



**ETUDE DE RENFORCEMENT DU TRONCON DE ROUTE
NATIONALE N°03 RELIANT OUAGADOUGOU ET ZINIARE
ALLANT DU PK 27+000 AU PK 36+000 LONG DE 9 KM.**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE
L'ENVIRONNEMENT
OPTION : GENIE CIVIL**

Présenté et soutenu publiquement le 23 Juin 2014 par

Thierno Mamadou DIALLO

Travaux dirigés par :

M. Boubacar GANGO

Ingénieur-Chef de projet à AGEIM-Ingénieurs
Conseils

Dr. Ismaïla GUEYE

Enseignant Chercheur à 2iE

UTER ----

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Ismaïla GUEYE

Membres et correcteurs : M. Rémy MINANE
M. Césaire HEMA

Promotion 2013/2014

CITATION

« *Une structure consistante mais privée de
persistance redevient inconsistante.* »

W. Jankélévitch

DEDICACES

Au Nom d'Allah, le Miséricordieux, le Très Miséricordieux

« ; et marquer de la bonté envers les père et mère : si l'un d'eux ou tous deux doivent atteindre la vieillesse auprès de toi ; alors ne leur dis point : « Fi ! » et ne les brusque pas, mais adresse leur des paroles respectueuses ». CORAN : Sourate 17- Verset 23.

Ce mémoire est dédié :

- ❖ A mon défunt papa **El hadj Alsény DIALLO**, puisse Allah t'accorder Sa miséricorde et Son paradis ;
- ❖ A ma mère **Lamarana Djouldé BARRY**, qu'Allah te fasse miséricorde comme tu m'as élevé lorsque j'étais petit ;
- ❖ A mes frères et sœurs, pour leur soutien moral et financier.

Qu'Allah les comble de Sa bénédiction et les aide à apprécier le résultat de leurs concertations.

REMERCIEMENTS

Ma reconnaissance à Dieu qui m'a armé de force et de courage pour la parfaite santé dont j'ai bénéficié pendant cette préparation, pour m'avoir permis d'achever ce mémoire sans inconvénients majeurs, et pour l'immensité de sa providence qui guide et couvre tous les aspects de notre vie.

Ma gratitude s'adresse particulièrement à :

- ✓ **M. Tiraogo Hervé OUEDRAOGO**, Directeur Général de AGEIM-Ingénieurs Conseils, pour m'avoir accueilli au sein de sa structure ;
- ✓ **M. Patrick KABORE**, Directeur Technique de AGEIM-Ingénieurs Conseils, pour sa disponibilité et ses conseils tout au long de ce travail ;
- ✓ Mon encadreur **M. Boubacar GANGO**, Ingénieur-chef de projet de AGEIM-Ingénieurs Conseils, pour avoir accepté de m'encadrer, de me fournir tous les documents et données disponibles et nécessaires pour l'étude, pour sa disponibilité, ses conseils et le suivi qu'il m'a accordé durant ce travail ;

Je remercie également :

- ✓ **Tout le personnel** de AGEIM-Ingénieurs Conseils durant notre période de stage pour l'accueil chaleureux, le cadre de travail agréable, l'harmonie et les encouragements perpétuels dont ils ont été les auteurs ;
- ✓ **M. Ismaïla GUEYE** et avec lui toute **l'équipe pédagogique** du 2iE, plus particulièrement le Département Infrastructures et Sciences des Matériaux (**ISM**) pour tous les outils mis à notre disposition durant la formation, qui nous ont aidé à relever les défis rencontrés en phase terminale ;
- ✓ **M. Yagouba DIALLO**, UNICEF Guinée, pour m'avoir inscrit à la Fondation 2iE ;
- ✓ **M. Mamadou Cellou DIALLO**, BAGREPOLE, et **M. Chérif BARRY**, CINTECH, pour leur soutien et leurs conseils durant ce travail ;
- ✓ A mon oncle **M. Sory KEITA**, qui m'a toujours soutenu depuis mon enfance.

Je ne saurais oublier tous **mes sympathiques camarades** de la Fondation 2iE, pour leurs conseils et leur soutien moral ;

Enfin, que tous ceux qui ont contribué de prêt ou de loin à l'élaboration de ce projet, trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

RESUME

Cette étude intitulée « *Etude de renforcement du tronçon de la route nationale N°03 reliant Ouagadougou et Ziniaré du PK 27+000 au PK 36+000 long de 9 KM* », s'inscrit dans le cadre du Fond Incitatif pour l'Entretien Périodique (**FIEP**). Au cours de cette étude il a été question de l'entretien de la chaussée. A cet effet, pour atteindre cet objectif, il a été question d'une analyse de l'état actuel de la chaussée, d'un bref historique des interventions de sa construction à nos jours, et l'étude du trafic passé et futur. Par la suite, ont été effectués une analyse des sondages géotechniques, une vérification de la durée de vie résiduelle de la chaussée, et enfin une proposition de solutions de renforcement sur les sections à faible durée de vie.

