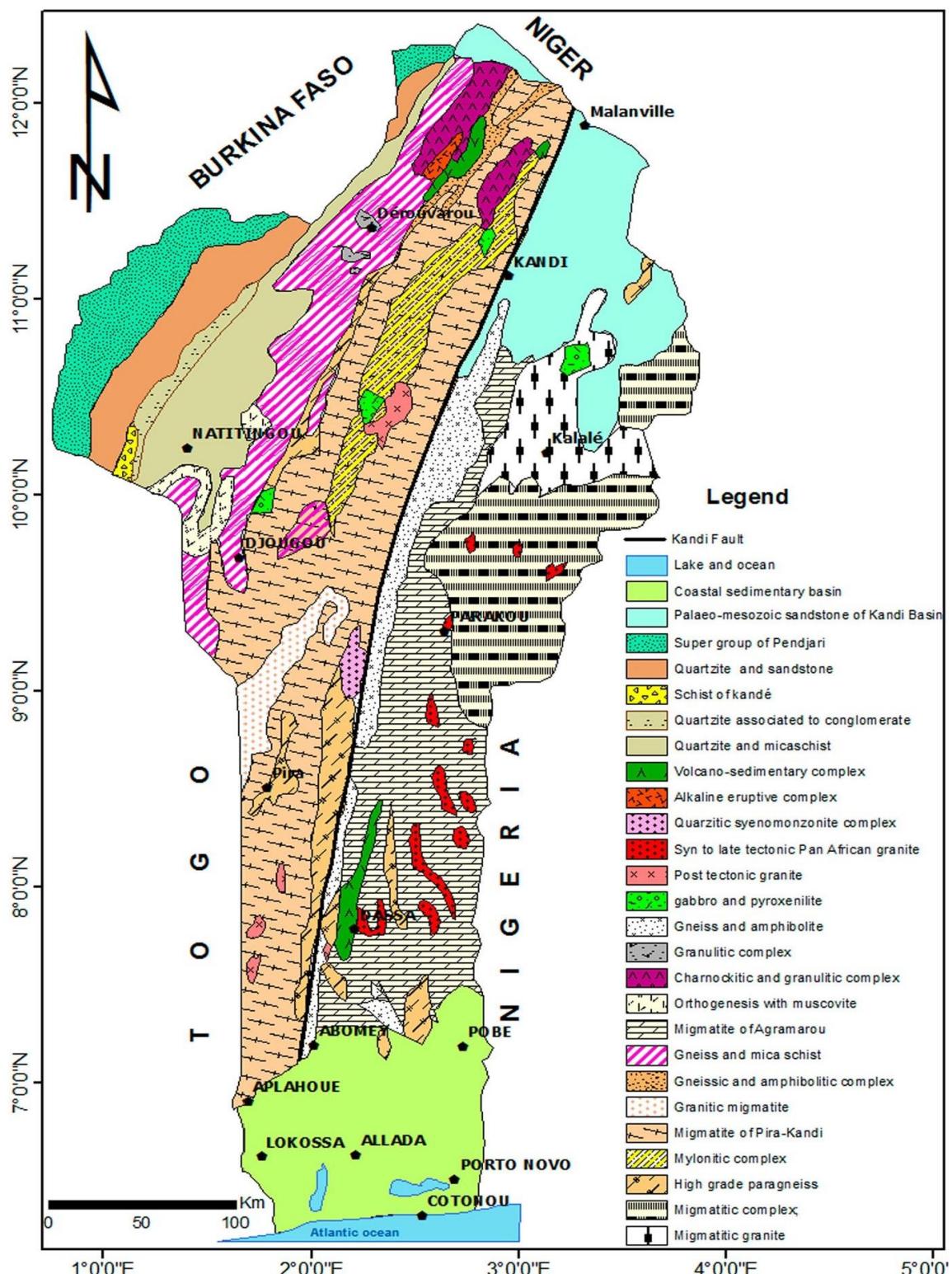


Figure 9: Carte géologique du Bénin

Source : <https://images.app.goo.gl/YHMCkHIYs3SsMssu6>

1.2. Méthode de dimensionnement des chaussées

Le dimensionnement des structures de chaussées est un processus par lequel chacune des couches composant la structure des chaussées est déterminée de façon à ce qu'elle soit capable de supporter le volume et les charges du trafic actuel et futur. [10][11]. Dans le domaine routier, les différentes méthodes de dimensionnement les plus utilisées sont : la méthode empirique, la méthode mécaniste et la méthode mécaniste-empirique.

1.2.1. La méthode empirique

Elle est une approche par laquelle différentes relations statistiques ont été établies entre les caractéristiques structurales et le comportement de la chaussée par des observations systématiques.[10][11] Ces observations relèvent de l'expérimentation ou de l'expérience. Elles permettent d'établir des relations entre les différentes variables et les résultats obtenus. L'application de ces diverses relations en dehors de l'environnement du projet où elles ont été établies doit se faire avec beaucoup d'attention puisque les résultats obtenus des expérimentations peuvent varier significativement d'un projet à l'autre. De ce fait, l'inconvénient principal de cette méthode est son applicabilité qui se limite à des matériaux et des charges du trafic dans un projet bien déterminé. Cette approche empirique de dimensionnement des infrastructures routières peut être simple ou complexe. L'approche simple est la méthode de dimensionnement des chaussées à partir des expériences acquises.[10][11]

L'approche empirique complexe est la méthode de dimensionnement des chaussées à partir des équations empiriques dérivées des expérimentations. La méthode **AASHTO** (American Association of State Highway Transportation Officials) de dimensionnement des chaussées est la méthode la plus connue de dimensionnement des chaussées à partir des expériences et des expérimentations sur les travaux routiers réels construits en Ontario à cet effet.

Dans les pays en voie de développement, des approches de dimensionnement empiriques, des chaussées ou méthodes des catalogues ont été aussi développées sous forme de guides de dimensionnement. « Le Guide de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux »[12], le guide « a guide to structural design of bitumen-surfaced roads in tropical and sub-tropical countries » [13] et le catalogue des structures de chaussées neuves et guide de dimensionnement des chaussées au Sénégal sont les principales approches de dimensionnement des chaussées flexibles utilisées en Afrique Sub-Saharienne.

1.2.2. La méthode mécaniste

La méthode mécaniste de dimensionnement consiste en la détermination des sollicitations internes fondées sur les théories élastiques linéaires, élastiques non linéaires, viscoélastiques et plastiques [14]. La théorie élastique multicouche est la plus couramment utilisée en pratique[15]. Par ailleurs, l'évaluation des sollicitations internes dans les couches d'assise des chaussées par la théorie élastique multicouche nécessite la formulation de certaines hypothèses à savoir l'homogénéité et l'isotropie des propriétés des matériaux à utiliser, des épaisseurs de couches d'assise sauf l'épaisseur du sol support qui est infinie ; les contraintes des matériaux sont évaluées en les considérant linéaires et élastiques selon la loi de Hooke[16]. Cette méthode mécaniste permet de déterminer les différentes contraintes et déformations dans les différentes couches d'assise de la structure des chaussées en fonction des propriétés des modules d'élasticité (E) de chaque matériau, les coefficients de poisson (v) et des épaisseurs (h) ainsi que les charges du trafic.

D'une façon générale, le dimensionnement des chaussées, l'évaluation des contraintes et des déformations à la base de chacune des couches sont calculées. Il faut que ce calcul ne concerne pas la couche de base qui peut être traitée au ciment (structure semi-rigide). Il est donc nécessaire de calculer la contrainte ou déformation à sa base en plus des autres sollicitations internes des autres couches[17]. Le logiciel Alize-LCPC est un modèle mécaniste qui est développé par le Département Matériaux et Structures de l'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux[18] pour faciliter la mise en œuvre de la méthode rationnelle française de dimensionnement des chaussées dans le domaine des études sur les transports, les routes et leurs aménagements (SETRA) d'une part et d'autre part, par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC). En prenant en compte la charge de trafic (13 tonnes), l'épaisseur (h), le module d'élasticité (E) et le coefficient de poisson(v) de chacune des couches de la chaussée, Alize-LCPC permet de déterminer les contraintes et déformations à différents points critiques de la structure de la chaussée. De même, Alize- LCPC permet aussi d'évaluer les contraintes et déformations admissibles en prenant compte des performances des divers matériaux de chacune des couches de la chaussée. Les sollicitations internes dans le corps des chaussées à savoir : la contrainte ou déformation de traction à la base de la couche de surface bitumineuse, la contrainte ou déformation de traction à la base de la couche de base et la contrainte ou déformation verticale (compression) à la surface du sol de support ou de la plateforme sont présentées par la figure suivante :

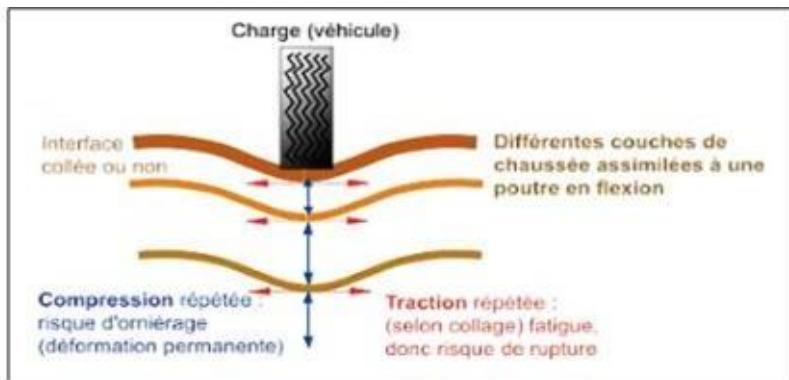


Figure 10 : Sollicitations internes dans les structures de chaussées

Source : [8]

1.2.3. Méthode mécaniste-empirique

La performance de la chaussée est déterminée empiriquement et dépend de plusieurs modes de rupture de la chaussée dont les plus importants sont la fissuration par fatigue et par l'orniérage. La fissuration par fatigue et la progression des fissures sont à la surface des infrastructures routières, généralement sous forme de fissures de mailles (faïençage) suivant les traces des roues des véhicules qui sont dues par la répétition des charges du trafic. L'orniérage est une déformation plastique d'ordre permanente des chaussées qui est due par la répétition des charges du trafic suivant le long des traces des roues des véhicules sur les infrastructures routières. Les ornières sont localisées à la surface des chaussées sous forme d'affaissements localisés suivant le long des traces des roues des véhicules. Cette méthode de dimensionnement mécaniste-empirique consiste à relier les sollicitations internes calculées par la méthode de dimensionnement mécaniste aux performances observées, telles que la fissuration par fatigue et l'orniérage.

La méthode mécaniste-empirique est une méthode qui donne la meilleure performance en termes de résultats en tenant compte des manques des deux autres méthodes. Cette méthode est une méthode de dimensionnement qui tient compte des relations pour une large variété de matériaux, de charges et d'environnements mais son application demeure un défi énorme pour les utilisateurs.

1.3. Les principales causes des dégradations

Les chaussées se dégradent continuellement sous l'effet du trafic lourd et des conditions climatiques. Les dégradations qui apparaissent sont également liées à la nature et à l'épaisseur des matériaux utilisés et à leurs conditions de fabrication et de mise en œuvre.

1.3.1. Le trafic

L'usure de la couche de roulement est la conséquence directe des efforts de cisaillements qui se manifestent au contact des pneumatiques. Elle entraîne essentiellement des pertes de matériaux, le polissage des granulats, la diminution de la rugosité. Elle dépend du 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 intergranulaires entraîne des effets d'attrition, la production de fines et l'augmentation de la plasticité. La couche de roulement devenant moins rigide, les déformations sous charges augmentent, deviennent irréversibles, et il en résulte sa destruction plus ou moins rapide. Ces phénomènes de fatigue sont fonction non seulement du nombre de répétitions des charges mais aussi et surtout des charges sur essieu. Le respect de la limitation des charges à l'essieu revêt donc d'une importance capitale pour une bonne exploitation de la route en adéquation avec les hypothèses de dimensionnement.

1.3.2. Les conditions climatiques

Le paramètre le plus nuisible sur le corps de chaussée est la présence de l'eau. L'eau pénètre dans le corps de chaussée :

- Par infiltration ;
- Par percolation ;
- Par remontées capillaires

La teneur en eau d'un sol si elle est trop élevée peut provoquer des désordres importants en modifiant la portance ou en favorisant l'attrition de certains granulats comme les latérites. Les matériaux traités aux liants hydrauliques sont particulièrement sensibles au phénomène de désenrobage. En effet, l'eau peut s'interposer entre les granulats et les liants lorsque la qualité du collage entre ces corps n'est pas suffisante.

Aussi, quand les accotements ne sont pas protégés, des ravinements sont très probables par l'effet du ruissellement. Il se manifeste sur les bords de la chaussée, perpendiculairement à son axe, lorsque la pente transversale est trop forte. En outre, nous

savons que les revêtements bitumineux sont très sensibles aux variations de températures. Ainsi, l'exposition à des températures élevées, non prises en compte dans le choix d'un bitume, pourra entraîner un vieillissement rapide de ce dernier.

1.4. La qualité des matériaux

Elle est d'une importance capitale car il est difficile de faire une route de qualité à partir de matériaux aux caractéristiques médiocres. Les dégradations liées à la mauvaise qualité des matériaux peuvent être causées par :

- Une granulométrie incorrecte ;
- Un pourcentage élevé d'éléments roulés ;
- Une dureté des granulats insuffisante ;
- Des granulats sales ;
- Un malaxage insuffisant.

1.5. 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 lors du compactage pourra se traduire par un ouvrage fini d'une qualité médiocre. Ainsi, divers défauts de mise en œuvre peuvent conduire à des dégradations aux conséquences variées :

- Défaut de compacité aux accotements : il y'a affaissement sous la charge des poids lourds ; il en résulte après un fluage de la couche de base ;
- Poche de points faibles en couche de base : il en résulte une cassure du revêtement plus rigide et une formation de nids de poule ou de flaches ;
- Défaut de compacité sur l'assise et sur la plateforme : la conséquence immédiate est l'existence de poches de points faibles conduisant à des orniérages ou pelades ;
- Mauvais accrochage du revêtement sur la couche de base : il peut donner lieu à un faïençage de la chaussée, à une pelade du revêtement ;
- Compactage excessif des couches de chaussées : il peut donner des ornières.

1.6. Les types de dégradations

Les dégradations les plus couramment rencontrées se classent en deux grandes familles : les dégradations structurelles et les dégradations superficielles. Les premières apparaissent au sein de la structure de chaussée ou de son support et remettent en cause le

patrimoine. Les secondes prennent naissance dans la couche de surface de la chaussée et affectent d'abord ses qualités superficielles.

1.6.1. Les dégradations structurelles (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. On y trouve essentiellement les déformations et les fissurations par fatigue.

1.6.2. Les dégradations non structurelles (Type B)

Encore appelées dégradations superficielles, elles 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. Dans les dégradations de type B, on distingue : Les fissurations (hors fatigue), les arrachements et les mouvements de matériaux.

1.7. Processus de dégradation par type de chaussées

Dès sa mise en service, la route se dégrade. Lorsque la couche de roulement est en terre, les désordres sont souvent spectaculaires, et leur développement est particulièrement rapide. Cela est bien connu. Ce qui l'est moins, c'est que les chaussées pourvues d'un revêtement hydrocarboné s'usent également et que pas plus que les premières, elles ne sauraient se passer d'une surveillance et de soins attentifs. Quant aux chaussées en béton, elles sont moins susceptibles aux effets des intempéries que les deux premières mais se dégradent elles aussi à des degrés moins élevés.

Dans un cas comme dans l'autre, ces désordres varient beaucoup, dans leur forme et leur ampleur, avec le climat, les sols, la circulation et les caractéristiques géométriques de la route.

1.7.1. Chaussées revêtues

1.7.1.1.Chaussées souples

Elles transmettent faiblement les contraintes engendrées par la circulation en ne les atténuant jusqu'à un niveau compatible avec la portance du sol. Dans ces conditions, la répétition de ces contraintes va entraîner une déformation plastique de l'assise granulaire et/ou du sol et se traduit par des déformations permanentes en surface. En période pluvieuse, on peut observer une élévation de la teneur en eau du support localisée sur les bords de

chaussée. La faible rigidité de ces chaussées les rend sensible à la réduction de portance due à l'élévation de la teneur en eau du support qui en résulte. La couverture bitumineuse reposant sur un support peu rigide, est sollicitée à sa base par des efforts de traction-flexion. Leur répétition peut conduire à sa rupture. Ainsi, le processus de dégradation de ces types de chaussées comportera donc :

- L'apparition de déformations permanentes (flaches, affaissements de rive et ornières) qui croissent en gravité et en étendue ;
- L'apparition d'une fissuration longitudinale dans les bandes de roulement, qui se ramifie, se dédouble et évolue vers un faïençage.

La fissuration favorise les infiltrations d'eau qui amplifient la réduction de portance du support en période pluvieuse, donc aggravent les déformations permanentes ; ces infiltrations d'eau accélèrent également l'évolution de la fissuration en provoquant l'épafrure des bords de fissure, des arrachements puis des nids de poule. En outre, quelle que soit la nature du revêtement (enduit superficiel ou tapis d'enrobés), cette dernière s'use sous le trafic et le temps. Les efforts tangentiels engendrés par le trafic entraînent l'usure des couches de roulement hydrocarbonées par arrachement de gravillons ou du liant. Cette usure est aggravée par le vieillissement du liant sous l'effet du climat. Ce vieillissement fragilise le liant et le rend sujet à la rupture éventuellement sous le seul effet des variations de températures ; il peut se traduire par l'apparition d'une fissuration superficielle anarchique.

1.7.1.2. Les chaussées semi-rigides

Compte tenu de la très grande rigidité des matériaux traités aux liants hydrauliques, les contraintes verticales transmises au sol support sont très faibles. En revanche, l'assise traitée subit des contraintes de traction-flexion qui s'avèrent déterminantes dans le comportement de la chaussée. L'interface couche de roulement-couche de base et la partie supérieure de la couche de base constituent des zones sensibles qui supportent des contraintes normales et de cisaillement important et qui peuvent présenter des caractéristiques plus faibles que le reste de la structure en raison des conditions de mise en œuvre ; celles-ci entraînent une plus grande sensibilité de cette zone aux agressions du trafic et du climat. Les assises traitées aux liants hydrauliques sont sujettes au retrait thermique et au retrait de prise. Le retrait provoque des fissurations transversales qui, sans dispositions constructives, remontent à travers la couche de roulement. Celles-ci apparaissent en surface avec des espacements réguliers et une ouverture variant avec la température entre quelques

dixièmes de millimètres et quelques millimètres. Souvent franches lors de leur apparition en surface, les fissures de retrait tendent à se dédoubler et se ramifier sous l'effet du trafic. En l'absence de colmatage de ces fissures, l'eau pénètre dans la structure, ce qui peut provoquer une diminution de la qualité du collage entre la couche de roulement et l'assise. Il s'en suit une aggravation de la fissuration puis de la dégradation de la partie supérieure de l'assise. Ces phénomènes s'accompagnent de remontées de boues puis d'affaissements et de nids de poule. En outre, la faible capacité de déformation de ces assises les rend très sensibles aux mouvements, même faibles de leur support qui conduiront à la fissuration de l'assise (tassements, retrait hydrique du sol...). Quant au revêtement, il est de même nature que pour les chaussées souples et l'on assiste pratiquement aux mêmes phénomènes. Cependant, sa faible épaisseur amplifie ces phénomènes et peut conduire à une dégradation rapide de la surface de la chaussée.