Il en ressort de cette étude que la chaussée à un état qualifié de *médiocre*, et compte trois (03) sections homogènes sur le long du tronçon étudié, la section n°1 du PK 27+000 au PK 31+900 et la section n°2 du PK 31+900 au PK 34+600, passent en renforcement compte tenu de leur durée de vie résiduelle très faible et tandis que la troisième section n°3 du PK 34+600 au PK 36+000 passe en entretien périodique. Au vue des disponibilités techniques deux variantes ont été proposées : une variante en *Enduit Superficiel Bicouche* et une variante en *Béton Bitumineux*.

Pour les deux variantes, les sections n°1 et 2 sont constituées d'une couche de Base en litho-stabilisation variant de 20 à 25 cm d'épaisseur, et d'une couche de Fondation en GLN de 20 cm. La section n°3, pour les deux variantes, est constituée d'une couche de Base en GLN de 15 cm et d'une couche de Fondation en GLN de 20 cm.

La variante *Enduit Superficiel Bicouche* à un coût de **699 061 760 F CFA TTC** et la variante *Béton Bitumineux* est estimée à **1 390 837 760 F CFA**.

Mots Clés :

GNT, Litho-stabilisation, Renforcement, Entretien Périodique, Enduit Superficiel, Béton Bitumineux.

ABSTRACT

This study entitled <<**Study of reinforcement of the section of National Highway No. 03 linking Ouagadougou Ziniaré KP 27+000 to KP 36 +000, 9 Km long.**>>, is part of the Incentive Fund 'Periodic Maintenance (IPSF). In this study we are interested in the maintenance of the roadway. For this purpose and to achieve this goal, it was a question of an analysis of the current state of the road, a brief history of its construction interventions until today, and the study of the past and the future traffic. Thereafter were conducted an analysis of geotechnical surveys, verification of the residual life of the pavement, and finally a proposal for building solutions on sections with low life. It appears from this study that the road has a state which is qualified as poor , and in three (03) homogeneous sections along the section studied, the No. 1 KP 27+000 to KP 31 +900 of the section n° of KP 31+900 to KP 34 +600 spend in building due to their very low residual duration of life and while the third section n° 3 of KP 34+600 to KP 36 +600 has to be periodically maintained. In view of the technical availability two variants have been proposed: a variant on **superficial bilayer coating** and a variant in **Bituminous Concrete**.

For both alternatives, the sections 1 and 2 are composed of a base layer in lithographic stabilization ranging from 20 to 25 cm thick, and a layer of Foundation GLN 20 cm. Section 3, for both variants, consists of a layer of Base GLN of 15 cm and a layer of Foundation GLN 20 cm.

Variant **Superficial bilayer coating** at a cost of implementation of **699 061 760 F CFA TTC** and variant **Bituminous Concrete** is estimated at **1 390 837 760 F CFA**.

Keywords:

GNT, Litho stabilization, strengthening, Periodic Maintenance, plaster Superficial, bituminous Concrete.

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE : Institut International de l'Eau et de l'Environnement

AASTHO: American Association of State Highway and Transportation Officials.

AGEIM: Agence d'Etudes d'Ingénierie et Maitrise d'œuvre.

CBR : California Bearing Ration (Indice de Portance Californien).

CEBTP : Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics.

CINTECH : Cabinet d'Investigation Technique d'Expertise et de Contrôle.

FIEP : Fond Incitatif de l'Entretien Périodique.

GLN : Graveleux Latéritique Naturel.

GPDCPT : Guide Pratique de Dimensionnement des Chaussées pour les Pays Tropicaux.

ISM : Infrastructures et Sciences des Matériaux.

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

LNBTB : Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics.

OPM : Optimum Proctor Modifié.

PK : Point Kilométrique.

RN 03 : Route Nationale 03

UNICEF: United Nations International Children's Emergency Fund (Fonds des Nations Unies pour l'enfance).