1.7.1.3.Les chaussées rigides

Les chaussées en béton de ciment possèdent des avantages incontestables en raison de leur bon comportement sous les charges lourdes durant les périodes de températures élevée. Par contre, elles sont plus sensibles aux tassements différentiels de l'infrastructure en raison du risque de fissuration et de rupture des dalles rigides. Sur les routes à trafic élevé, elles nécessitent l'utilisation de granulats durs et résistent bien au polissage, faute de quoi la sécurité des usagers ne peut être assurée à longue échéance. En effet, à cause du module d'élasticité élevé du béton de ciment, les efforts induits par le trafic sont essentiellement repris en flexion par la couche de béton. Les contraintes de compression transmises au sol sont faibles. Cependant, lors de la prise et des variations de températures, le béton subit des phases de retrait. La fissuration correspondante est généralement contrôlée soit par la réalisation de joints transversaux, soit par la mise en place d'armatures continues longitudinales. Les dégradations évoluent vers des remontées de particules fines dans les joints des dalles sous l'effet du trafic et de l'affaiblissement de l'assise par les pénétrations d'eau ; c'est le phénomène de pompage ou « pumping ». L'emploi de matériaux peu érodables en couche de fondation et un drainage convenable aux interfaces (entre dalle et son support, entre la dalle et l'accotement) sont des dispositions constructives, qui permettent d'éviter les dégradations des chaussées en béton par pompage puis décalage des dalles.

1.7.2. Les chaussées non revêtues

Du fait de leur surface de roulement moins protégée que celle de chaussées revêtues, leur mode de dégradation est directement lié à l'action de deux de leurs principaux agresseurs : le trafic et l'eau.

1.7.2.1 Action des véhicules

Il existe une distinction à faire entre les effets de surface et ceux qui affectent les couches inférieures de la chaussée. Sur les routes non revêtues, les premiers sont d'autant plus sensibles que la cohésion de la couche de roulement est plus faible, c'est-à-dire qu'elle est formée de matériaux moins plastiques et plus secs. Les matériaux fins se trouvent dans le tourbillon de poussière soulevée par les véhicules en mouvement. Les plus gros restent sur la plateforme où ils forment la tôle ondulée. Rapidement, des frayées longitudinales se forment dans lesquelles les véhicules sont canalisés, ce qui accentue le processus et conduit à un profil en W, caractéristique des chaussées usées. Ces frayées compromettent en outre rapidement l'assainissement et il arrive même souvent que dans les terrains sableux, la chaussée se retrouve rapidement en-dessous du terrain naturel. Suivant la largeur de la plateforme, il se forme des bourrelets de plus en plus hauts et qui rendent les croisements de plus en plus dangereux. Le processus est particulièrement rapide sur les chaussées dont la pente transversale excède 4%, ce qui incite les véhicules à se maintenir au voisinage de son axe. Quant aux virages, ils constituent des zones soumises à des efforts tangentiels particulièrement importants surtout quand ils sont à court rayon. Il arrive très fréquemment que les matériaux déplacés vers l'extérieur constituent un bourrelet qui vient s'installer sur la surlargeur, en interdisant l'utilisation par augmentation de la pente du devers. Le phénomène est encore accusé par les petites ravinées transversales qui sont la maladie commune de tous les virages.

1.7.2.2 Action de l'eau

Tout sol non imbibé a en général une bonne portance et sa plasticité même élevée n'est pas une gêne pour la circulation. Par contre, certains matériaux très plastiques tels que l'argile portée à imbibition deviennent glissants et s'effondrent par manque de portance. Il y a lieu de remarquer deux phénomènes :

- Les eaux stagnantes ;
- Les eaux de ruissellement.

➤ **Les eaux stagnantes**

Elles pénètrent dans la masse des remblais soit par la partie supérieure (eau de pluies) soit par la partie inférieure (remontées capillaires). Elles modifient ainsi les caractéristiques mécaniques des sols, altèrent leur résistance, provoquent des désordres internes tels que les tassements, les glissements et voire l'effondrement de remblais considérés comme stables.

➤ **Les eaux de ruissellement**

Elles sont généralement animées de grandes vitesses et érodent la surface de la chaussée. Les ravinements causés par ces eaux sont d'autant plus importants que la vitesse de celles-ci est grande et que les terrains manquent de cohésion.

En saison des pluies, les routes sont soumises à l'action des véhicules à laquelle s'ajoute celle des eaux qui favorisent et accélèrent les dégradations. Ces dernières sont d'autant plus importantes que les terrains sont à prédominance argileuse (exemple des matériaux latéritiques). Par contre, les terrains maigres à prédominance sableuse se comportent très bien pendant la saison des pluies. Les dégradations dues à cette action combinée se manifestent en surface et en profondeur :

- En surface : l'eau détrempe les matériaux argileux et les rend savonneux et glissants.
La présence de nids de poule provoque des accumulations d'eau très dangereuses pour la fondation.
- En profondeur : les eaux pénétrant dans la masse des remblais altèrent la résistance mécanique de ces derniers.

1.8. Les types de dégradations sur les chaussées revêtues

On différencie les dégradations sur les routes revêtues à travers quatre grands groupes (ou familles) que sont :

➤ **Les déformations** : ce sont des dépressions ou ondulations de la route qui prennent généralement naissance dans le corps de 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 dégradations, on distingue : les affaissements, les ornières et les bourrelets ;

➤ **Les fissurations** : ce sont des fentes de degré plus ou moins importantes de la route qui affectent la couche de roulement et/ou même tout le corps de la chaussée. On distinguera les fissures longitudinales, les fissures transversales et les faïençages ;

- **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 dégradations n'affecte que la couche de roulement au début de son apparition mais peut s'aggraver en affectant les couches sous-jacentes au revêtement. On distingue les désordres suivants : le désenrobage, le plumage, le peignage, la pelade, l'indentation et le glaçage, les nids de poule, les dentelles de rives et les réparations ;
- **Les mouvements de matériaux** : ces dégradations sont caractérisées par la remontée du liant à la surface de la chaussée, par l'enfoncement de gravillons dans l'enrobé, les remontées des éléments fins à la surface, ou par l'éjection de l'eau à la surface lors du passage des véhicules lourds par suite de l'existence de cavités sous la couche de surface. On y trouve le ressuage et les remontées de fines.

Chaque dégradation fait l'objet d'une fiche descriptive qui comprend les éléments qui suivent :

- ✓ **Description** : caractérisation succincte de la dégradation accompagnée d'une photo illustrative ;
- ✓ **Causes probables** : sans constituer une liste exhaustive, les causes indiquées sont les plus probables et les plus fréquentes que l'on peut associer à la dégradation ;
- ✓ **Evolutions possibles** : ça consistera à donner les différents stades de la dégradation et celles qui peuvent en résulter ;
- ✓ **Solutions** : on donnera les solutions préventives et/ou curatives préconisées pour lutter contre la dégradation.

1.8.1. Les déformations

1.8.1.1. Les affaissements

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

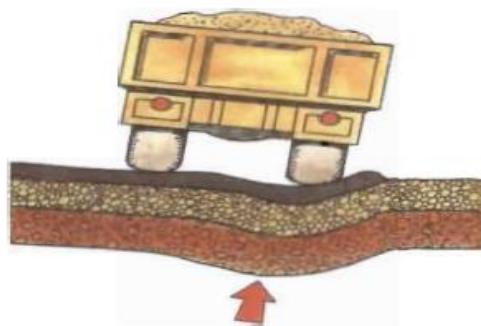


Figure 11 : Schématisation d'un affaissement

Source : [19]

Causes probables :

- Sous dimensionnement du corps de chaussée (épaisseurs insuffisantes) ;
- Tassements différentiels (défaut de portance du sol) ;
- Zone de déblai argileux ou secteurs marécageux ;
- Constructions défectueuses ;
- Drainage insuffisant ;
- Chaussée non butée en rive ;
- Présence d'eau consécutive à la perméabilité des couches supérieures ;
- Chaussée étroite.

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

Solutions : Les principales solutions préconisées sont : le déflachage (pour les affaissements de moins de 5 cm) et la réfection localisée du corps de chaussée (pour les affaissements de fortes hauteurs).

- Le déflachage est une technique qui permet de réparer les affaissements et les irrégularités de surface dus à des bourrelets. Il s'effectue avec un enrobé à froid prêt à l'emploi et stocké au dépôt. Le traitement consiste à une délimitation et un balayage de la zone à traiter, puis un approvisionnement de l'enrobé à froid. On applique alors une couche d'accrochage en bitume fluidifié à chaud ou une émulsion de bitume. On procède ensuite au bouchage de la flache par épandage de l'enrobé puis au compactage de ce dernier. L'opération

se termine par une imperméabilisation de la surface traitée afin d'éviter toute pénétration d'eau.

- La réfection localisée du corps de chaussée par contre, est une technique qui permet de réparer les fissures maillées, les affaissements, les épaufures, les nids de poule et les bourrelets. Le traitement comprend quatre phases. On délimite d'abord la zone à réparer avant de procéder à son excavation. Celle-ci consistera à retirer de la zone délimitée tous les matériaux libres et à approfondir le trou jusqu'à atteindre un matériau sec et solide. Le rebouchage se fera à l'aide d'un matériau de même qualité que la couche de base à réparer ou d'un enrobé à froid compacté en une ou plusieurs couches. On procède enfin à une imperméabilisation de la zone réparée.

1.8.1.2. L'orniérage

Description : c'est une dépression localisée apparaissant sous le passage des véhicules et pouvant affecter, soit la couche de roulement, soit le corps de chaussée et pouvant s'étendre sur d'assez grandes longueurs. Dans certaines conditions, une ornière profonde est dangereuse, la circulation y devenant risquée. Le phénomène est aussi fonction de la vitesse des véhicules, des types de pneus, de l'usure des pneus, de la pente transversale de la chaussée.

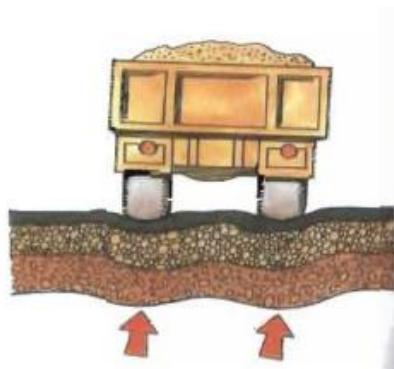


Figure 12 : Schématisation d'une ornière

Source : [19]

Causes probables :

- Un sous dimensionnement du corps de chaussée lui proférant une résistance insuffisante
- Un compactage insuffisant lors de la réalisation ;
- Une perte de portance des couches sous-jacentes du revêtement ;

- Des insuffisances du revêtement : bitume trop mou ou surdosage, enrobé trop faible pour bien résister au trafic lourd, compactage insuffisant de l'enrobé lors de la mise en place.

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

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

- Le reprofilage consiste à redonner à la chaussée un profil en travers correct (pour évacuer l'eau) et un profil en long régulier (pour sécuriser et améliorer le confort des usagers), généralement par apport de matériaux. Il nécessite tout d'abord un repérage, puis un accrochage (l'émulsion, si le béton bitumineux est chaud, est préférable à toute autre technique). Ensuite viennent les étapes de répandage et de compactage (intense). Elles sont suivies par une étape de vérification de la pente (2 à 5 % max). L'opération se termine par un drainage.

- Le rechargeement quant à lui, consiste à ajouter à une chaussée existante une nouvelle couche d'enrobé bitumineux (recharge simple) ou plusieurs couches d'enrobé bitumineux (recharge lourd).

1.8.1.3. Les bourrelets

Description : ce sont des déplacements horizontaux du revêtement de la chaussée, créant un renflement allongé dans la direction du trafic. Ils sont généralement accompagnés d'ornières.

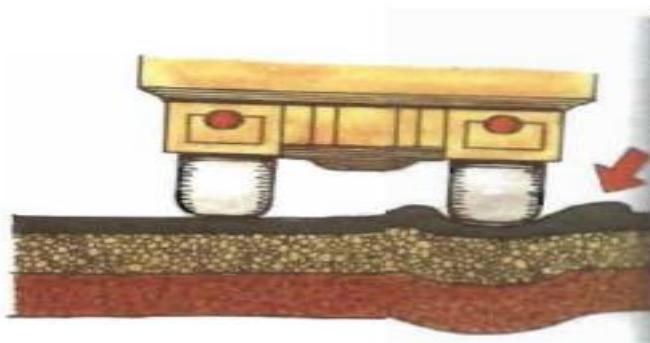


Figure 13 : Schématisation d'un bourrelet

Source : [19]

Causes probables :

- Fatigue de la chaussée due au passage de véhicules trop lourds pour la structure de la chaussée ;
- Tassement des couches inférieures ;
- Défaut de compactage à la construction ;
- Entrée d'eau entraînant une diminution de la portance du corps de chaussée ;
- Matériaux de mauvaise qualité ;
- Qualité inadéquate du revêtement bitumineux ;
- Manque de liaison entre le revêtement bitumineux et la couche sous-jacente.

Evolutions possibles : l'évolution du bourrelet est en rapport avec celle de l'ornierage. Ainsi, ils sont fréquemment accompagnés d'extrusion de matériaux mous sous l'effet de la déformation et d'une destruction progressive de la chaussée. Il peut aussi en résulter une fissuration et ou arrachement de la couche de surface. Un défaut d'uni est aussi souvent constaté.

Solutions : Comme pour les flaches, les solutions préconisées sont : le déflachage (pour les bourrelets de faibles hauteurs) et la réfection localisée (pour les bourrelets de fortes hauteurs).

1.8.2. Les fissurations

1.8.2.1. Les fissures transversales

Description : ce sont des cassures sensiblement perpendiculaires à l'axe de la chaussée, isolées ou périodiques, d'espacement variable, intéressant tout ou partie de la largeur de la chaussée. Suivant la cause et le mode d'apparition, on les distingue en fissures de retrait, fissures de joints et en fissures de fatigue.



Figure 14 : Schématisation d'une fissure transversale

Source : [19]

Causes probables :

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

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

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

- L'imperméabilisation localisée est une technique qui permet de réparer les fissures. Le traitement consiste à un balayage et une délimitation de la zone à imperméabiliser, puis à un répandage du liant (bitume fluidifié à chaud ou une émulsion de bitume) sur la surface. Enfin, on répand les granulats constitués de sable grossier (jusqu'à 6mm) sur toute la surface à traiter.

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

pulvérisation ou d'un arrosoir en suivant la fissure. Enfin, on répand le sable sur la bande du liant.

1.8.2.2. Les fissures longitudinales

Description : c'est une famille de dégradations de surface caractérisée par une ligne de rupture apparaissant à la surface de la chaussée sensiblement parallèle à l'axe.



Figure 15 : Schématisation d'une fissure longitudinale

Source : [19]

Causes probables :

- Mauvaise construction du joint longitudinal entre deux bandes d'enrobés ;
- Mouvement différentiel dans le cas d'élargissement de la chaussée ;
- Fatigue de la chaussée due à une structure insuffisante vis-à-vis du trafic ou une portance du sol support insuffisante ;
- Les caractéristiques du sol : tassement, retrait du sol argileux à la suite d'une longue période de sécheresse (assèchement).

Evolutions possibles : elles évoluent vers une épaufure des bords des fissures favorisant la pénétration de l'eau, une ramifications puis un dédoublement de la fissure avec ouverture des lèvres liées au départ de matériaux en bord de fissure. L'évolution aboutit à un faïençage à mailles fines, à un orniérage et des nids de poule lorsque les fissures sont dues à une résistance insuffisante des matériaux d'assise.

Solutions : les solutions préconisées sont les mêmes que celles des fissures transversales. Se référer donc au paragraphe 1.8.2.1.

1.8.2.3. Le faïençage

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



Figure 16 : Schématisation des faïençages

Source : [19]

Causes probables :

- Mauvaise mise en œuvre ;
- Sous dimensionnement du corps de chaussée (épaisseurs insuffisantes) ;
- Fatigue de la couche de roulement ou de la totalité de la chaussée (contraintes de cisaillement excessives engendrées par le trafic lourd) ;
- Vieillissement du liant caractérisé par un durcissement et un retrait de l'enrobé ;
- Non accrochage de la couche de roulement sur la couche de base.

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

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

1.8.3. Les arrachements

1.8.3.1. Le désenrobage, le plumage et le peignage

Description : il s'agit de trois phénomènes extrêmement liés pour être traités séparément. Le désenrobage consiste en une disparition du liant enveloppant les granulats d'une couche de revêtement en enrobé. Sous l'effet du trafic, on assiste à un arrachement des gravillons rendant ainsi la surface de roulement rugueuse : c'est le plumage. Quant au peignage, il s'agit aussi d'un arrachement des gravillons du revêtement suivant des lignes parallèles à l'axe de la chaussée.

Causes probables :

- Mauvaise qualité des enrobés (sous-dosage du bitume ou mauvais enrobage) ;
- Mauvaise adhésivité liant-granulat ;
- Utilisation de granulats hydrophiles ;
- Vieillissement du liant à travers le temps ;
- Mise en œuvre sous conditions météorologiques défavorables (températures élevées notamment) ;
- Stagnation d'eau sur la chaussée ;
- Usure par trafic intense ;
- Compactage insuffisant de la couche de roulement.

Evolutions possibles : si aucune opération d'entretien n'est effectuée, le désenrobage évolue en surface et en profondeur. On assiste alors à un arrachement des gravillons, puis à l'apparition de nids de poule.

Solutions : la solution préconisée est la méthode dite des emplois partiels. Elle permet de traiter aussi bien les plumages que les pelades. Elle consiste, après délimitation et balayage de la zone à traiter, en deux options au choix :

- L'imperméabilisation est réalisée avec une émulsion à froid ou du bitume fluidifié à chaud après avoir appliqué une couche d'accrochage. On répand ensuite des gravillons (dimensions 6 à 10 mm) jusqu'à une couverture complète. Enfin, à l'aide d'un petit compacteur, on fait pénétrer les gravillons dans le bitume.
- L'application d'enrobé consiste à appliquer sur la zone à réparer du bitume fluidifié à chaud ou une émulsion de bitume afin de constituer une couche d'accrochage. On répand ensuite de l'enrobe fin à froid (constitué de gravillons inférieurs à 6 mm) sur la surface à

traiter et on compacte à l'aide d'un petit compacteur vibrant ou une dame à la main jusqu'à égalisation de la surface environnante.

D'autres solutions consistent en l'application d'un enduit superficiel ou d'un coulis bitumineux.

1.8.3.2. La pelade

Description : il s'agit d'un décollement du revêtement par plaques plus ou moins grandes.



Figure 17 : Schématisation des pelades

Source : [19]

Causes probables :

- Défaut d'accrochage de la couche de roulement (nettoyage insuffisant avant la mise en œuvre, mauvaise exécution, présence d'eau à l'interface) ;
- Absence ou insuffisance de la couche d'accrochage ;
- Épaisseur insuffisante de la couche de surface ;
- Chaussée fortement sollicitée par le trafic.

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

Solutions : lorsque les surfaces concernées ne sont pas importantes, l'entretien consiste en un bouchage aux enrobés adaptés, précédé d'une couche d'accrochage à l'émulsion. Cependant, si la dégradation se généralise, on procédera par reprofilage en enrobé à chaud

avec toujours une couche d'accrochage. Une autre solution consiste en l'application d'enduits superficiels.

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

- Répandage d'une couche de liant ;
- Répandage d'une ou de deux couches de granulats ;
- Compactage de l'ensemble.

Enfin notons que la technique des emplois partiels exposée précédemment est aussi utilisable.

1.8.3.3. Les nids de poule

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

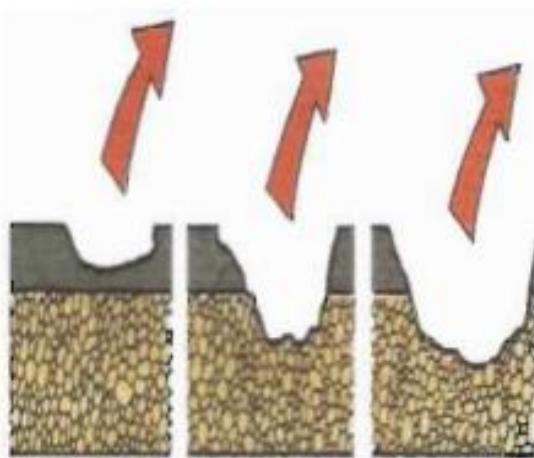


Figure 18 : Schématisation de nid de poule

Source : [19]

Causes probables :

- Défaut localisé de la couche de roulement ou de base lors de la fabrication ou de la mise en œuvre des matériaux ;
- Épaisseur insuffisante du revêtement ;

- Forte perméabilité de la couche de roulement ;
- Désagrégation et départ de matériaux dus à une mauvaise qualité de la chaussée ;
- Très souvent, ils correspondent au stade ultime d'autres dégradations (faïencage, flache, désenrobage, pelade...).