TABLE DES MATIERES

CITATION.....	i
DEDICACES	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
RESUME	iv
ABSTRACT.....	v
Liste des abréviations.....	vi
TABLE DES MATIERES	1
Liste des tableaux.....	3
Liste des figures.....	4
INTRODUCTION	5
I PRESENTATION DU PROJET.....	6
I.1 Présentation de la structure d'accueil	6
I.2 Objectifs du projet	6
I.3 Localisation de la zone du projet.....	7
I.4 Description de l'état des lieux	7
II INVENTAIRE ET CAUSES DES DEGRADATIONS DES CHAUSSEES SOUPLES RETVETUES	9
II.1 Les différents types de dégradations des chaussées souples revêtues	9
II.2 Diagnostic et causes des dégradations sur le tronçon de route étudiée	10
III EVALUATION DES DEGRADATIONS, VERIFICATION DE LA DUREE DE VIE RESIDUELLE DE LA CHAUSSEE	14
III.1 Méthodologie de calculs	14
III.2 Evaluation des dégradations de la chaussée	14
III.2.1 Analyse de l'état apparent.....	14
III.2.2 Analyse des mesures de déflexions.....	18
III.2.3 Calcul de l'indice de qualité.....	19
III.2.4 Analyse des sondages géotechniques.....	21
III.3 Vérification de la durée de vie résiduelle de la chaussée	23
III.3.1 Données :.....	23
III.3.2 Principe :	23
III.3.3 Hypothèses :.....	23
III.3.4 Calcul des modules de YOUNG (E).....	23
III.3.5 Vérification de la durée de vie résiduelle de la route.....	25
IV ETUDE DE RENFORCEMENT DES ZONES A FAIBLE DUREE DE VIE RESIDUELLE	26
IV.1 Techniques de renforcement.....	26

IV.2	Etude de renforcement de la structure de chaussée à faible durée de vie résiduelle	27
IV.2.1	Critères de renforcement des structures de chaussée	27
IV.2.2	Méthode de calcul du renforcement : ALIZE-LCPC	27
IV.2.3	Hypothèses	28
IV.2.4	Calcul à l'aide du logiciel ALIZE-LCPC	28
	Données d'entrée	28
IV.2.5	Propositions de solutions de renforcement	29
IV.3	Analyse comparative des deux variantes	31
V	ESTIMATION DES COUTS	32
VI	RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	33
VII	CONCLUSION	33
	BIBLIOGRAPHIE	34
	ANNEXES	35
	ANNEXE 1	36
	ANNEXE 2	37
	ANNEXE 3	38
	ANNEXE 4	43
	ANNEXE 5	44
	ANNEXE 6	45

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Ouvrages d'art existants	8
Tableau 2 : Causes probables des dégradations rencontrées sur le tronçon de route.....	11
Tableau 3 : Classe de l'Indice de dégradation Is	16
Tableau 4 : Correction pour la réparation	16
Tableau 5: Indice de dégradation global de surface Is.....	17
Tableau 6 : Classes de déflexions	18
Tableau 7 : Déflexions caractéristiques du tronçon étudié	19
Tableau 8 : Indice qualité de la chaussée.....	20
Tableau 9: indice qualité et solutions.....	21
Tableau 10 : Epaisseurs des couches existantes.....	22
Tableau 11: Trafic passé sur la RN 03	23
Tableau 12 : Module de YOUNG des matériaux en place	24
Tableau 13 : durée de vie résiduelle de tronçon de route.....	25
Tableau 14 : Trafic futur sur la RN03	28
Tableau 15 Vérification à l'aide de Alizé.....	28
Tableau 16: Solution n°01 BB	29
Tableau 17: Solution n°2 en ESB	30
Tableau 18: Avantages et inconvénient des solutions	31
Tableau 19 : Récapitulatif du Coût du projet.....	32

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : carte de situation du projet	7
Figure 2 Description sommaire du processus de dégradation depuis la surface d'une chaussée souple (MBOUP, 2004)	10
Figure 3 Critères de notation des fissurations: Classe de dégradation.....	15
Figure 4 Critères de notation des orniérages : Classe de dégradation	15
Figure 5 : Etat apparent de la chaussée	17
Figure 6 : Modélisation Structure n°02.....	39
Figure 7: Déformation intrinsèque Structure n°02.....	40
Figure 8 Calcul inverse de la structure n°02	40
Figure 9 : Modélisation de la structure n°03.....	41
Figure 10 : Déformation intrinsèque de la structure n°03.....	41
Figure 11 : Calcul inverse de la Structure n°03	42

INTRODUCTION

Les routes constituent un des facteurs importants de développement socio-économique d'un pays. Elles sont des éléments essentiels pour la circulation des personnes et des biens. Elles sont améliorées au fur et à mesure de l'évolution des besoins socio-économiques, urbanistiques et environnementaux pour leur adaptation à la mutation et à la continuité du service public.