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

Solutions : la technique d'entretien la plus connue est le bouchage de nids de poule. En plus, quand les nids de poule atteignent certains niveaux de gravité, la réfection localisée du corps de chaussée est plus préconisée.

- Le bouchage de nids de poule consiste à rendre à la chaussée son état initial en rebouchant les nids de poule dès la constatation de leur apparition. Il procède par découpage (bords verticaux), élimination des parties non liées (ce qui implique décapage et nettoyage), accrochage (épandage d'émulsion), remplissage, compactage (intense) et enfin traitement de la surface.

1.8.3.4.Les dentelles de rives et les épaufrures

Description : encore appelées épaufrures, ce sont des cassures des bords de la chaussée causant ainsi une nette réduction de la largeur de chaussée jusqu'à sa disparition même.

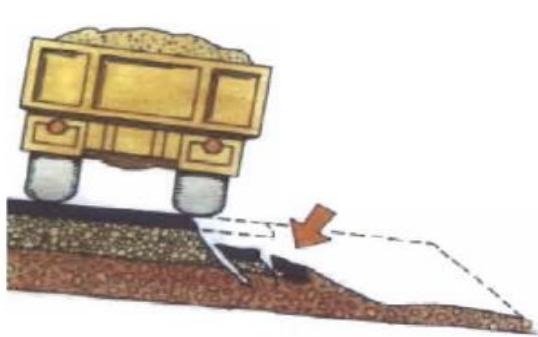


Figure 19 : Schématisation de dentelles de rive

Source : [19]

Figure 20 : Epaufreure de grande ampleur

Source : [19]

Causes probables :

- Erosion de la couche de roulement à partir des bords de la chaussée ;
- Mauvais drainage des eaux : l'effet de bord entraîne une perte de portance aux abords de l'accotement ;
- Absence de butée latérale ;
- Compactage insuffisant des rives ;
- Chaussée trop étroite : les véhicules circulent sur les accotements ;
- Arrêts fréquents de véhicules sur les accotements ;
- Mauvaise courbure des virages : les virages trop serrés obligent les conducteurs à emprunter les accotements entraînant une usure transversale ;
- Vieillissement accentué du revêtement.

Evolutions possibles : l'évolution peut revêtir différentes formes : ravinement de la couche de roulement et des couches inférieures mettant en grave péril la partie de la chaussée. Ce ravinement se poursuit dans le temps pour aboutir à un enlèvement pur et simple de la couche de roulement.

Solutions : des solutions préventives visant à retarder le phénomène doivent être prises durant la mise en œuvre. Il s'agit de veiller au bon compactage des couches mais surtout du sol support notamment dans les accotements. Aussi, une attention particulière doit être accordée à la protection des accotements contre les effets de l'eau particulièrement l'érosion et du trafic. Dans les solutions curatives, on retiendra la réfection localisée du corps de chaussée et la reprise des conditions de drainage (mise en place de butée).

Le présent chapitre traite des généralités sur les chaussées et les dégradations. Il en ressort les différents types de chaussées, les différents types de processus de dégradations, les causes probables de déformations et des solutions possibles pour une restauration des structures de chaussée

1.9 Conclusion

Ce chapitre a exploré les concepts fondamentaux relatifs aux chaussées et à leurs diverses formes de dégradation. Il a été établi que les chaussées sont des structures essentielles pour le transport et l'économie, mais elles sont sujettes à une multitude de détériorations dues à des facteurs environnementaux, mécaniques et humains. Les processus de dégradation, tels que le faïencage, et la formation de nids-de-poule, ont été identifiés comme étant parmi les plus préjudiciables, compromettant la sécurité des usagers et la durabilité des infrastructures. Les efforts de maintenance et de réhabilitation ont été reconnus comme vitaux pour prolonger la durée de vie des chaussées et pour assurer une performance optimale. L'importance de l'innovation dans les matériaux de construction et les techniques de réparation a également été soulignée, indiquant une direction prometteuse pour l'avenir des infrastructures routières. Enfin, ce chapitre a mis en lumière la nécessité d'une approche holistique qui intègre la planification, la construction, l'entretien et la rénovation des chaussées pour faire face efficacement à leurs dégradations et pour soutenir le développement durable des réseaux de transport.

Chapitre 2 : Matériaux, matériels et méthodes utilisées

2.0 Introduction

La connaissance de l'état d'un matériau, d'un matériel, d'une structure, d'un produit ou d'une infrastructure, ... passe par un diagnostic et/ou une analyse afin de déterminer sa nature actuelle. Ainsi, le présent chapitre expose les différents matériaux et méthodes pour la détermination de l'état des chaussées souples.

Dans le cadre de notre étude, nous avons choisi le tronçon : Akpro missérété-Kpédékpo.

2.1. Localisation, observation et caractéristiques du tronçon

La route Akpro Missérété-Dangbo-Adjohoun-Ouinhi-Kpédékpo est une route nationale (RN4) qui prend son origine sur la RNIE1 dans l'agglomération d'Akpro Missérété.

Cette route est longue d'environ 89 km et traverse plusieurs agglomérations dont les plus importantes sont : Dangbo, Adjohoun, Bonou et Ouinhi.

La route se termine dans la localité de Kpédékpo au niveau de l'intersection de la RN3 avec la RNIE4 qui relie les localités de Kétou et de Bohicon.

La route a été construite dans les années 2005-2012 et permet de relier les départements de l'Ouémé, du Plateau et du Zou. Elle traverse des régions à très fortes potentialités agricoles avec également une forte densité de population.

La route présente un revêtement en enduit superficiel bicouche dont l'état actuel est marqué par des dégradations superficielles assez visibles sur l'ensemble du linéaire. Ces dégradations ont évolué en fissurations très prononcées par endroits et également en déformations structurelles. A noter également l'apparition de nids de poule dans certaines sections de la route.

Ces dégradations s'expliquent essentiellement par les sollicitations du trafic des véhicules poids lourds occasionnées par l'exploitation intensive de plusieurs carrières de sable dans les localités de Dangbo, Adjohoun et Bonou

Cet état de fait a obligé l'Administration routière à limité l'accès en interdisant la circulation des poids lourds à la limite de Bonou par la mise en place de portique limitant ainsi les gabarits des véhicules.

Les caractéristiques géométriques de la chaussée existante se présentent comme suit :

Profil en travers type :

Les caractéristiques principales du profil en travers type se résument comme suit :

En rase campagne

- Largeur de la plate-forme (revêtement + accotement) 10,20 m
- Largeur du revêtement 7,20 m
- Largeur de l'accotement 2x1,50 m
- Pentes transversales en alignement droit 2,5%

Dans les agglomérations

- Largeur de la plate-forme (revêtement + accotement) 15,50m
 - Largeur du revêtement 11,20 m
 - trottoir + caniveau longitudinal 2x2m
 - Pentes transversales en alignement droit 2,5%
- Talus de remblai : 3/2
(L/H)
- Talus de déblai : 1/1 sauf exception selon cohésion du sol

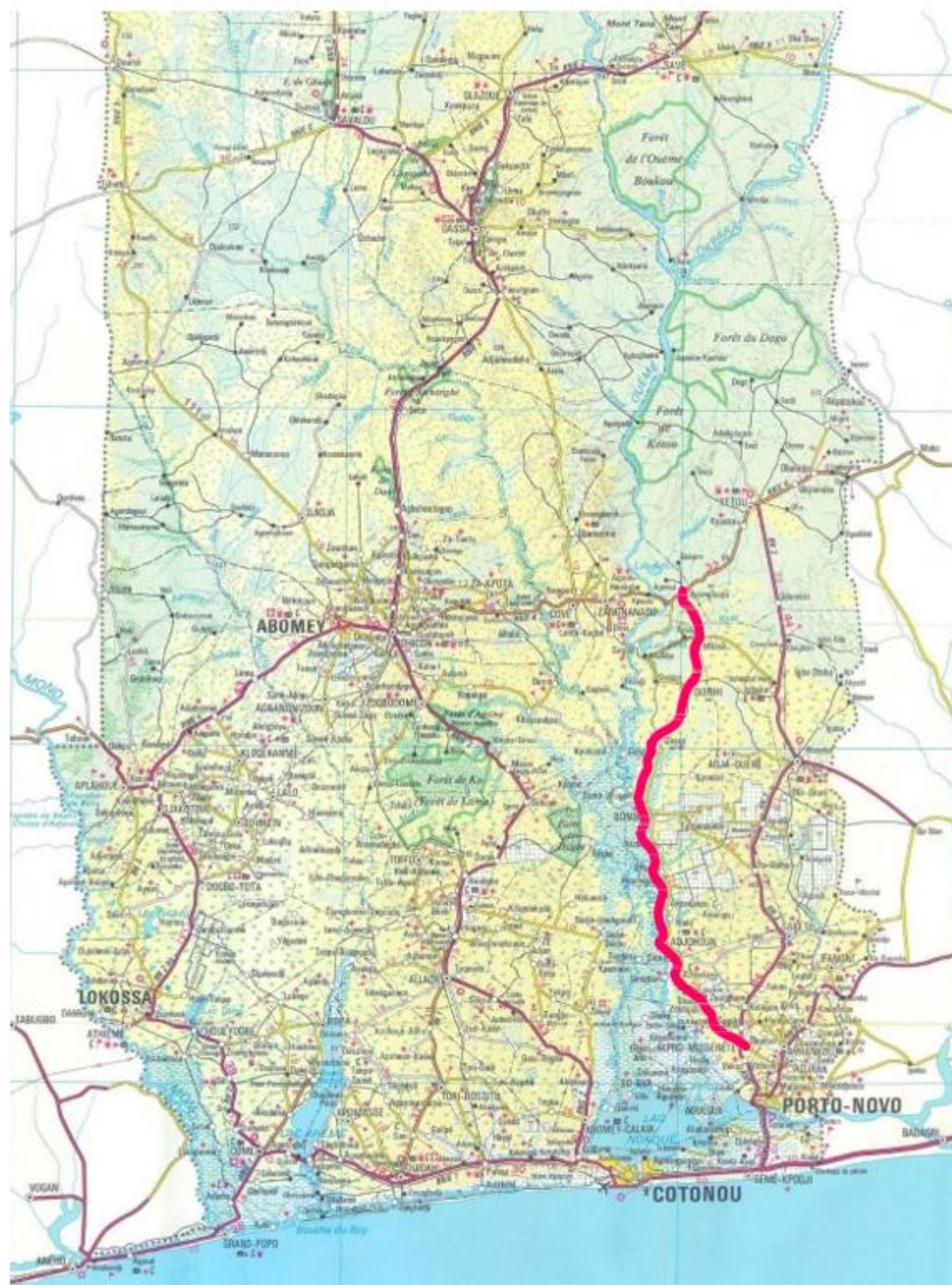


Figure 21 : Localisation du tronçon Akpro missérété-Kpedekpo

2.1 Matériels

2.1.1. Auscultation visuelle

2.1.1.1 Moyens matériels

Pour assurer à bien le travail d'auscultation des chaussées, il faut :

- Un véhicule muni d'un compteur métrique ;
- Les feuilles de routes ;
- Une règle droite de 2 m équipée d'un dispositif pour mesurer les profondeurs de déformations ;
- Un calibre pour mesurer les largeurs des fissurations.

2.1.1.2 Appareil photo

L'Appareil photo numérique utilisé a les caractéristiques ci-après :

- Marque FUJIFILM X-T200+XC15 16647111 d'une résolution de 3120*2800 ;
- Images enregistrées dans le plus petit détail et sont simplement très visibles ;
- Flash pour un éclairage optimal : le flash garantit une utilisation optimale de la photo et un aspect tout simplement époustouflant.
- Compteur d'images ;
- Réglage d'exposition manuel : grâce au réglage manuel de l'exposition, l'Instax Wide 300 s'adapte facilement aux conditions d'éclairage existantes ;
- Lentille pour des enregistrements macro détaillés et fonction autoportrait ;
- La lentille proche de l'Instax Wide 300 permet de réaliser des macro-photos riches en détails avec le miroir intégré à l'avant de l'appareil photo ;
- Filetage du trépied pour fixation sur le trépied de caméra.



Figure 22 : Photo de l'appareil photo

2.1.1.3 Jalon

Le jalon utilisé dans le cadre de cette étude a les caractéristiques suivantes :

- Jalons de précision premium ;
- Fabriqués en acier et recouverts d'une gaine en PVC pour une meilleure durabilité ;
- Diamètre : **30 mm** ;
- Pointe en acier forgé antichoc et laqué fluorescent pour plus de visibilité ;
- Longueur totale : **1,16 m** (de la pointe jusqu'en haut du jalon) ;
- Conditionnement : **lot de 12 jalons**.



Figure 23 : Photo du Jalon

2.1.1.4 Les plots

Fabriqués en PVC souple recyclé, ils assurent un maximum de durabilité et de visibilité. 2 bandes rétroréfléchissantes dont le CL2 sont injectées dans les cônes. Ils ont une hauteur de 500 mm et pèse 2,2 kg à 7,5 kg.



Figure 24 : Photo des plots de chantier

2.1.1.5 La tablette L2R

L2R Mesure est une application pour tablette tactile qui permet d'effectuer des relevés visuels de l'état des routes. Chaque information relevée (faïençage, arrachement, nids de poule) par L2R Mesure est automatiquement géo-localisée grâce au GPS de la tablette.

2.1.2. Auscultation Mécanique

2.1.2.1. Poutre de Benkelman

La poutre de Benkelman est un équipement ultra léger qui permet de mesurer la déflexion des chaussées sous la pression d'un essieu de véhicule de 13.5 t de charge définie. La poutre est constituée d'un fléau (démontable en deux parties) qui s'articule autour d'un axe monté sur roulements à billes et d'un châssis reposant sur le sol par trois pieds sur rotules réglables en hauteur. L'ensemble de l'équipement et ses accessoires sont conformes aux normes en vigueur NF P98-200-2, NF P98-200-1, NF P94-117-1, NF P94-117-3. Les caractéristiques de l'équipement utilisé se présentent comme suit :

- Longueur de la poutre : 380 cm ;
- Plage diamètre : 600 mm, hauteur 195 mm ;
- Poids de la poutre : 9,5 kg ;
- Poids de la plaque : 26 kg ;
- Température d'utilisation : de -10 à +50°C ;
- Précision du comparateur : 3/100 de mm ;
- Etendue de mesure : 12,5 mm ;
- Résolution du comparateur : 1/100 de mm ;
- Course vérin 10 tonnes : 257 mm ;
- Métrologie : 1 fois par an.

Toutes les pièces sont protégées de la corrosion.



Figure 25 : Photo de la poutre de Benkelman placée sous le véhicule

2.1.2.2. Carotteuse routière

La carotteuse routière permet la réalisation de carottages avec des couronnes diamantées sur chaussées pour prélèvement d'échantillons. Elle est idéale pour :

- La connaissance des structures existantes en vue du dimensionnement des renfortements ;
- L'analyse des enrobés pour vérifier la présence ou l'absence d'amiante ;
- La vérification des épaisseurs, des collages entre couches et masse volumique des enrobés.

Le matériel utilisé est conforme à la norme de référence NF EN 12697-27 (2002) pour le carottage des chaussées. Quelques précisions sur les caractéristiques de la machine utilisée :

- Carottage Ø 300 mm ;
- Stabilisateur arrière et avant hydraulique ;
- Large choix de moteur hydraulique simple ou double vitesse ;
- Temps de forage réduit de 75% comparé aux machines manuelles ;
- Système d'avance proportionnel “unique” qui gère avec précision la pression appliquée durant le carottage et permet un contrôle complet sur différents types de surfaces ;
- Augmente la durée de vie des carottiers ;
- Grand réservoir d'eau avec filtre ;
- Remorque catégorie O1, poids maximum autorisé de 750 kg.



Figure 26 : Photo de la carotteuse et ses accessoires

2.1.2.3. Appareil de mesure d'UNI

Un appareil de mesure d'uni est un outil crucial pour évaluer la qualité des chaussées et la régularité de leur surface.

Le matériel utilisé répond aux critères des normes NF 98 218-3, ISO 8608 et EN 13036-6 (2008) en vigueur. Les caractéristiques métrologiques de l'appareil sont :

- Amplitude verticale : ± 80 mm, résolution ≤ 0.1 mm ;
- Distance horizontale : résolution < 0.05 m, précision $\leq 0.1\%$;
- Bande passante en fréquence : 0.4 Hz – 30 Hz ;
- Vitesse de mesure : de quelques km/h à 144 km/h ;
- Pas d'acquisition longitudinale : <0.05 m ;
- Indépendance des conditions climatiques et des conditions d'état de la chaussée ;
- Multi-indices : pratiquement tous les indicateurs d'uni peuvent être calculés (IRI, NBO, ...) ;
- Exploitation des mesures dans le véhicule ou en laboratoire, Présentation variée des résultats : graphe du profil, tableaux des valeurs des indicateurs, schémas itinéraires, etc. ;
- Portabilité des fichiers des valeurs des élévations, des profils et des indicateurs d'uni au format texte vers toute base de données.

Ci-après les caractéristiques dimensionnelles de la remorque :

- Dimensions : L = 2.30 m ; l = 0,55 m ; h = 1,22 m (signalisation comprise) ;
- Masse : 120 kg.



Figure 27 : Photo de l'appareil de mesure d'UNI



Figure 28 : Photo de la mesure d'un défaut à la règle de 3 m



Figure 29 : Photo de la mesure d'un défaut à la règle de 3 m

2.2 Méthodes

2.2.1 Méthode d'Auscultation visuelle

La description précise des défauts d'une chaussée est incontestablement un des éléments importants à prendre en compte pour établir le diagnostic et choisir la technique d'entretien à mettre en œuvre. On est amené à recenser et à décrire avec soin les défauts apparents dans le souci d'une classification adéquate et d'une meilleure appréciation des causes permettant de proposer des remèdes les plus appropriés. L'analyse de l'état de dégradation doit être faite sur la base d'une inspection visuelle détaillée qui doit porter sur un relevé systématique du type de chaque dégradation, de son **étendue** et de sa **gravité**. La longueur de section de relevé dépendra d'une manière générale de l'homogénéité de l'itinéraire à ausculter. En Algérie, les relevés de dégradations sont à effectuer par section élémentaire de 100 m pour les routes du Nord, et 200 m pour les routes du Sud.

Pour ce faire, le technicien chargé du relevé devra parcourir la section à bord d'un véhicule avec une vitesse très réduite qui lui permettra de noter toutes les dégradations et de s'y arrêter pour effectuer les mesures nécessaires.

2.2.2 Méthode d'Auscultation mécanique

2.2.2.1. Auscultation par sondages

C'est un essai qui consiste à découper et à extraire d'une chaussée un échantillon cylindrique appelé carotte. L'observation visuelle de la carotte, de la paroi et de la cavité permet

de connaître la rupture des matériaux. La campagne de carottage réalisée nous permettra de confirmer les épaisseurs de la couche de roulement, les conditions de collage aux interfaces entre le béton bitumineux et le matériau traité aux liants hydrauliques. L'auscultation par sondages du corps de chaussée et sous accotements permet :

- De déterminer l'épaisseur des différentes couches et la nature des matériaux rencontrés,
- De connaître les propriétés géotechniques de ces matériaux (teneur en bitume, analyse granulométrique, compacité, résistance mécanique) ;
- D'apprécier l'état hydrique de ces sols ;
- De déterminer la nature et les caractéristiques des sols supports.



Figure 30 : Photo d'une carotte fragmentée



Figure 31 : Photo de carotte désagrégée

2.2.2.2. Auscultation par mesure de déflexion

La méthode effectuée est conforme à la norme **NF P98 200-1** en vigueur. Il faut noter toutefois les démarches à suivre pour avoir une bonne étude.

La déflexion constitue un des paramètres essentiels de l'auscultation des chaussées. Elle correspond au déplacement vertical en un point d'une chaussée, engendré par le passage d'une charge. Elle est en fonction de la distance de la charge. Elle permet de déterminer les déformations longitudinales de la chaussée à l'aide d'une poutre de Benkelman munie d'un comparateur et un camion à un essieu chargé de 13 tonnes. La déflexion fournit des indications sur la portance et la rigidité globale de la chaussée et son homogénéité.

L'horizontalité de la poutre est contrôlée par un niveau à bulle. Le comparateur électronique au 1/100 mm se monte sur l'extrémité du châssis par son oreille de fixation.

La mise à zéro très facile à effectuer se termine par un réglage fin du pied arrière de la poutre de Benkelman.

Une position de blocage par goupille est prévue pour le transport sur chantier d'un point à un autre.

L'ensemble fléau châssis ainsi immobilise, protège le compacteur. La distance du palpeur à l'axe d'articulation étant le double de celle de la touche du comparateur, les valeurs lues sur celui-ci représentent la moitié du déplacement du palpeur.

Les essais sont réalisés sur une fréquence de 25 m et de façon en quinconce (Axe Gauche, Droit).

L'essai consiste à prendre à chaque 25 m la déformation engendrée par un camion de deux essieux (2 t). L'essai se fait en posant la poutre entre les deux pneus de l'engin ; une fois posée, on s'assure qu'elle soit bien au niveau et que le comparateur de lecture soit rigoureusement à zéro ; ensuite, on lit la déformation au démarrage du camion.

- Déflexion maximale d_M : c'est le déplacement vertical maximal du point de mesure
- Déflexion rémanente d_r : c'est le déplacement vertical du point de mesure. Lorsque la valeur maximale est atteinte, la charge s'éloigne de $5m \pm 10\%$ du point de mesure.
- Déflexion élastique d_e : $d_e = d_M - d_r$
- Déflexion ponctuelle : c'est la valeur mesurée en un point.
- Déflexion moyenne dm : c'est la moyenne arithmétique des mesures réalisées en des points régulièrement répartis sur une section unitaire d'une certaine longueur.
- Déflexion caractéristique dc sur une section est la valeur : $dc = m + 1,3\sigma$;

Où : m est la moyenne des valeurs sur la section considérée ; σ est l'écart type des déflexions maximales d_M sur la section considérée.

Ainsi, à partir du tableau suivant, on évalue la qualité de la chaussée.

Tableau 1 : Relation entre déflexion et qualité structurelle de la chaussée

Déflexion	< d_1		< d_2
Portance	Elevée	Médiocre	Faible
Qualité de la structure	Bonne	Douteuse	Mauvaise

La déflexion et la qualité structurelle de la chaussée ont été prescrites par le CCTP des travaux en question

Avec :

- d_1 , la valeur en dessous de laquelle on considère que la structure se comporte d'une façon satisfaisante ;
- d_2 , la valeur au-dessus de laquelle on considère que la structure présente de sérieux défauts de portance.

❖ Seuils de déflexion

Officiellement, le Bénin ne dispose pas de seuil de déflexion sur lesquels toutes les structures intervenant dans la construction routière devraient s'appuyer. Alors, nous allons considérer les différentes valeurs suivantes :

CNERTP : $d_1 = 50 - 75$; $d_2 = 100 - 150$

Ces valeurs sont exprimées en centième de millimètre (1/100 mm).

En considérant ces valeurs, nous allons considérer les seuils suivants :

$$d_1 = 60/100 \text{ mm} \text{ et } d_2 = 85/100 \text{ mm.}$$

2.2.2.3. Relevés visuels des déformations suivis de l'UNI

La surface des chaussées peut présenter des irrégularités géométriques, principalement dues à des défauts de construction ou des dégradations qui apparaissent en cours de vie de la chaussée sous l'effet du trafic Poids Lourds (PL). L'ensemble de ces irrégularités plus ou moins prononcées et répétées constitue l'uni transversal des chaussées. C'est un indicateur de qualité d'usage. Ainsi, les deux méthodes de mesure d'Uni sont :

➤ Uni longitudinal

L'ensemble des irrégularités géométriques de surface de la chaussée constitue l'uni longitudinal. Ces défauts d'uni perturbent le comportement dynamique des véhicules jouant sur la sécurité et le confort des usagers de la route[20]. Sa mesure est généralement réalisée avec des appareils tels que l'analyseur de profil en long (APL) [21]. Les défauts d'uni sont le plus souvent dus à une mauvaise mise en œuvre lors de la construction ou de l'entretien.

L'analyse de chaque profil relevé traduit son état par le calcul d'indices d'uni :

- Petites ondes : vibrations dans l'habitacle, nids de poule, fissures transversales affaissées, ...

- Moyennes ondes : tassements de remblai occasionnant un flottement de la suspension du véhicule.
- Grandes ondes : flottement de la suspension du véhicule.

La mesure de l'uni longitudinal est également considérée comme une méthode d'auscultation structurelle.

➤ **Uni transversal**

La mesure d'uni transversal permet de déterminer les affaissements de rive ainsi que l'ornièrage de chaussées. Elle est un indicateur fort dans la détermination de la qualité d'usage des chaussées ainsi que de l'état structurel.[20]

2.2.3 Méthodes d'évaluation des chaussées

L'évaluation consiste en l'inspection visuelle et l'auscultation de la structure de la route en vue d'établir un diagnostic précis pour sa remise en état. C'est elle qui révèle les maladies de cette dernière en indiquant de ce fait leur nature, leur origine, leur gravité et impacts possibles. Il existe plusieurs méthodes d'évaluation des routes revêtues au nombre desquelles se retrouvent les méthodes de VIZIR, du CEBTP-LCPC, de AASHTO, du Centre de Recherches Routières (CRR) de Bruxelles et la loi de MINER.

Parmi ces méthodes, celles du VIZIR, du CEBTP-LCPC et de l'AASHTO mettent en exergue l'indice de qualité de service de la chaussée. En revanche, les deux dernières mettent en exergue l'état de fatigue des matériaux et permettent de déterminer la durée de service ou la portance résiduelle de toute structure mise en service. La méthode du VIZIR et celle du CEBTP LCPC sont les plus utilisées au Bénin parce qu'elles ont eu comme champ d'application les réseaux de routes de certains pays tropicaux de l'Afrique. Ces dernières sont donc les méthodes sur lesquelles nous nous attarderons dans ce développement.

2.2.2.1. Méthode VIZIR

La méthode de VIZIR reste au départ une manière de répertorier les dégradations par référence à leur étendue et leur degré de gravité. La saisie manuelle des dégradations des chaussées jusqu'en 1988, est maintenant assistée par ordinateur grâce au matériel DESY du LCPC. Elle est complétée, dans DESY, par un logiciel de calcul de l'Indice de Surface Is qui varie de 1 pour les meilleures chaussées à 7 pour les plus mauvaises.

VIZIR va beaucoup plus loin qu'un simple répertoire de dégradations, d'autant plus que son objectif final est l'évaluation de la qualité des réseaux routiers. La méthodologie d'évaluation

s'appuie sur les paramètres classiques de l'auscultation ; structures, entretien, portance, uni des chaussées, conditions locales... VIZIR est au bout de la chaîne une méthode scientifique de détermination des besoins d'entretien et de remise en état des chaussées.

Au Bénin, la méthode manuelle a demeuré jusqu'en 2011 mais une nouvelle méthode, semi-automatique, est en expérimentation depuis janvier 2012 : il s'agit du système VIZIROAD[22]

a) Classification et quantification des dégradations

Par son volet classification et quantification des dégradations, la méthode VIZIR est destinée à fournir l'image de l'état de surface d'une route à un instant donné et à identifier des zones d'équi-qualité classées en trois niveaux de dégradations. Ces zones d'équi-qualité et ces trois niveaux de dégradations sont utilisés pour déterminer la nature et le type de travaux requis. Les dégradations répertoriées dans la méthode VIZIR sont classées en deux catégories : les dégradations de type A et celles de type B.

❖ Relevé et notation des dégradations

Le relevé des dégradations est effectué par un opérateur qui parcourt l'itinéraire et qui note :

- Le type de dégradation ;
- Le degré de gravité de cette dégradation ;
- Son étendue, c'est-à-dire la longueur de route affectée ou la surface le cas échéant.

La méthode de VIZIR lui fournit une typologie des dégradations et pour chacune d'entre elles, trois niveaux de gravité. Le relevé peut se faire manuellement, en parcourant la route à pied ou dans une voiture.

L'opérateur reporte alors ses observations (identification de la dégradation et estimation de sa gravité) sur un schéma d'itinéraire, c'est-à-dire un document montrant l'itinéraire de la route en fonction de l'échelle et de la précision selon la nature des travaux. Sur le schéma itinéraire, la dégradation est représentée par un rectangle dont le fond (blanc, grisé ou noir) indique le niveau de gravité tandis que les deux côtés déterminent les abscisses de début et de fin de la zone dégradée, c'est-à-dire l'étendue. Les valeurs de gravité quant à elles sont des valeurs moyennes qui conviennent à de nombreux réseaux routiers ; elles peuvent cependant être modifiées en fonction des objectifs d'entretien que l'on se fixe ainsi que du niveau de service attendu.

Un catalogue sur la dégradation des chaussées est proposé suivant la méthode VIZIR afin de comparer les résultats issus des travaux. Ces différents catalogues sont consignés dans les tableaux 2 (dégradations de type A) et 3 (dégradations du type B).

Tableau 2 : Niveau de gravité des dégradations de A

Gravité \ Dégradation	Gravité faible (vert)	Gravité moyenne (jaune)	Gravité élevée (rouge)
Déformation Orniérage	Sensible à l'usager mais peu importante $f < 2$ cm	Graves déformations, Affaissements localisés ou orniérage $2 \text{ cm} < f < 4$ cm	Déformation affectant gravement la sécurité ou le temps de parcours $f \geq 4$ cm
Fissuration	Fissures fines dans les traces des roues ou dans l'axe	Fissures franchement ouvertes et (ou) souvent ramifiées	Fissures très ramifiées et (ou) très ouvertes ; lèvres parfois dégradées
Faiençage	Faiençage fin sans départ de matériaux Maillage large (> 50 cm)	Faiençage plus serré (> 50 cm), avec parfois départ de matériaux, arrachements et nids de poule en formation	Faiençage très ouvert, découpage en pavés (< 20 cm), avec parfois départ de matériaux
Réparation	Soit réfection de tout ou partie du corps de chaussée Soit intervention de surface liée à des défauts de type B	Interventions liées à des défauts de type A Tenue satisfaisante de la réparation	Dégрадations apparaissant sur la réparation elle-même

Source : [20]

Tableau 3 : Niveau de gravité des dégradations de B

Dégradation \ Gravité	Gravité 1 (Vert)	Gravité 2 (Jaune)	Gravité 3 (Rouge)
Fissures longitudinales de joint	Fine et unique	<ul style="list-style-type: none"> Large (1cm ou plus) sans arrachement ou fine ramifiée 	<ul style="list-style-type: none"> large avec épaufriures des lèvres ou large ramifiée
Nid de poule	<ul style="list-style-type: none"> Quantité <5 Taille Ø 30 max 	5 à 10 <5 ou Ø 30 Ø 100	>10 5 à 10 ou Ø 30 Ø 100
Arrachements : - désenrobage, - plumage, - pelade Et Mouvements de matériaux Ex : ressuage	Ponctuels sans apparition de la couche de base	Continus ou Ponctuels avec apparition de la couche de base	Continus Avec apparition de la couche de base
	Ponctuel	Continus sur une bande de roulement	Continus sur une bande de roulement et « très marqué »

Source : [20]

b) Utilisation des quantificateurs de dégradations pour la détermination des besoins en entretien

La méthode VIZIR quantifie les dégradations pour estimer la qualité des chaussées étudiées, soit dans le cadre d'une étude de gestion de l'entretien routier (réseau), soit dans le cadre d'un projet de réalisation de travaux (itinéraire). Il faut dans chacun de ces deux cas, même si c'est à un niveau différent de précision, déterminer des solutions de travaux de remise en état. Dans le cas des dégradations de type B, la solution d'entretien découle de la reconnaissance de la dégradation seule et il n'est pas nécessaire de faire appel à d'autres paramètres pour faire le diagnostic.

Il n'en est pas de même en ce qui concerne les dégradations de type A. La solution va dépendre de plusieurs facteurs et le diagnostic associera dégradation, portance, trafic, ... Il est donc indispensable de définir des notes, quoi que globales, mais qui qualifient l'état visuel de la chaussée comme c'est le cas pour les dégradations. Les dégradations de type A génèrent des travaux importants du type renouvellement ou renforcement des couches de surface. Ces travaux ipso facto pallient les défauts de type B : le pontage d'une fissure axiale qui a pour but d'empêcher la pénétration de l'eau n'est plus nécessaire si l'on doit rajouter une couche de roulement sur la chaussée. On comprend donc que, dans l'absolu, les dégradations de type B n'interviennent dans la solution qu'en l'absence de dégradations de type A. En conséquence, l'indice visuel global qui qualifie la chaussée ne prend en compte que les dégradations de type A.

a) Détermination de l'indice de dégradations (numérotation)

L'indice visuel est calculé sur une longueur de route à partir de trois groupes de dégradations :

- Fissuration et faïençage ;
- Déformation et orniérage ;
- Réparations.

On calcule d'abord un indice de fissuration I_f qui dépend de la gravité et de l'étendue de la fissuration ou du faïençage sur la longueur de route considérée. Lorsqu'il y a à la fois fissuration et faïençage on prend la plus forte des deux valeurs.

On calcule ensuite un indice de déformation I_d qui de la même manière dépend de la gravité et de l'étendue de la déformation ou de l'orniérage.

La combinaison d' I_f et I_d donne un premier indice qui qualifie la chaussée ; le cas échéant celui-ci peut être corrigé en fonction de la gravité et de l'étendue de certaines réparations. En effet, certaines réparations masquent une déficience de la chaussée et sont donc considérées comme facteur aggravant dans l'estimation de la qualité de surface.

Après cette correction, on aboutit à un indice global de dégradation I_s qui qualifie la chaussée sur la longueur choisie pour le calcul.

I_s varie de 1 à 7 :

- ❖ Les notes **1** et **2** correspondent à de bons états de surface ne nécessitant pas (ou à la limite de faire) de travaux peu ou pas de fissures ni de déformations ;
- ❖ Les notes **3** et **4** correspondent à des états de surface assez moyens, suffisamment mauvais pour déclencher les opérations d'entretien en dehors de tout autre considération, fissures sans ou avec peu de déformation ou encore déformations non accompagnées de fissures ;
- ❖ Les notes **5**, **6** et **7** correspondent à de très mauvais états de surface nécessitant de gros travaux d'entretien ou de renforcement ; fissures et déformations en grande quantité.

La détermination de l'indice de surface est récapitulée dans le diagramme ci-dessous.

La figure suivante présente la méthode de détermination de l'indice de surface :

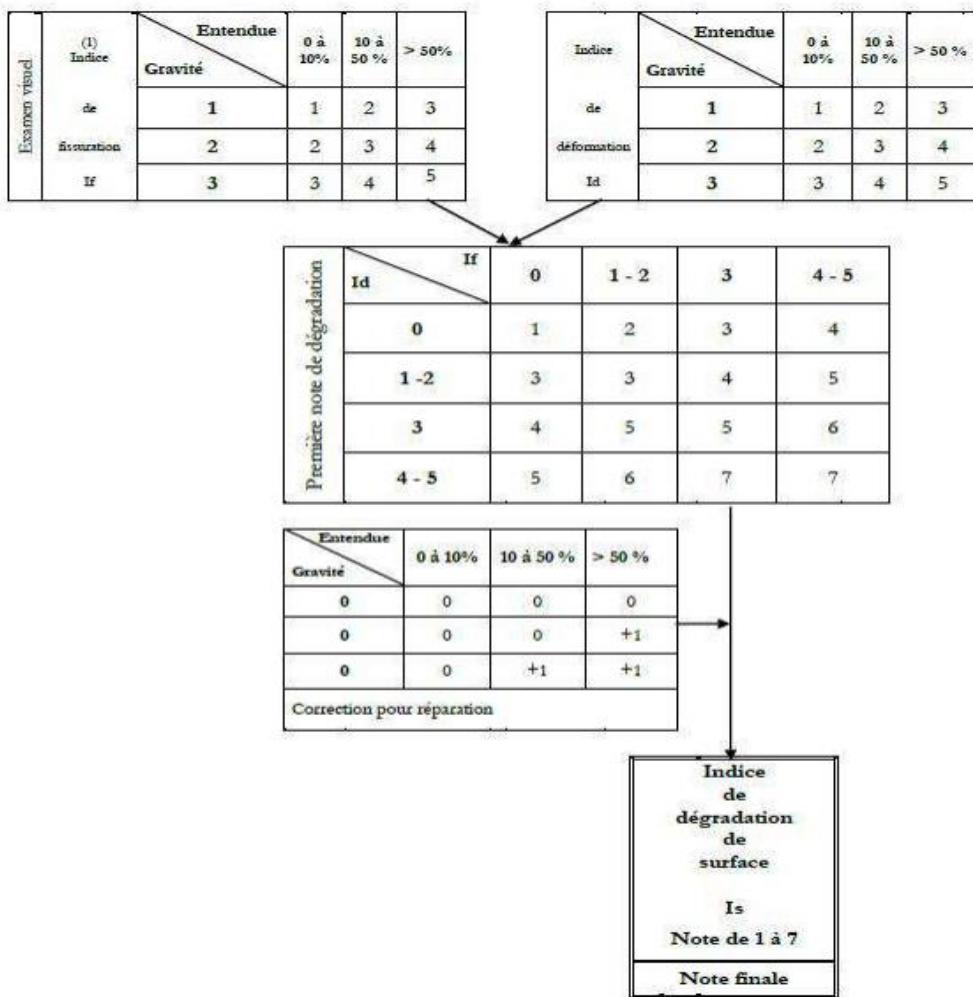


Figure 32 : VIZIR – Organigramme de fonctionnement

Source : [20]

La longueur de base sur laquelle se fait le calcul de l'indice de surface peut dépendre de chaque type d'étude, de la banque de données ou d'autres paramètres entrant dans le diagnostic, ainsi que de l'opérateur.

Dans le cas d'étude de systèmes d'aide à la gestion de l'entretien routier, qui sont des études globales, le schéma itinéraire est fait à une échelle d'environ 2 cm par km ; la banque de données est elle-même construite avec un pas de l'ordre de 500 m. On pourra donc calculer Is avec un pas de 500 m.

Dans le cas d'un projet d'entretien d'un itinéraire, le relevé est fait à l'échelle d'environ 5 cm graphique par km, on pourra calculer Is avec un pas de 200 m.

Dans le cas de notre étude, qui n'est qu'une application de la méthode VIZIR et compte tenu du délai qui nous est imparti pour la rédaction de ce mémoire, sans oublier les maigres moyens dont nous disposons, le calcul de l'indice de surface de la chaussée se fera sur 1km en continu.

b) Recherche de solutions

La méthodologie des études conduites par le LCPC peut être schématisée de la manière suivante :

- Construction d'une banque de données, relevé de données sur le terrain, détermination de la qualité du réseau au temps t_0 .
- Analyse des données, détermination de la « solution technique c'est-à-dire de ce qu'il faut faire à ce réseau routier en fonction de son image qualité au temps 10 pour lui redonner un certain niveau de service et ce, en dehors de toute contrainte budgétaire
- Recherche d'une « solution optimisée » prenant en compte les impératifs techniques et les contraintes budgétaires qui incluent un étalement des travaux sur plusieurs années ainsi qu'une projection dans le temps de l'image du réseau au temps t_0 de la solution technique.

La solution technique est déterminée en deux temps :

- D'abord on associe « état visuel » et « portance », la portance est donnée par la valeur de la déflexion et l'état visuel est représenté par l'indice **Is** déterminé précédemment. De cette association, on déduit une note de qualité de la chaussée de 1 à 9 et une conclusion sur ce qu'il faut faire soit de l'entretien, soit du renforcement ;
- Ensuite, dans un deuxième temps, on associe la note de qualité de la chaussée et le niveau de trafic et l'on détermine pour chaque couple de valeurs, la solution pour les travaux.

❖ Note de qualité de la chaussée

La note de qualité de la chaussée découle du croisement de la valeur de l'indice **Is** qualifiant la surface de la chaussée et de celle de la déflexion qualifiant la portance globale de la chaussée.

L'indice de dégradation :

L'indice de dégradation **Is** est classé en trois catégories comme présenté au tableau 2.3.

La déflexion :

La déflexion est aussi classée en trois catégories déterminées par deux seuils d_1 et d_2 .

- d_1 : valeur au-dessous de laquelle on considère que la structure se comporte d'une manière satisfaisante ;
- d_2 : valeur au-dessus de laquelle on considère que la structure présente de sérieux défauts de portance ;
- d_1-d_2 : zone d'indétermination.

Le choix des valeurs d_1 et d_2 dépend de nombreux facteurs tels que le climat, la nature et l'épaisseur des chaussées, les sols, les charges à l'essieu... Ces valeurs sont généralement issues de l'expérience dans un pays donné.

La grille des notes de qualité de la chaussée en fonction de la déflexion et de l'indice **Is** est représentée par le tableau suivant.

Tableau 4 : Note de qualité Q

Déflexion Indice de dégradation de surface Is	d1 d2		
	Classe 1	Classe 2	Classe 3
1-2 Peu ou pas de fissures ou pas de déformation	Q1	Q3	Q6
3-4 Fissures sans ou avec peu de déformation et déformations sans fissures	Q2	Q5	Q8
5-6-7 Fissures et déformation	Q4	Q7	Q9

Source : [23]

- ❖ **Q₁, Q₂, Q₃** : ces notes signifient qu'il n'y a rien à faire ou seulement des travaux d'entretien dont la solution sera donnée ultérieurement en fonction du trafic. Lorsqu'il n'y a que des travaux d'étanchéité à envisager, l'indice de fissuration intervient pour déterminer la date et la nature des travaux ;
- ❖ **Q₇, Q₈, Q₉** : ces notes signifient que la chaussée relève de travaux de renforcement dont l'épaisseur dépend du trafic. La solution est donnée ultérieurement ;
- ❖ **Q₄, Q₅, Q₆** : il s'agit d'une zone d'indétermination qu'il convient de lever en recherchant la cause qui est à l'origine du désaccord entre la portance et l'examen visuel. Schématiquement, ceci peut se résumer de la manière suivante ;
- ❖ **Q₄** : chaussée présentant un état de dégradation prononcé malgré une bonne portance. Il convient de vérifier la validité de la déflexion (en particulier la période de mesure), ainsi que la nature des dégradations (en particulier l'orniérage des couches d'enrobés qui n'est pas lié à la

déflexion). Selon la réponse, Q₄ sera reclassé en Q₂ (priorité à la déflexion) ou Q₇ (priorité à l'état de dégradation) ;

❖ **Q₅** : même analyse que précédemment on tiendra compte de la position de la déflexion par rapport aux limites, ainsi que du trafic. Selon la réponse, on reclassera en Q₃, Q₇ ou Q₈ ;

❖ **Q₆** : chaussée présentant une forte déflexion sans dégradation apparente pour valider ou invalider l'état de surface, on vérifiera l'âge de la chaussée ou la date des derniers travaux, ainsi que le niveau de trafic. Selon la réponse, on reclassera en Q₃ ou Q₈.

❖ **Détermination de la solution**

La détermination de la solution déborde du cadre strict de VIZIR qui est une méthode pour déterminer la qualité d'un réseau routier et les travaux nécessaires à sa remise en état et non une méthode de calcul de renforcement de chaussées. VIZIR n'a pour but que de situer la place de l'indice de dégradation Is et de la note de qualité Q de la chaussée dans le processus de choix d'une solution.

La solution est déterminée par le croisement de la classe de trafic et de la note de qualité de la chaussée. Pour un matériau de renforcement donné, compte tenu du niveau de risque associé à chaque classe de trafic, on dispose d'un tableau à deux entrées où figurent les épaisseurs précalculées.

Le calcul de cette épaisseur peut se faire en appliquant :

- Soit la méthode de la réduction de la déflexion ;

Cette méthode consiste à appliquer une formule du type :

$$e = \sqrt{d_0} \log \left(\frac{d_0}{d_1} \right) \quad (\text{Equation 2.1})$$

Où

e = épaisseur de renforcement

d₀ = déflexion avant renforcement

d₁ = déflexion après renforcement

c = constante du matériau

Cette formule n'est utilisable que si l'allongement vertical ε_z est représentatif du mode de rupture de la chaussée et de sa dégradation, c'est-à-dire seulement dans le cas de chaussées souples à faible épaisseur d'enrobé qui restent souples après renforcement.

- Soit la méthode rationnelle ALIZE III du LCPC ;

Cette méthode consiste à calculer les contraintes de traction et les allongements dans les matériaux de chaussée et à les comparer aux contraintes et aux allongements admissibles de ces mêmes matériaux pour un trafic donné. Il s'ensuit que les matériaux utilisés en renforcement doivent être parfaitement connus et donc avoir fait l'objet d'essais de laboratoire, de l'évaluation du module E, de l'allongement admissible et de la contrainte admissible, en particulier.

A titre indicatif on donne l'exemple du tableau de solutions qui a été établi pour l'étude de la mise en place d'un système d'aide à la gestion de l'entretien routier en Corée, pays qui n'utilise pas d'enduits superficiels et où la charge est de 18 kips.

Tableau 5 : Exemple du tableau de solutions en fonction du trafic

Note de qualité	Trafic	$0 \leq T4 \leq 500$	$500 \leq T3 \leq 1000$	$1000 \leq T2 \leq 2000$	$T4 > 2000$
Entretien	Q1	TS	TS	4BB	5BB
	Q2	TS	TS ou 4BB	4BB	5BB
	Q3	TS ou 4BB	4BB	7BB	7BB
Renforcement	Q6	7BB	7BB	10BB	7ED+5BB
	Q7	7BB	10BB	7ED+5BB	-
	Q8	10BB	7ED+5BB	10ED+5BB	15ED+5BB

Source : [23]

2.2.2.2. Méthode du CEBTP-LCPC

L'autre méthode française d'auscultation des chaussées, est la méthode du CEBTP-LCPC qui s'applique tant aux études de réseaux qu'aux études d'itinéraires.

Les études de réseaux consistent en une évaluation statistique de la qualité des structures et une détermination des travaux d'entretien et de remise en état. Elles permettent à travers l'évaluation du niveau de qualité des chaussées, de définir en fonction des conditions de trafic, une stratégie d'entretien, de remise en état et d'amélioration des itinéraires.

Les études d'itinéraires évaluent les caractéristiques des structures et solutions applicables par tronçons homogènes. Ainsi, les solutions de remise en état vont de la réparation ponctuelle au

renforcement en continu sur de grandes longueurs de chaussées en passant par l'amélioration des caractéristiques géométriques et du confort.

a) Méthodologie

Les auscultations dans les deux cas (études de réseaux et d'itinéraires) sont semblables et s'articulent autour des points ci-après :

- L'historique de la chaussée.
- Le relevé des dégradations.
- Les mesures de déflexions

Ces trois points sont traités dans les mêmes conditions que la méthode VIZIR. A partir des relevés des dégradations, on identifie trois catégories de sections de chaussées à savoir :

- Les sections en bon état apparent ;
- Les sections fissurées ou maillées ;
- Les sections plus ou moins déformées.

Pour quantifier la qualité apparente des chaussées, on adopte une notation qui compare en pourcentage le linéaire d'itinéraire atteint par les dégradations à la longueur de la section unitaire prise en compte (par exemple 500 m ou 1000 m). Cette notation se présente comme suit :

- **1** pour moins de **10%** de dégradation ;
- **2** pour **10% à 50%** de dégradation,
- **3** pour plus de **50%** de dégradation.

Par combinaison des deux types de dégradations (fissures et déformations), on obtient la grille ci-dessous qui chiffre la qualité apparente d'une section de chaussée.

Tableau 6 : Indice de surface

Déformation / fissures	1	2	3
1	1	2	3
2	3	4	5
3	5	6	7

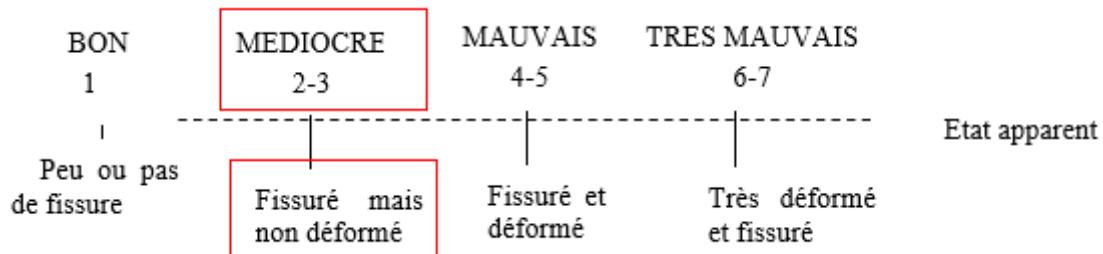


Figure 33 : Analyse de l'indice de surface

Source : [23]

Cette méthode fait abstraction des défauts propres à la couche de roulement, arrachement, peignage, ressuage, fluage, que l'on analyse séparément et qui font l'objet de solutions appropriées de remise en état.

b) Calage des résultats

Le calage des résultats est une démarche qui vise, à partir des seuils de déflexions caractéristiques propres à l'itinéraire ou au réseau, la comparaison des paramètres d'état apparent et de déflexion en vue de déboucher sur une grille de décision et de choix de solutions comme ci-après :

Tableau 7 : Note de qualité

Etat	Déflexion	< d ₁			< d ₂	
		Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅
Bon	1					
Fissuré non déformé sans	2-3		Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅
Déformé et fissuré	4-7	Q ₃		Q ₄	Q ₅	

Une fois l'auscultation de la chaussée faite, nous utiliserons les deux méthodes d'évaluations VIZIR et CEBTP pour expliquer l'état de dégradation des différentes chaussées en étude.

2.2.4 Méthodes de dimensionnement

2.2.4.1 Paramètres de dimensionnement

➤ Etude du trafic

Le trafic, encore appelé volume de circulation, est le nombre de véhicules passant dans une section donnée de route, dans une direction, pendant une unité de temps donnée. Le trafic est exprimé soit en nombre total de véhicules par jour, soit en nombre cumulé de poids lourds, soit en nombre cumulé d'essieux de référence.

➤ Etude du trafic antérieur : Calcul du taux de croissance

La connaissance du trafic passé est utile car :

- Elle concourt à justifier le comportement de l'ancienne chaussée
- Elle fournit des informations pour la détermination du taux de croissance à prendre en compte pour l'estimation du trafic futur.

Tableau 8 : Résultats de comptage de trafic

Année	Véh. léger (VL)			Total VL	Véh. poids lourds (PL)					Total PL	Motos 2roues	Total Global
	Voiture partic.	Camionnette	Minibus		Auto-car	Cam. léger	Cam. lourd	Ensem. artic.	Autres			
Akpro Misséré té - Dangbo	1322	367	189	1878	12	120	46	20	-	198	6686	8762
Dangbo - Adjoho un	1852	476	272	2600	11	24	47	21	-	103	6187	8890
Adjoho un-Bonou-Ouinhi	1307	176	177	1660	13	11	30	22	-	76	2104	3840
Ouinhi-Kpédék po	1006	363	238	1607	9	35	18	49	-	111	2953	4671

Source : DGSI/Banques de données routières

De ce tableau, on extrait le trafic moyen journalier des poids lourds par la section la plus chargée qui est de : **198 PL**

Pour convertir le trafic moyen journalier en trafic moyen annuel (MJA), le CEBTP recommande d'appliquer des taux de croissance pour tenir compte éventuellement des variations saisonnières connues ou de toutes autres variations appréhendées au niveau du volume de transport. Ce taux est de **1%** pour les poids lourds.

On a donc : **MJA = 200 PL**

➤ **Etude du trafic futur : Calcul du NE**

La connaissance du trafic futur ou trafic projeté pour toute la durée de service de l'ouvrage est un paramètre fondamental qui entre en compte dans le dimensionnement de la nouvelle chaussée.

Le trafic peut être exprimé soit en nombre total de véhicules par jour, soit en nombre cumulé de poids lourds, soit en nombre cumulé d'essieux de référence qui est adopté pour le dimensionnement. Il est encore appelé nombre équivalent d'essieux standard noté **NE** et est calculé par la formule suivante :

$$NE = 365 \times MJA \times CAM \times \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

avec :

- MJA, trafic moyen journalier annuel de l'année de base
- n durée de service de la route en nombre d'années
- i le taux de croissance du trafic
- CAM, coefficient d'agressivité structurelle moyenne des poids lourds

i, Pour le calcul des classes de trafic, on considère un taux de croissance de 5% ;

n : 15 ans

CAM :

La configuration des essieux (isolé, tandem, tridem), des roues (simples ou jumelées) et leur charge sont variables d'un poids lourd à l'autre. Par ailleurs pour une charge donnée, les contraintes et déformations dans la chaussée, sont fonction de la structure de chaussée. Vis-à-vis du comportement en fatigue, l'endommagement provoqué par l'application d'une charge donnée dépend de la nature des matériaux. Ainsi, un poids lourd n'aura pas la même agressivité selon qu'il circule sur une chaussée bitumineuse souple, ou une chaussée à assise traitée aux liants hydrauliques.

Si l'on dispose d'estimations fiables sur la composition du trafic (distribution des essieux et des charges à l'essieu), à partir de mesures de pesée d'essieux sur les routes, on pourra calculer le coefficient CAM. En l'absence des informations nécessaires pour mener un tel calcul, on pourra retenir pour CAM les valeurs données par le tableau suivant :

Tableau 9 : CAM selon le trafic de chaussée

Chaussées à faible trafic	CAM	0,4	0,5	0,7	0,8
	Classe	T5	T4	T3-	T3+
Chaussées à trafic moyen et fort	CAM	0,8		1	1,3
		Couches hydrocarbonées des structures mixtes et inverses Couches hydrocarbonées d'épaisseur au plus égal à 20 cm des Chaussées bitumineuses		Chaussées bitumineuses d'épaisseur supérieure à 20 cm Couches non liées et sol support	Couches de matériaux traités aux liants hydrauliques et en béton de ciment

Tableau 10 : Définition de classe de trafic

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

Nous proposons de prendre **CAM = 1,3**.

Ainsi, pour une durée de service de 15 ans, le nombre équivalent d'essieux standard donne :

NE = 2 047 942 conférant à la route en projet une classe de trafic **T1** dans la classification du CEBTP qui se présente comme suit :

$$T_1 < 5 \cdot 10^5$$

$$5 \cdot 10^5 < T_2 < 1,5 \cdot 10^6$$

$$1,5 \cdot 10^6 < T_3 < 4 \cdot 10^6$$

$$4 \cdot 10^6 < T_4 < 10^7$$

$$10^7 < T_5 < 2 \cdot 10^7$$

➤ Etude de portance

Portance de l'ancienne chaussée

Les prélèvements effectués sur le corps de chaussée en dehors du revêtement, après les essais au laboratoire, ont donné des résultats qui se présentent dans le tableau qui suit :

Tableau 11 : Résultats essai CBR

PK Caractéristiques géotechniques		48+000	49+000	50+000	51+000	52+000	53+000	54+000	55+000	56+000	57+000	58+000	59+000	60+000	61+000	62+000	63+000
Analyse granulométrique	31,5																
	25																
	20	100,0							100,0		100,0			100,0	98,4		
	16	97,8	100,0	100,0							98,8	100,0			99,5	95,9	
	14	97,6	99,5	99,6	100,0			100,0	100,0	99,5	100,0	97,9	99,8	100,0	97,1	94,4	100,0
	12,5	97,1	99,2	99,4	99,5	100,0	99,1	99,4	99,2	98,7	95,9	99,1	99,3	94,6	93,3	95,5	98,4
	10	94,0	98,7	97,9	98,5	98,5	97,9	97,4	98,0	97,1	91,9	97,0	97,3	88,7	88,6	91,2	96,7
	8	90,0	95,4	96,1	97,1	96,4	96,6	92,1	96,7	93,3	85,5	93,3	92,3	80,7	81,3	85,4	94,5
	5	78,1	86,0	86,4	90,4	85,7	90,9	78,9	89,8	80,9	69,7	79,3	82,0	61,4	61,5	66,4	85,8
	2	60,2	69,8	65,6	79,7	65,0	83,2	62,2	74,1	63,4	47,5	57,4	69,7	42,1	40,1	44,2	71,0
	1,25	53,2	60,9	56,4	69,5	53,5	76,9	52,5	64,4	56,4	38,3	46,1	59,7	34,0	32,3	35,9	64,1
	0,4	50,0	50,3	47,9	51,9	43,2	62,0	41,6	54,2	49,7	31,3	38,9	46,3	29,0	27,1	32,1	54,6
	0,315	45,5	40,4	38,2	34,0	32,2	43,4	39,3	39,2	46,8	23,5	32,3	35,7	23,1	21,4	30,6	44,2
	0,16	34,1	28,9	28,6	23,8	21,3	30,6	23,8	30,4	30,9	15,8	26,6	27,3	14,5	16,9	24,2	37,5
	0,08	27,5	22,3	23,6	18,6	14,5	24,3	19,4	24,5	22,0	11,1	22,3	23,0	8,6	14,4	20,2	33,0
Limites d'Atterberg	w _f (%)	44	36	35	35	31	28	46	36	38	32	40	42	40	43	42	46
	IP	19	12	11	16	8	6	20	13	19	10	15	15	14	18	17	19
Classification	LPC / USCS	GA	SA	SA	SL	SA	SA	SA	SA	GA	GA	SL	GL	GA	GA	SA	
	HRB	A-2-7(1)	A-2-7(0)	A-2-7(0)	A-2-6(0)	A-2-4(0)	A-2-7(0)	A-2-8(0)	A-2-7(1)	A-2-6(0)	A-2-6(0)	A-2-7(0)	A-2-7(0)	A-2-7(0)	A-2-7(0)	A-2-7(2)	
Proctor Modifié	$\rho_{\text{dmax}} (\text{t/m}^3)$	2,19	2,01	2,16	2,07	2,11	2,12	2,15	2,05	2,05	1,95	2,15	2,03	1,99	2,25	2,14	2,09
	w _{opt} (%)	9,00	11,50	11,00	11,50	10,70	10,50	8,00	10,50	10,00	11,80	12,50	10,80	12,00	11,50	10,00	10,30
CBR imbibé à 96 h	100 % OPM	80	38	26	52	80	70	40	32	37	112	55	26	75	51	72	46
	95 % OPM	22	32	23	47	22	58	33	14	11	30	35	22	22	20	25	19
	GL (%)	0,41	0,08	0,25	0,26	0,19	0,20	0,12	0,36	0,33	0,34	0,42	0,02	0,38	0,21	0,35	0,41
	Teneur en eau après imbibition	11,94	15,75	15,67	15,53	14,78	15,51	10,06	15,07	14,32	14,20	16,47	13,06	14,29	14,92	15,05	14,31
Classe de portance		S4	S5	S4	S5	S4	S5	S5	S3	S3	S4	S5	S4	S4	S4	S4	

Tableau 12 : Résultats essai CBR

PK Caractéristiques géotechniques		48+000	49+000	50+000	51+000	52+000	53+000	54+000	55+000	56+000	57+000	58+000	59+000	60+000	61+000	62+000	63+000	
Analyse granulométrique	31,5																	
	25																	
	20	100,0							100,0		100,0			100,0	98,4			
	16	97,8	100,0	100,0					99,9		98,8	100,0		99,5	95,9			
	14	97,6	99,5	99,6	100,0			100,0	100,0	99,5	100,0	97,9	99,8	100,0	97,1	94,4	100,0	
	12,5	97,1	99,2	99,4	99,5	100,0		99,1	99,4	99,2	98,7	95,9	99,1	99,3	94,6	93,3	95,5	98,4
	10	94,0	98,7	97,9	98,5	98,5		97,9	97,4	98,0	97,1	91,9	97,0	97,3	88,7	88,6	91,2	96,7
	8	90,0	95,4	96,1	97,1	96,4		96,6	92,1	96,7	93,3	85,5	93,3	92,3	80,7	81,3	85,4	94,5
	5	78,1	86,0	86,4	90,4	85,7		90,9	78,9	89,8	80,9	69,7	79,3	82,0	61,4	61,5	66,4	85,8
	2	60,2	69,8	65,6	79,7	65,0		83,2	62,2	74,1	63,4	47,5	57,4	69,7	42,1	40,1	44,2	71,0
	1,25	53,2	60,9	56,4	69,5	53,5		76,9	52,5	64,4	56,4	38,3	46,1	59,7	34,0	32,3	35,9	64,1
	0,4	50,0	50,3	47,9	51,9	43,2		62,0	41,6	54,2	49,7	31,3	38,9	46,3	29,0	27,1	32,1	54,6
	0,315	45,5	40,4	38,2	34,0	32,2		43,4	39,3	39,2	46,8	23,5	32,3	35,7	23,1	21,4	30,6	44,2
	0,16	34,1	28,9	28,6	23,8	21,3		30,6	23,8	30,4	30,9	15,8	26,6	27,3	14,5	16,9	24,2	37,5
	0,08	27,5	22,3	23,6	18,6	14,5		24,3	19,4	24,5	22,0	11,1	22,3	23,0	8,6	14,4	20,2	33,0
	w _f (%)	44	36	35	35	31		28	46	36	38	32	40	42	40	43	42	46
	IP	19	12	11	16	8		6	20	13	19	10	15	15	14	18	17	19
Classification	LPC / USCS	GA	SA	SA	SA	SL		SA	SA	SA	GA	GA	SL	GL	GA	GA	SA	
	HRB	A-2-7(1)	A-2-7(0)	A-2-7(0)	A-2-6(0)	A-2-4(0)		A-2-7(0)	A-2-6(0)	A-2-7(1)	A-2-6(0)	A-2-6(0)	A-2-7(0)	A-2-7(0)	A-2-7(0)	A-2-7(0)	A-2-7(2)	
Proctor Modifié	p _{dmax} (t/m ³)	2,19	2,01	2,16	2,07	2,11		2,12	2,15	2,05	2,05	1,95	2,15	2,03	1,99	2,25	2,14	2,09
	w _{ept} (%)	9,00	11,50	11,00	11,50	10,70		10,50	8,00	10,50	10,00	11,80	12,50	10,80	12,00	11,50	10,00	10,30
CBR imbibé à 96 h	100 % OPM	80	38	26	52	80		70	40	32	37	112	55	26	75	51	72	46
	95 % OPM	22	32	23	47	22		58	33	14	11	30	35	22	22	20	25	19
	GL (%)	0,41	0,08	0,25	0,26	0,19		0,20	0,12	0,36	0,33	0,34	0,42	0,02	0,38	0,21	0,35	0,41
	Teneur en eau après imbibition	11,94	15,75	15,67	15,53	14,78		15,51	10,06	15,07	14,32	14,20	16,47	13,06	14,29	14,92	15,05	14,31
Classe de portance		S4	S5	S4	S5	S4		S5	S3	S3	S4	S5	S4	S4	S4	S4	S4	

Tableau 13 : Résultats essai CBR

PK Caractéristiques géotechniques		64+000	65+000	66+000	67+000	68+000	69+000	70+000	71+000	72+000	73+000	74+150	75+000	76+000	77+000	78+000	79+000
Analyse granulométrique	31,5																
	25							100,0				100,0				100,0	
	20	100,0	100,0					99,0		100,0		98,1				98,8	
	16	99,0	97,9				100,0	97,3		99,0		96,7		100,0		95,7	
	14	100,0	98,4	96,9		100,0	98,4	96,5	100,0	98,3	100,0	94,6	95,7	96,7	100,0	93,4	98,0
	12,5	97,1	97,0	94,6	100,0	92,1	95,4	95,2	96,6	98,0	96,0	93,6	94,0	94,8	98,3	91,7	97,3
	10	93,6	93,9	91,8	97,7	88,4	92,6	91,0	94,8	96,0	94,0	91,5	91,8	91,3	95,0	85,2	95,5
	8	88,6	89,1	87,2	94,9	83,4	87,6	86,1	92,1	92,2	90,4	86,3	88,0	86,1	92,0	76,1	92,3
	5	74,0	70,8	48,9	81,1	66,6	73,6	68,7	81,0	76,6	76,6	70,8	74,4	69,9	79,5	54,8	77,6
	2	49,4	46,9	44,4	62,8	44,5	53,0	47,9	60,6	56,1	52,5	56,4	56,0	47,0	55,5	34,5	55,0
	1,25	39,7	37,3	38,1	54,6	37,2	43,9	39,9	52,0	47,4	44,3	49,8	48,2	39,1	47,3	28,6	45,3
	0,4	34,8	31,7	34,3	46,1	33,0	38,3	35,7	47,1	41,7	39,7	42,7	43,2	35,4	43,0	26,0	39,4
	0,315	31,8	26,2	29,7	37,1	29,5	33,8	32,2	42,3	36,7	35,1	38,3	31,7	40,4	23,8	33,6	
	0,16	28,4	14,5	24,2	29,9	25,3	28,4	29,2	36,7	31,6	28,1	28,8	33,1	27,2	33,3	21,2	28,0
	0,08	25,1	14,0	21,7	24,7	21,3	24,2	26,1	31,9	26,8	22,1	25,2	29,2	23,1	30,2	19,4	22,6
	w _f (%)	40	41	35	41	26	37	33	46	38	33	50	47	44	35	42	44
	IP	16	19	11	19	7	18	8	20	26	11	29	26	19	13	16	27
	LPC / USCS	GA	GA	GA	SA	GA	GA	GL	GA	GL	GA						
	HRB	A-2-7(1)	A-2-7(0)	A-2-6(0)	A-2-7(1)	A-2-4(0)	A-2-6(1)	A-2-4(0)	A-2-7(2)	A-2-6(2)	A-2-6(0)	A-2-7(2)	A-2-7(2)	A-2-7(1)	A-2-6(0)	A-2-7(0)	A-2-7(1)
Proctor Modifié	p _{dmax} (t/m ³)	2,12	2,21	2,17	2,15	2,06	2,03	2,20	2,00	2,14	2,18	1,97	2,05	2,19	2,12	2,06	2,05
	w _{ept} (%)	11,30	11,50	11,00	9,30	11,00	11,20	9,30	10,00	9,00	9,00	10,50	12,50	9,50	10,00	11,00	10,30
CBR imbibé à 96 h	100 % OPM	105	33	62	43	37	62	57	44	35	52	31	115	121	125	47	52
	95 % OPM	46	27	22	25	31	35	30	23	18	18	18	40	41	76	15	38
	GL (%)	0,10	0,18	0,32	0,41	0,26	0,11	0,40	0,25	0,22	0,18	0,20	0,40	0,27	0,47	0,28	0,03
	Teneur en eau après imbibition	15,14	14,84	16,01	13,59	13,26	15,35	12,24	13,47	13,66	12,68	14,75	15,34	13,28	14,30	14,03	12,49
Classe de portance		S5	S4	S4	S4	S5	S5	S4	S4	S4	S4	S5	S5	S5	S3	S5	

En tenant des résultats dans le tableau ci-dessus sur le tronçon en étude (Pk 49+000 au Pk69+700), les valeurs du CBR varie de 15 à 58 qui correspondent aux classes de portance S₄ et S₅

Ces classes sont définis comme suit :

La classe de portance S₄ est retenue pour le sol de plateforme.

Tableau 14 : Classe de la portance

Classe	Portance
S ₁	CBR < 5
S ₂	5 < CBR < 10
S ₃	10 < CBR < 15
S ₄	15 < CBR < 30
S ₅	CBR > 30

➤ **Portance de la plateforme pour la nouvelle chaussée**

La valeur à retenir est la portance CBR des sols mis en œuvre dans les 30 cm supérieurs de la plate-forme. Il peut s'agir :

- des terrassements en déblai ;
- de la couche supérieure ;
- du terrain naturel ;
- d'une couche de forme ;

2.2.4.2 Etapes de dimensionnement sur Alizé-LCPC

La Justification mécanique des structures de chaussée sera conduite selon la démarche rationnelle du dimensionnement routier explicitée dans le Guide de dimensionnement des structures de chaussées neuves LCPC-SETRA de 1998.

La modélisation et les calculs seront réalisés par le logiciel ALIZE-LCPC. Les matériaux granulaires GNTa/GNT ainsi que la Plateforme support seront vérifiés en poinçonnement - déformation ξ_z . Quant à le grave bitume, elle sera vérifiée en déformation ξ_t . Voici un processus général pour effectuer le dimensionnement sur Alizé LCPC :

- **Collecte des données** : rassemblez toutes les données pertinentes telles que les caractéristiques du sol, le trafic prévu, les matériaux disponibles, etc. ;

- **Création du projet** : lancez Alizé LCPC et créez un nouveau projet en entrant les informations de base telles que la localisation, les spécifications du projet, etc. ;
- **Définition des paramètres** : entrez les paramètres du sol, du trafic, des matériaux, des conditions météorologiques, etc., dans le logiciel ;
- **Modélisation de la structure de la chaussée** : utilisez les outils de modélisation d'Alizé LCPC pour représenter la structure de la chaussée, y compris les différentes couches de matériaux.
- **Analyse de la charge** : appliquez les charges de trafic sur la chaussée et utilisez les fonctionnalités d'analyse du logiciel pour évaluer les contraintes et les déformations.
- **Analyse de la capacité portante** : Utilisez les outils d'Alizé LCPC pour évaluer la capacité portante de la chaussée sous les charges appliquées ;
- **Optimisation de la conception** : en fonction des résultats de l'analyse, ajustez les paramètres de conception tels que l'épaisseur des couches de matériaux pour optimiser les performances de la chaussée ;
- **Vérification et validation** : vérifiez les résultats obtenus et assurez-vous qu'ils respectent les normes et les exigences du projet ;
- **Génération des rapports** : générez des rapports détaillés sur les résultats de l'analyse et les paramètres de conception pour documenter le processus de dimensionnement ;
- **Révision et ajustement** : si nécessaire, révisez et ajustez la conception en fonction des commentaires et des exigences du client ou des normes applicables.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré une diversité de matériaux, matériels et méthodes. L'auscultation visuelle, première étape cruciale, nous a permis d'identifier les dégradations apparentes. La poutre de Benkelman et la carotteuse routière ont été des outils déterminants pour évaluer la résistance et l'intégrité structurelle des chaussées. L'appareil de mesure d'UNI, conjointement avec la méthode d'auscultation mécanique par sondage et par mesure de déflexion, a offert une compréhension approfondie des propriétés mécaniques des matériaux. Les relevés visuels des déformations, suivis de l'UNI, ont fourni des données précises sur l'évolution des chaussées dans le temps. Enfin, les méthodes d'évaluation telles que la Méthode VIZIR et la Méthode du CEBTP-LCPC, ainsi que le dimensionnement des chaussées avec ALIZE-LCPC, ont enrichi notre arsenal technique pour une maintenance efficace et un dimensionnement optimal de la chaussée du tronçon Akpro missérété – Kpédékpô. Ce corpus

méthodologique constitue une base solide pour la réparation et l'entretien des chaussées, en vue de garantir leur durabilité et leur sécurité pour les usagers.

Chapitre 3 : Résultats et Discussions

3.1 Résultats d'Auscultation visuelle

☒ Les bourrelets sur la chaussée

1. Observation : Photo 35 : 8cm ; 10cm



Figure 34 : Photo des bourrelets

2. Causes

- Fatigue de la chaussée due au passage de véhicules trop lourds pour la structure de la chaussée ;
- Tassement des couches inférieures ;
- Défaut de compactage à la construction ;
- Entrée d'eau entraînant une diminution de la portance du corps de chaussée ;
- Matériaux de mauvaise qualité ;
- Qualité inadéquate du revêtement bitumineux ;
- Manque de liaison entre le revêtement bitumineux et la couche sous-jacente.

3. Solutions

Des solutions préventives visant à retarder le phénomène doivent être prises durant la mise en œuvre. Il s'agit de veiller au bon compactage des couches mais surtout du sol support notamment dans les accotements. Aussi, une attention particulière doit être accordée à la protection des accotements contre les effets de l'eau particulièrement l'érosion et du trafic.

Dans les solutions curatives, on retiendra la réfection localisée du corps de chaussée et la reprise des conditions de drainage (mise en place de butées).

☒ Les orniéragés sur la chaussée

1. Observation :



Figure 35 : Photos de l'orniérage

2. Causes

- Un sous dimensionnement du corps de chaussée lui proférant une résistance insuffisante ;
- Un compactage insuffisant lors de la réalisation ;
- Une perte de portance des couches sous-jacentes du revêtement ;
- Des insuffisances du revêtement : bitume trop mou ou surdosage, enrobé trop faible pour bien résister au trafic lourd, compactage insuffisant de l'enrobé lors de la mise en place.

3. Solutions

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

- Le reprofilage consiste à redonner à la chaussée un profil en travers correct (pour évacuer l'eau) et un profil en long régulier (pour sécuriser et améliorer le confort des usagers), généralement par apport de matériaux. Il nécessite tout d'abord un repérage, puis un accrochage (l'émulsion, si le béton bitumineux est chaud, est préférable à toute autre technique). Ensuite viennent les étapes de répandage et de compactage

(intense). Elles sont suivies par une étape de vérification de la pente (2 à 5 % max).

L'opération se termine par un drainage.

- Le rechargement quant à lui, consiste à ajouter à une chaussée existante une nouvelle couche d'enrobé bitumineux (rechargement simple) ou plusieurs couches d'enrobé bitumineux (rechargement lourd).

☒ Les affaissements sur la chaussée

1. Observation : Photo 37 : **5cm**

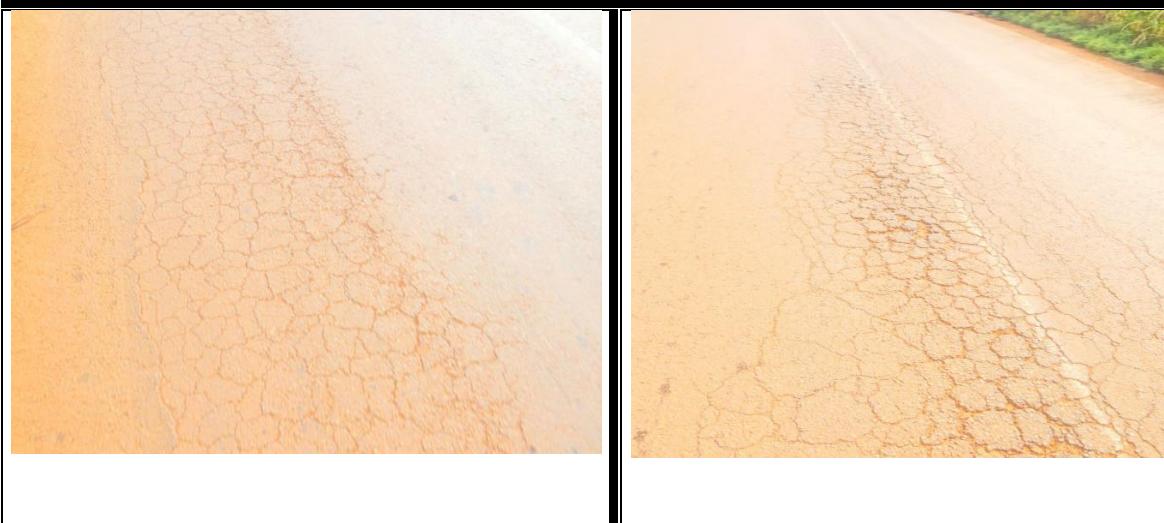


Figure 36 : Photos de l'affaissement et faïençage

2. Causes

- Mauvaise mise en œuvre ;
- Sous dimensionnement du corps de la chaussée (épaisseurs insuffisantes) ;
- Fatigue de la couche de roulement ou de la totalité de la chaussée (contraintes de cisaillement excessives engendrées par le trafic lourd) ;
- Vieillissement du liant caractérisé par un durcissement et un retrait de l'enrobé ;
- Non accrochage de la couche de roulement sur la couche de base.

3. Solutions

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

Les Fissurations sur la chaussée

1. Observation



Figure 37 : Photo du réseau de fissurations longitudinales



Figure 38 : photo de fissurations longitudinales



Figure 39 : Photo des fissurations transversales

2. Causes

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

3. Solutions

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

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

☒ Les arrachements sur la chaussée

1. Observation



Figure 40 : Photo des arrachements

Figure 41 : Photo des arrachements



Figure 43 : Photo des arrachements

2. Causes

- Mauvaise qualité des enrobés (sous-dosage du bitume ou mauvais enrobage) ;
- Mauvaise adhésivité liant-granulat ;
- Utilisation de granulats hydrophiles ;
- Vieillissement du liant à travers le temps ;
- Mise en œuvre sous conditions météorologiques défavorables (températures élevées notamment) ;
- Stagnation d'eau sur la chaussée ;

- Usure par trafic intense.
- Compactage insuffisant de la couche de roulement.

3. Solutions

La solution préconisée est la méthode dite des emplois partiels. Elle permet de traiter aussi bien les plumages que les pelades. Elle consiste, après délimitation et balayage de la zone à traiter, à faire le choix entre options :

- L'imperméabilisation est réalisée avec une émulsion à froid ou du bitume fluidifié à chaud après avoir appliqué une couche d'accrochage. On répand ensuite des gravillons (dimensions 6 à 10 mm) jusqu'à une couverture complète. Enfin, à l'aide d'un petit compacteur, on fait pénétrer les gravillons dans le bitume.
- L'application d'enrobé consiste à appliquer sur la zone à réparer du bitume fluidifié à chaud ou une émulsion de bitume afin de constituer une couche d'accrochage. On répand ensuite de l'enrobé fin à froid (constitué de gravillons inférieurs à 6 mm) sur la surface à traiter et on compacte à l'aide d'un petit compacteur vibrant ou une dame à la main jusqu'à égalisation de la surface environnante.

D'autres solutions consistent en l'application d'un enduit superficiel ou d'un coulis bitumineux.

☒ Les nids de poule sur la chaussée

1. Observation



Figure 42 : Photos des nids de poule

2. Causes

- Défaut localisé de la couche de roulement ou de base lors de la fabrication ou de la mise en œuvre des matériaux ;
- Épaisseur insuffisante du revêtement ;
- Forte perméabilité de la couche de roulement ;
- Désagrégation et départ de matériaux dus à une mauvaise qualité de la chaussée ;
- Très souvent, ils correspondent au stade ultime à d'autres dégradations (faïençage, flache, désenrobage, pelades...).

3. Solutions

La technique d'entretien la plus connue est le bouchage de nids de poule. En plus, quand les nids de poule atteignent certains niveaux de gravité, la réfection localisée du corps de chaussée est plus préconisée.

Le bouchage des nids de poule consiste à rendre à la chaussée son état initial en rebouchant les nids de poule dès la constatation de leur apparition. On procède par découpage (bords verticaux), élimination des parties non liées (ce qui implique décapage et nettoyage), accrochage (épandage d'émulsion), remplissage, compactage (intense) et enfin traitement de la surface.

Une visite a été effectuée sur l'axe Akpro-missérété – Kpédékpo afin de contrôler l'état général de la route du PK 0+000 (Carrefour Akpro missérété) au PK 85+000 (zone d'étude incluse), il ressort des premières analyses que le niveau de service de ce tronçon est acceptable. Toutefois, on note par endroit des zones faïencées qui laissent entrevoir un début de faiblesse structurelle.

L'inspection de la route s'est déroulée du Pk49+000 au Pk69+700. L'objectif visé est de relever toutes les pathologies constatées en précisant leur nature, leur position, leur étendue ainsi que leur degré de gravité. Le point de ces relevés se trouve résumé dans le schéma d'itinéraire élaboré à cet effet. Ces appréciations associées à la déflexion caractéristique de la chaussée dans une section donnée, permettront l'attribution d'une note de qualité pour caractériser l'état de la chaussée.

Observations

Le tronçon Akpro-missérété -Kpédékpo est dans l'ensemble affecté par les fissurations, les déformations, les arrachements et quelques cas de remontée de matériaux.

- Les arrachements observés sont essentiellement les nids de poule, les pelades et les épaufrures. Les deux premières dégradations se trouvent aussi bien du côté droit, dans l'axe ainsi que le côté gauche.
 - Les nids de poule dont le nombre par kilomètre est en moyenne de 7, sont particulièrement présents dans les bandes de roulement. Ces nids de poule ont parfois un diamètre supérieur à 130 cm (Pk35+100. Ces dégradations sont de gravité **1** selon VIZIR).
 - Les pelades sont beaucoup plus concentrées sur les rives et les plaques ainsi décollées sont plus ou moins grandes. Notons qu'elles sont ponctuelles et sans apparition de la couche de base, donc de gravité **1**.
- Dans la famille des déformations, nous avons noté des affaissements et plus généralement des ornières dont la profondeur varie de 1 cm à plus de 5cm. Les affaissements et les ornières de faibles profondeurs n'ont pas été facilement identifiés ;ce qui n'est pas le cas des ornières à grand rayon. La profondeur moyenne de ces ornières est comprise entre 2 et 4 cm, ce qui correspond à une note de gravité égale à **2**.
- Le constat épantant fait au cours de cette inspection visuelle, est l'état de la chaussée vis-à-vis de la fissuration. La chaussée est en grande partie faïencée; quelques linéaires seulement sont épargnés. Ce phénomène est beaucoup plus observé dans les traces des roues, quelquefois dans l'axe, et parfois généralisé sur toute la largeur de la chaussée. Les zones épargnées sont localisées le plus souvent au niveau des réparations récentes.

❖ Schéma d'itinéraire des dégradations relevées

Tableau 15 : Synthèse des dégradations relevées

Localisation (PK)	Coté	Type de dégradation
49+000	G	Bourrelet
50+000	D	Orniérage
51+000	D	Affaissement
52+000	D	Fissuration
53+000	G	Arrachement
54+000	D	Nids de poule
55+000	G	Orniérage
56+000	D	Fissuration
57+000	G	Nids de poule
58+000	G	Bourrelet
59+000	G	Arrachement
60+000	G	Fissuration
61+000	D	Nids de poule
62+000	G	Orniérage
63+000	G	Affaissement
64+000	D	Arrachement
65+000	D	Fissuration
66+000	D	Bourrelet
67+000	G	Affaissement
68+000	D	Nids de poule
69+000	G	Fissuration

3.2 Causes probables des dégradations observées

L'analyse des dégradations, dans son volet détermination des causes, suppose que l'on détermine au préalable des facteurs d'aide à l'analyse qu'il convient d'appeler "*éléments d'analyse*". Ces éléments comme on peut l'imaginer, sont les principaux facteurs de dégradation

des chaussées auxquels l'on associe d'autres données ainsi que l'interaction entre les différentes dégradations afin d'affiner l'analyse. Il s'agit :

- Des matériaux de chaussée ;
- De la pluie ;
- De l'évolution d'une dégradation en une autre ;
- De la mise en œuvre de la chaussée.

a) Les fissurations

Comme nous l'avions exposé plus haut, ce sont les fissures longitudinales et verticales, qui ont été observées presque exclusivement et quelques faïençages. Il s'agit de fissures de retrait et de fissures de joints. Ce sont donc leurs causes que nous allons déterminer.

Particulièrement sur ce chantier, nous avons pu constater surtout un défaut de mise en œuvre pendant l'application du sol ciment.

- Le retrait dû à la prise de l'assise traitée aux liants hydrauliques sous l'effet des variations de températures entraînant des fissures qui remontent au travers de la couche de surface ;
- La non-homogénéité des matériaux lors du malaxage et des surdosages et sous dosages par endroit ;
- Le mauvais accrochage de la couche de roulement sur la couche de base à L'évolution des fissures longitudinale et transversale en faïençages.

b) Les déformations

Elles regroupent les affaissements et les ornières et sont des dégradations structurelles dont les causes sont multiples et variées. Les éléments dont nous disposons nous permettent de déduire les causes les plus probables.

En outre, le drainage des eaux superficielles est insuffisant ; en témoigne les affaissements et orniérages notés dans l'axe de cette dernière. Ceci entraîne une infiltration des eaux dans le corps de chaussée traitée au liant hydraulique et a pour conséquence une perte de portance et conduit à des tassements différentiels.

D'autre part, le défaut de mise en œuvre des caniveaux et du TPC favorise ainsi une pénétration des eaux de surface. Comme dans le cas précédent, la conséquence immédiate est la chute de

portance des couches sous-jacentes du revêtement. Le processus se poursuit jusqu'à l'apparition de la déformation en surface

c) Les arrachements

Dans l'ensemble, les nids de poule et les enrobages recensés sont localisés dans les zones déformées et/ou faïencées. Alors, leurs causes sont probablement une évolution du faïençage et/ou des ornières. Ces dégradations sont dues à une mauvaise adhésivité liant-granulat et à la mise en œuvre, parfois dans des conditions météorologiques défavorables et accentuées par les eaux superficielles.

Conclusion

Au vu des observations visuelles et des essais faits sur les matériaux des couches, les dégradations observées sont dues par endroit aux mauvais matériaux mais aussi à la mauvaise mise en œuvre.

3.3 Résultats d'Auscultation mécanique

3.3.1 Auscultation par sondages

3.3.1.1 Mesures de déflexion sur la chaussée

Les déflexions caractéristiques du tronçon étudié se présentent dans le tableau suivant : les résultats des mesures de déflexion présentés sont ceux réalisées par l'entreprise au démarrage des travaux.

Tableau 16 : Déflexions de la chaussée

Campagne de déflexion						
section	Écart type σ	d moy	dc=	d < 60	60 < dc < 85	dc > 85
0+000 – 0+900	7	31	40.90	■		
1+000 - 2+900	9	34	45.27	■		
3+000 – 4+900	11	43	57.15	■		
5+000 – 6+900	9	35	47.27	■		
7+000 – 8+900	7	31	39.83	■		
9+000 –	12	38	53.30	■		
11+000 –	10	36	47.98	■		
13+000 –	5	33	39.50	■		
15+000 –	8	25	35.15	■		
15+600 –	5	27	33.49	■		
17+600 –	9	32	44.11	■		

19+700 –	13	46	62.75		■	
21+000 –	18	45	68.31		■	
23+000 –	11	39	40	■		
25+000 –	12	41	55.88	■		
26+600 –	17	40	61.96			
28+600 –	14	49	66.96		■	
30+600 –	13	50	66.28		■	
32+600 –	11	63	76.35		■	
34+600 –	9	44	56.31	■		
36+600 –	9	36	47.80	■		
38+700 –	18	52	75.44		■	
39+700 –	10	40	53.11	■		
40+300 –	11	42	56.66	■		
41+300 –	16	47	67.36		■	
43+300 –	13	43	49.13	■		
49+000 –	16	52	71.92		■	
50+800 –	16	48	68.32		■	
52+800 –	18	71	94.94			■
54+800 –	15	47	65.60		■	
56+800 –	15	47	66.88		■	
58+800 –	10	41	54.27	■		
60+800 –	17	53	74.13		■	
62+800 –	15	43	61.72		■	
64+800 –	15	50	69.92		■	
66+700 –	16	50	71.19		■	
67+800 –	18	51	73.59		■	
69+800 –	18	38	59.27	■		
71+800 –	24	63	93.73			■
73+800 –	26	70	105.64			■
74+800 –	19	53	78.26		■	
76+800 –	30	62	100.68			■
78+800 –	31	87	127.31			●
80+800 –	23	70	99.18			■
82+800 –	27	79	114.44			■
83+800 –	11	53	67.26		■	
84+800 –	13	37	53.52	■		
86+800 –	15	31	50.57	■		

Les valeurs d1 et d2 permettent de classer les déflections en trois classes :

- d1 : valeur en dessous des quelles les chaussées se comportent généralement bien (zone 1) ;
- d2 : valeur au – delà de laquelle les chaussées se comportent mal (zone 3) ;
- d1 - d2 : zone d’indétermination (zone 2).

En regroupant les déflections, on aboutit à la répartition en zone indiquée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 17 : Récapitulatif du pourcentage

Zones	Pourcentage des valeurs	Plage
d1	46.8%	< 60
d1 - d2	38.29%	60 < dc < 85
d2	14.89%	> 85

L’analyse des résultats permet de définir 03 zones à savoir :

Tableau 18 : Zones de dégradation

Zone 1 : légèrement dégradée	Zone 2 : moyennement dégradée	Zone 3 : très dégradée
0+000 au 19+600 ;	19+700 au 22+900 ;	52+800 au 54+700 ;
23+000 au 26+500 ;	28+600 au 34+500 ;	71+800 au 74+700
34+600 au 38+500 ;	38+700 au 39+400 ;	76+800 au 83+700
39+700 au 41+200 ;	41+300 au 43+200 ;	
43+300 au 45+200 ;	49+000 au 52+700	
58+800 au 60+700 ;	54+800 au 58+700	
69+800 au 71+700 ;		
84+800 au 88+700		

L’analyse des résultats nous montre que le tronçon allant du PK 49+000 au PK 69+700 est moyennement dégradé.

Tableau 19 : Déflexion caractéristique de la section étudiée

Sections	Déflexion caractéristique (dc)	D ₁ =60/100	D ₂ =85/100	Portance	Qualité structurelle
PK 49+000 – PK 69+700	60<dc< 85	60	85	Médiocre	Douteuse

La déflexion caractéristique dans la zone d'étude (PK 49+000 au PK 69+700) est dans l'ensemble élevée ; et *est comprise entre les seuils précédemment déterminés à savoir*

d₁ = 60/100 mm et d₂ = 85/100 mm) excepté la section du PK 58+800 au PK 60+700 donc la déflexion caractéristique est inférieur à 60.

3.4 Evaluation sur les chaussées ciblées

Pour les besoins de la quantification les dégradations seront évaluées sur 3 sections les plus dégradée. Les dégradations qui seront évaluées sont celles qui entrent dans la détermination de l'indice de surface. Il s'agit des fissurations, des déformations et des réparations.

La gravité et l'entendue des dégradations se font suivant les tableaux qui suivent et suivant le guide technique de diagnostic et conception des renforcements des chaussée

Tronçon Akpro missérété-Kpédékpô : Evaluation du PK49+000 au PK69+700

Tableau 20 : Quantification des dégradations entre PK49+000 et PK69+700

Famille de Dégradation	Nature	Linéaire (ml)	Superficie (m ²)	Gravité	Etendue (%)
Fissurations	Fissures longitudinales et/ou transversales	500	3500	3	80
	Arrachement	300	2100	3	80
Déformations	Ornière	300	2100	2	20
	Affaissements	300	2100	3	80

3.4.1 Résultat de la méthode VIZIR

Tronçon Akpro Missérété - Kpédékpô

- Gravité et étendue des dégradations**

Les gravités et étendues des dégradations relevées sur la section sont consignées dans le tableau 16 ci-dessus

- Calcul de l'indice de fissuration I_f**

L'indice de fissuration est calculé avec les données des fissures longitudinales et/ou transversales et celles du faïençage.

- Etendue : 80% ;
- Gravité : 3.

D'après le diagramme de détermination de l'indice de surface (Cf. figure 17), l'indice de fissuration est : $I_f = 5$

- Calcul de l'indice de déformation I_d**

L'identification des déformations, leur étendue et niveau de gravité permettent de déterminer l'indice de déformation.

- Etendue : 20% ;
- Gravité : 2.

D'après le diagramme de détermination de l'indice de surface (Cf. figure 17), l'indice de déformation est $I_d = 4$.

Détermination de la première note de dégradation

La première note de dégradation est obtenue par la combinaison d' I_f et d' I_d

$$I_f = 5 \text{ et } I_d = 4$$

La première note de dégradation est 7.

- Correction pour réparation**

La gravité des réparations est de 3 et leur étendue est Supérieur à 50% donc il y a une correction de +1 à apporter à la première note de dégradation (Cf. figure 17)

Dans ces conditions, l'indice global de dégradation de surface est :

$I_s = 7$ correspond à de très mauvais états de surface nécessitant de gros travaux d'entretien ou de renforcement ; fissures et déformations en grande quantité.

- Détermination de la note de qualité Q**

Comme l'indique la méthode VIZIR à travers son diagramme, la note de qualité résulte de l'étude croisée de l'indice de dégradation de surface et de la déflection caractéristique de la chaussée (Cf Tableau 3).

Dans notre cas, l'indice de dégradation de surface est égal à 7 et la déflexion caractéristique de la chaussée entre PK49+000 et PK69+700 varie de 65/100 mm à 94/100mm s'insère dans l'intervalle.

Ainsi, la note de qualité à donner à la chaussée est **Q4**.

La note de qualité obtenue (Q₄) chaussée présentant un état de dégradation prononcé malgré une bonne portance. Il convient de vérifier la validité de la déflexion (en particulier la période de mesure), ainsi que la nature des dégradations (en particulier l'orniérage des couches d'enrobés qui n'est pas lié à la déflexion). Selon la réponse, Q₄ sera reclassé en Q₂ (priorité à la déflexion) ou Q₇ (priorité à l'état de dégradation). Ainsi, la chaussée en étude est reclassée à Q₇, par conséquent la chaussée va subir un renforcement.

3.4.2 Résultat de la méthode CEBTP-LCPC

Tronçon Akpro missérété-Kpédékpo

❖ Qualité apparente de la chaussée

La détermination de la qualité apparente de la chaussée se fait par combinaison des deux types de dégradations (fissurations et déformations) comme exposé au tableau 3.

- Etendue des fissurations > **50%** => **note de fissuration = 3**,
- Etendue des déformations = **20%** => **note de déformation = 3**

Ainsi, la combinaison de ces deux notes nous donne une note de qualité apparente **5**, laquelle note est caractéristique d'une chaussée déformée et fissurée.

❖ Choix de la solution

Comme dans le cas de la méthode VIZIR, le choix de la décision découle du croisement entre la note de qualité apparente et la déflexion caractéristique de la chaussée.

Dans le cas actuel, l'indice de dégradation de surface est égal à **5** et la déflexion caractéristique de la section de chaussée se situe entre les seuils d₁ et d₂.

Alors, la note de qualité correspondante à cette chaussée est **Q7**.

La note de qualité Q₇ montre d'après la grille de décision que le niveau de dégradation atteint par la route nécessite les travaux de renforcement et d'augmentation des épaisseurs selon le trafic.

❖ **Commentaire des résultats :**

Les deux méthodes d'évaluation des chaussées que nous avons utilisées ont débouché sur des conclusions qui convergent. Nous avons en substance que, la chaussée étudiée a une note de qualité Q₇ qui montre la nécessité d'effectuer les travaux de renforcement.

Conclusion

Cette section est consacrée à l'étude de cas de diagnostic sur la chaussée Akpro missérété-Kpédékpô objet de ce travail. Pour atteindre cet objectif, plusieurs méthodes ont été utilisées (la méthode **VIZIR** et la méthode **CEBTP-LCPC**). Ainsi, les deux méthodes d'évaluation des chaussées ont débouché sur des conclusions qui convergent. Par conséquent, il ressort la nécessité d'effectuer les travaux de renforcement et augmentation de la largeur de la chaussée.

3.4.3 Résultat de la proposition des épaisseurs des chaussées

Tronçon Akpro missérété-Kpédékpô

The screenshot shows the Alizé-Lcpc software interface for calculating admissible values. The window title is "Alizé-Lcpc - Calcul des valeurs admissibles".

Trafic PL cumulé : données

- Moyenne journalière annuelle (MJA) : 200
- Taux accroissement géométrique (%) : 5
- Taux accroissement arithmétique (%) : 6,27
- Durée de service (années) : 15
- Trafic cumulé PL : 1,5752E+6

Valeurs admissibles : données

matériau type :	bitumineux
coefficient CAM :	1,3
risque (%) :	12,0
trafic cumulé NE :	2,0478E+6
Epsilon6 (μdef) :	100
-1/b :	5

Buttons:

- Calculer EpsiT admissible
- Calcul inverse NE = f(EpsiT)
- Calcul inverse Risk = f(EpsiT)
- Bibliothèque des matériaux
- Imprimer
- Enregistrer

Aide

- CAM : Guide Icpc-sétra 94
- CAM : Catalogue 1998
- Risques : Guide Icpc-sétra 94
- Risques : Catalogue 1998
- Structures catalogue 98

EpsilonT
191,9 μdef
Annotation libre :
GB4
Mémo ...
1 - EpsiZ= 476,5 (gnt et sol)
2 - EpsiT= 191,9 (GB4)

effacer=dbl click

Fermer

Figure 43 : Calcul de l'allongement ξ_t à la base du béton bitumineux

Après avoir inséré les valeurs de base de calcul, nous avons :

$$\xi_t = 191,9 \mu\text{def}$$

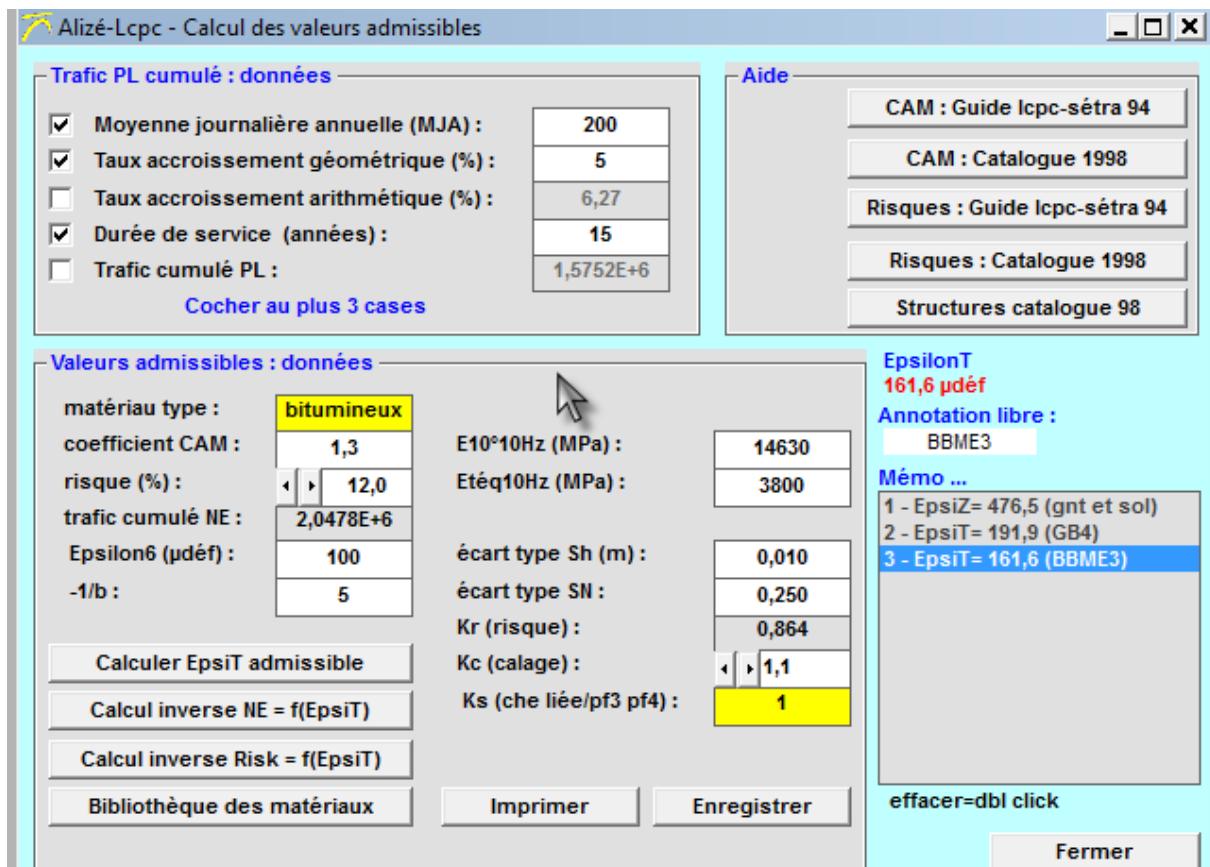


Figure 44 : Calcul de la déformation verticale ξ_z sur GNT et sol

On a : $\xi_z = 161,6 \mu\text{def}$

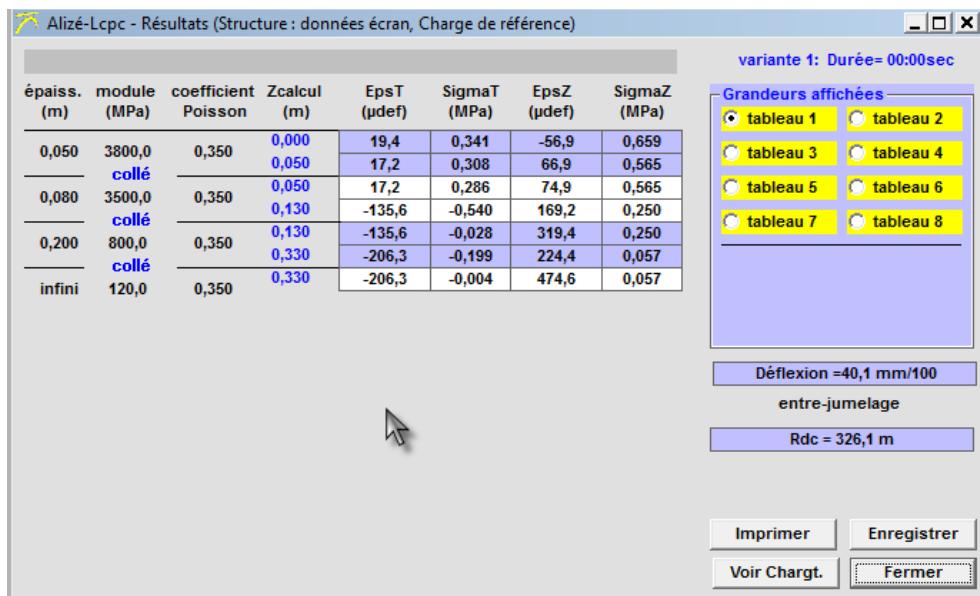


Figure 45 : Chargement des données (épaisseurs des couches et modules de Young des matériaux)

Tableau 21 : Vérification des contraintes et déformations de la chaussée

Matériaux	ϵ_Z Induite/ admissible (udef)	σ_t Induite/admissible (MPa)	Observation	Commentaire
Base en GB4		135.6/191.9	ϵ_Z induite < σ_t admissible	Conforme
Fondation améliorée au ciment	319.4/476.5		ϵ_Z induite < σ_t admissible	Conforme
PF	474.6 /476.5		ϵ_Z induite < σ_t admissible	Conforme

Les vérifications effectuées sur les résultats obtenus des calculs Alizé, comparés aux valeurs admissibles montrent que les structures proposées présentent des sollicitations inférieures aux valeurs admissibles. Ceci tant du point de vue de la déformation verticale (ϵ_Z) à la surface des couches non liées et du sol support, qu'au niveau de la contrainte de traction (σ_t) à la base des couches traitées aux liants hydrauliques ainsi qu'aux allongement (ϵ_t) à la base des couches traitées aux liants hydrocarbonés.

Structure vérifiée :

- 0.05 BBME3 avec un module au moins de 3800 MPa
- 0.08 GB4 avec un module au moins de 3500 MPa
- 0.20 de couche de base de la chaussée existante recyclée avec 3% de ciment ayant un module au moins de 800 MPa
- PF3 avec un module au moins de 120 MPa

Conclusion générale

Ce travail a pour finalité de :

- Déterminer les causes les plus probables des dégradations observées dans les chaussées souples en général et en particulier celles des dégradations existantes dans les tronçons qui ont été l'objet de notre étude ;
- De trouver des solutions à ces défauts ;
- De vérifier si ces solutions sont fiables ;

Pour ce faire l'étude théorique menée, nous a permis de comprendre que les dégradations des chaussées souples sont causées d'une manière générale par :

- ✓ Le trafic : efforts verticaux, efforts tangentiels dus aux véhicules poids lourds ;
- ✓ L'influence des conditions climatiques : action de l'eau, effet de la température ;
- ✓ Les malfaçons : sou-dimensionnement par rapport au trafic et sol support, la répartition inadéquate du liant, la contamination des granulats, l'insuffisance de compactage.
- ✓ Le manque d'entretien périodique.

Pour le cas du tronçon que nous avons choisi, l'étude que nous avons faite nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- L'auscultation visuelle du tronçon a permis de détecter un état de dégradation avancé (état mauvais) avec quelques sous sections en état de dégradation très avancé où il a été constaté des fissures longitudinales et transversales et des affaissements.
- L'auscultation par investigation géotechnique laisse apparaître un corps de chaussée constitué de TVO en couche de base et fondation.
- L'auscultation par mesure de déflexions a permis d'obtenir un bassin de déflexion permettant de détecter les zones de mauvaises portances de la chaussée

Afin d'apporter une solution aux dégradations observées sur le tronçon Akpro missérété-Kpédékpô nous avons effectué une évaluation par les méthodes VIZIR et CEBTP-LCPC. Il en ressort que VIZIR confère une note de qualité Q₇ à la chaussée pendant que le CEBTP-LCPC lui confère une note de qualité Q₄. Ces notes débouchent sur le renforcement de la chaussée comme solution de sa remise en état. Mais, dans une optique d'anticipation, nous avons retenu de proposer une structure de chaussée pour une réhabilitation de la chaussée.

Les causes probables identifiées pour ces dégradations sont multiples et variées. Parmi ces causes, les principales sont les suivantes :

- La mauvaise mise en œuvre ;

- Le mauvais matériau utilisé ;
- Le mauvais drainage des eaux de ruissellement.

Références

- [1] M. Stucki, « Politiques de mobilité et d'accessibilité durables dans les villes africaines », *Rapp. Banq. Mond.*, n° 106, p. 147, 2016.
- [2] É. Clair, *Réconcilier ville et voirie ou l'enjeu d'un rapprochement entre mobilité et urbanité: dynamiques et perspectives sur le réseau viaire structurant de Bourg-en-Bresse*, vol. 105. sd, 2014.
- [3] S. OUDJANI, « Ville et Transport durable. Intitulé: La multi modalité pour un transport durable. », 2019, Consulté le: 24 juin 2024.
- [4] P. Zembri, « Aménagement du territoire et transport: un bilan critique de la production intellectuelle des années 1990 », PhD Thesis, GDR 903 " Réseaux" CNRS, 1997.
- [5] R. Macfarlane et P. Hersant, *Par les chemins-Une histoire des routes et de ceux qui les ont empruntées*. Les Arènes, 2022.
- [6] M.-L. Nguyen, « Etude de la fissuration et de la fatigue des enrobés bitumineux », PhD Thesis, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2009.
- [7] S. CETUR, « Sécurité des routes et des rues ». CETUR, SETRA, septembre, 1992.
- [8] S. K. DOSSOU *et al.*, « Valorisation en technique routière de la grave latéritique de Avlamè en République du Bénin », PhD Thesis, EPAC/UAC, 2023.
- [9] M. Dabas, L. Guyard, et T. Leppert, « Gisacum revisité: croisement géophysique et archéologie », *Doss. Archéologie*, n° 308, 2005,
- [10] M. KHELIL et M. Ghlam, « DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSÉES ROUTIÈRES CAS RN40A », PhD Thesis, FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES DÉPARTEMENT GÉNIE CIVIL, 2020.
- [11] H. Nasser, « Méthode de résolution du M4-5n par éléments finis mixtes pour l'analyse des chaussées avec discontinuités », PhD Thesis, Ecole Centrale de Nantes (ECN), 2016.
- [12] G. CEBTP, « pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, Ministere Des », *Relat Extér Coop Dév. Fr*, 1984.
- [13] G. Gardner, « Decision making and infrastructure projects », in *VII Conference on Urban Transport and Integrated Development, New Delhi*, 1996. C

- [14] É. Masengo, *Développement d'un modèle d'interprétation de l'essai d'enfoncement du poinçon tronconique effilé (EPTE) dans un milieu soumis à une sollicitation anisotrope*. École Polytechnique de Montréal, 1999. C
- [15] V. T. Nguyen, « Modélisation globale et locale des structures multicouches par éléments finis de plaque », PhD Thesis, Ecole des Ponts ParisTech, 2004.
- [16] M. Gasc-Barbier et D. Hantz, *La mécanique des roches pour les ouvrages du génie civil*. Dunod, 2019.
- [17] A. Charef, N. Dib, et A. E. Belmerabet, « Etude comparative entre chaussée souple conventionnelle et chaussée à structure inverse », PhD Thesis, Université de Jijel, 2018.
- [18] S. Proteau Gervais, « Enrobé à module élevé pour régions froides : de sa formulation à son intégration dans les méthodes de dimensionnement mécaniste empirique en considérant ses propriétés thermomécaniques et sa résistance en fatigue », PhD Thesis, École de technologie supérieure, 2019.
- [19] A. Diene *et al.*, « Etude du comportement thermique et électrique en modulation de fréquence d'une structure de chaussée à base de déchets de sacs en plastique broyés et de résidu de canne à sucre dans du mélange bitumineux pour une meilleure performance routière », *Int. J. Innov. Appl. Stud.*, vol. 36, n° 1, p. 21-30, 2022.
- [20] A. Sétra, « Fauchez mieux le fauchage raisonné », *Note Inf. Sétra-Sér. Chaussées Dépend.* N° 122, p. 1-24, 2009.
- [21] M. W. Sayers, T. D. Gillespie, et W. D. Paterson, *Directives pour la mesure de l'uni des routes et l'étalonnage des appareils*. Banque mondiale, 1990.
- [22] D. Sidibé, A. Lecomte, M. Somparé, et H. Loua, « Practicability of paved roads in the tropical climate of Guinea »,
- [23] A. Comlan Prudencio, « Analyse des dégradations d'une chaussée revêtue et propositions de solutions: cas de l'axe Hèvié-Calavi», *EPAC-2021*
- [23] F. Adrien, « Analyse du Cycle de Vie des chaussées à base du sable silteux de Tohouè mélangé aux concassés granitiques de Dan », *EPAC-2024*

ANNEXES

ANNEXE 1 : Types, niveaux et causes des dégradations de type A

DEGRADATIONS	NIVEAU DE GRAVITE			CAUSES PROBABLES DE LA DEGRADATION
	1	2	3	
Déformation	Déformations sensibles à l'usager, $F < 2 \text{ cm}$	Grave déformations, affaissements localisés ou orniérage, $2 \text{ cm} < F < 4 \text{ cm}$	Déformations affectant la sécurité et/ou la vitesse, $> 4 \text{ cm}$	Portance insuffisante du sol support ou du corps de chaussée, sous dimensionnement du corps de chaussée, drainage insuffisant, fatigue de la chaussée, perte de cohésion de la base, fluage de couche de roulement.
Fissuration	Fissurations fines dans les traces de roues ou dans l'axe	Fissures ouvertes et/ou ramifiées	Fissures très ramifiées et/ou très ouvertes	Fatigue de la chaussée, épaisseur insuffisante de la chaussée par rapport au trafic, mauvaise qualité des matériaux.
Faïencage	Faïencage fin sans départ de matériaux, maillage $> 50 \text{ cm}$	Faïencage serré sans départ de matériaux, avec des fissures ouvertes, maillage $< 50 \text{ cm}$	Faïencage très serré avec ou sans départ de matériaux, maillage $< 20 \text{ cm}$	Fatigue de la chaussée, épaisseur insuffisante de la chaussée par rapport au trafic, mauvaise qualité des matériaux.
Réparation	Réparation des dégradations de type B	Réparation des dégradations de type A et tenue satisfaisante de la partie réparée	Apparition de dégradations sur la partie réparée	Si la dégradation réapparaît, cela peut être due à une réparation mal exécutée ou inappropriée à la dégradation constatée, au vieillissement de la chaussée.

ANNEXE 2 : Types, niveaux et causes des dégradations de type B

DEGRADATIONS	NIVEAU DE GRAVITE			CAUSES PROBABLES DE LA DEGRADATION
	1	2	3	
Fissuration transversale	Amorce de fissure transversale rectiligne	Fissure transversale avec apparition de la couche de base	Fissure transversale et fissure longitudinale, avec parfois apparition de la couche de base	Phénomène de retrait des matériaux lors des changements de saison, fatigue sous trafic.
Nid de poule	Nombre < 5 et diamètre < 30 cm	5 $<$ Nombre < 10 et diamètre < 30 cm ou nombre < 5 et diamètre > 30 cm	Nombre > 10 cm et diamètre < 30 cm ou 5 $<$ nombre < 10 et diamètre > 30 cm	Agressivité de l'eau ou du trafic, arrachement d'une maille de faïençage, insuffisance de bitume dans la couche de roulement, dégradation d'une flache sous l'effet du trafic.
Arrachements	Arrachements ponctuels sans apparition de la couche de base	Arrachements ponctuels avec apparition de la couche de base	Arrachements continus avec apparition de la couche de base	Mauvaise adhésivité liant-granulat, sous dosage du liant, mise en œuvre lors de mauvaises conditions météorologiques, pas de propreté de la surface d'imprégnation ou de la couche d'accrochage.
Ressuage	Ponctuel ou continu peu marqué sur une bande de roulement	Remontée du liant continue marqué sur une bande de roulement	Remontée du liant continue très marquée sur toute la largeur de la chaussée	Dosage en liant trop élevé, mauvaise formulation liant et granulats, utilisation d'un liant mou et/ou présence de chaleur trop élevée.
Epaufrites de rive	Amorce d'épaufrite	Epaufrites entaillant la chaussée sur plus de 30 cm	Epaufrites entaillant la chaussée sur plus de 50 cm	Roues de véhicules sur le bord de la couche de roulement mise en œuvre défectueuse, vieillesse de la chaussée.
Dénivelé des accotements	1 cm $<$ dénivelé $<$ 5 cm	5 cm $<$ dénivelé $<$ 10 cm	Dénivelé > 10 cm	Erosion des accotements par le ruissellement de l'eau provenant de la surface de roulement, passages fréquents des roues de véhicules sur les accotements.

Table des matières

Dédicaces	iii
Remerciements	iv
Résumé	v
Abstract	vi
Sommaire	vii
Liste des figures	ix
Liste des tableaux	1
Liste des sigles et abréviations	2
Introduction générale.....	3
0.1 Contexte et justification.....	3
0.2 Problématique.....	4
0.3 Objectif de travail	5
Chapitre 1 : Généralité sur les chaussées et les dégradations	6
1.0 Introduction	6
1.1. La chaussée.....	6
1.1.1. Définition	6
1.1.2. Les différentes structures de chaussée	6
1.1.2.1. Les chaussées revêtues	7
1.1.2.2. Les chaussées souples	7
1.1.2.3. La chaussée bitumineuse épaisse.....	8
1.1.2.4. Les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques ou semi-rigide	8
1.1.2.5. La chaussée mixte.....	8
1.1.2.6. Les chaussées inverses	9
1.1.2.7. Les chaussées en béton de ciment ou rigide.....	9
1.1.2.8. Les chaussées non revêtues	10
1.1.3. Rôle des différentes couches d'une chaussée (NF P 98-080-1).....	11
1.1.3.1. Partie supérieure des terrassements	11
1.1.3.2. Arase de terrassement	11
1.1.3.3. Couche de forme	11
1.1.3.4. Plateforme support de chaussée.....	12

1.1.3.5. Couches d'assise	12
1.1.3.6. Couche de surface	12
1.2. Méthode de dimensionnement des chaussées.....	14
1.2.1. La méthode empirique.....	14
1.2.2. La méthode mécaniste.....	15
1.2.3. Méthode mécaniste-empirique	16
1.3. Les principales causes des dégradations.....	17
1.3.1. Le trafic	17
1.3.2. Les conditions climatiques	17
1.4. La qualité des matériaux	18
1.5. La mise en œuvre.....	18
1.6. Les types de dégradations.....	18
1.6.1. Les dégradations structurelles (Type A)	19
1.6.2. Les dégradations non structurelles (Type B).....	19
1.7. Processus de dégradation par type de chaussées	19
1.7.1. Chaussées revêtues	19
1.7.1.1. Chaussées souples.....	19
1.7.1.2. Les chaussées semi-rigides.....	20
1.7.1.3. Les chaussées rigides.....	21
1.7.2. Les chaussées non revêtues	22
1.7.2.1 Action des véhicules.....	22
1.7.2.2 Action de l'eau.....	22
1.8. Les types de dégradations sur les chaussées revêtues	23
1.8.1. Les déformations	24
1.8.1.1. Les affaissements	24
1.8.1.2. L'orniérage.....	26
1.8.1.3. Les bourrelets	27
1.8.2. Les fissurations.....	28
1.8.2.1. Les fissures transversales	28
1.8.2.2. Les fissures longitudinales.....	30

1.8.2.3. Le faïencage	31
1.8.3. Les arrachements.....	32
1.8.3.1. Le désenrobage, le plumage et le peignage	32
1.8.3.2. La pelade	33
1.8.3.3. Les nids de poule	34
1.8.3.4. Les dentelles de rives et les épaufures	35
Chapitre 2 : Matériaux, matériels et méthodes utilisées.....	38
2.1. Localisation et caractéristiques des tronçons	38
2.1 Matériels	41
2.1.1. Auscultation visuelle	41
2.1.1.1 Moyens matériels	41
2.1.1.2 Appareil photo.....	41
2.1.1.3 Jalon.....	42
2.1.1.4 Les plots.....	42
2.1.1.5 La tablette L2R.....	42
2.1.2. Auscultation Mécanique.....	43
2.1.2.1. Poutre de Benkelman	43
2.1.2.2. Carotteuse routière	44
2.1.2.3. Appareil de mesure d'UNI	44
2.2 Méthodes	46
2.2.1 Méthode d'Auscultation visuelle	46
2.2.2 Méthode d'Auscultation mécanique.....	46
2.2.2.1. Auscultation par sondages	46
2.2.2.2. Auscultation par mesure de défexion	47
2.2.2.3. Relevés visuels des déformations suivis de l'UNI.....	49
2.2.3 Méthodes d'évaluation des chaussées	50
2.2.2.1. Méthode VIZIR.....	50
2.2.2.2. Méthode du CEBTP-LCPC.....	59
2.2.4 Méthodes de dimensionnement.....	62
2.2.4.1 Paramètres de dimensionnement.....	62
2.2.4.2 Etapes de dimensionnement sur Alizé-LCPC.....	67
Chapitre 3 : Résultats et Discussions	69

3.1	Résultats d'Auscultation visuelle	69
3.2	Causes probables des dégradations observées.....	79
3.3	Résultats d'Auscultation mécanique	81
3.3.1	Auscultation par sondages.....	81
3.3.1.1	Mesures de déflection sur la chaussée.....	81
3.4	Evaluation sur les chaussées ciblées.....	84
3.4.1	Résultat de la méthode VIZIR.....	85
3.4.2	Résultat de la proposition des épaisseurs des chaussées	86
3.4.3	Résultat de la méthode CEBTP-LCPC.....	86
	Conclusion générale	92
	Références	xiii
	Table des matières	xviii