La sollicitation accrue de ces tronçons de route due à l'augmentation de la circulation des véhicules et à la pratique de la surcharge des véhicules lourds. A cela s'ajoutent les intempéries et les aléas climatiques, une dégradation du revêtement du corps de chaussée menaçant ainsi la structure engendrant de nombreux problèmes d'insécurité et de confort, créant ainsi un manque à gagner pour l'Etat et les usagers de la route.

Pour pallier à cela, le Fond Incitatif pour l'Entretien Périodique (FIEP) envisage des travaux d'entretien périodique de trois tronçons de routes nationales :

- Le tronçon de route nationale N°02 reliant Ouagadougou et Niou long de 57,5 km ;
- Le tronçon de route nationale N°03 reliant Ouagadougou et Ziniaré long de 36 km ;
- Le tronçon de route nationale N°06 reliant Ouagadougou et Sabsin long de 33 km.

Pour que ces travaux d'entretien soient durables, des études sont menées afin de vérifier l'aptitude de la structure du corps de chaussée à supporter l'augmentation du trafic. Il est question dans le cadre de notre mémoire de fin d'études de faire : << ***L'étude de l'entretien périodique du tronçon de la route nationale N°03 reliant Ouagadougou et Ziniaré allant du PK 27+000 au PK 36+000***>> soit 9 Km.

Le plan de cette étude est structuré comme suit :

- Présentation du projet ;
- Inventaire et causes des dégradations des chaussées souples ;
- Evaluation des dégradations, vérification de la durée de vie résiduelle de la chaussée en fonction du trafic passé et futur ;
- Etude de renforcement des tronçons à faible durée de vie résiduelle ;
- Estimations des coûts du projet ;
- Recommandations et perspectives.

I PRESENTATION DU PROJET

I.1 Présentation de la structure d'accueil

Reconnue sous le statut juridique de Société à responsabilité limitée (Sarl), AGEIM-Ingénieurs Conseils, est un bureau d'études, créé en Janvier 2000, au capital social de 2 000 000 FCFA, intervenant dans les disciplines du développement économique et social telles que :

- Infrastructures de transport ;
- Aménagements hydrauliques et environnement ;
- Bâtiments et Ouvrages d'art.

AGEIM-Ingénieurs Conseils est agréée auprès de bailleurs de fonds et de divers organismes de financement Sa zone d'intervention couvre plusieurs pays en Afrique : Bénin, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Guinée Bissau, Guinée Conakry, Mali, Mauritanie, Niger, Tchad, Togo et Sénégal.

La structure intervient à tous les stades de l'élaboration des projets :

- Identification et reconnaissance des sites de projets ;
- Etudes préliminaires et études détaillées ;
- Préparations des cahiers de charges et des documents d'appels d'offres ;
- Assistance au maître d'ouvrages pour l'analyse et le jugement des offres des entreprises ;
- Assistance à l'exploitation, à la gestion et à la maintenance des projets ;
- Surveillance et contrôle des travaux.

AGEIM-Ingénieurs Conseils s'est dotée d'importants moyens informatiques pour la conception des infrastructures hydrauliques, de transport, de bâtiments et des ouvrages d'art.

I.2 Objectifs du projet

a. Objectif de l'étude dans le cadre du projet

L'étude à entreprendre a pour objet l'entretien périodique du tronçon de la route nationale N°03 reliant Ouagadougou et Ziniaré du PK 27+000 au PK 36+000 long de 9 Km.

b. Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques sont entre autres :

- **Faire un diagnostic de l'état actuel de la chaussée**
- **Vérifier la durée de vie résiduelle de la chaussée**
- **Proposer des solutions de renforcements de la chaussée dans les zones à faible durée de vie**
- **Proposer un programme d'entretien périodique**
- **Estimer le coût du projet**

orniérages, les nids de poules, ... etc. La structure est constituée de couches sous-jacentes en Graveleux Latéritique Naturel. La chaussée est majoritairement en remblai.

- Assainissement

L'assainissement est assuré par des fossés à certains endroits et d'un chenal non aménagé situé à l'entrée de la ville.

- Ouvrages d'art

Nous notons la présence de 14 ouvrages sur le long du tronçon étudié.

Tableau 1 : Ouvrages d'art existants

N° OH	Pk projet	Type	Nombre Ouvertures	Base/Diamètre (m)	Hauteur (m)	Largeur roulable(m)
1	PK 28+000	BUSE	3	0,80	-	9
2	PK 28+500	BUSE	2	0,80	-	9
3	PK 29+250	DCF	1	1,00	1,00	9
4	PK 30+000	BUSE	2	0,80	-	9
5	PK 30+600	BUSE	1	0,80	-	9
6	PK 31+480	DCF	2	3,00	2,10	9
7	PK 32+000	BUSE	1	0,80	-	9
8	PK 32+750	BUSE	2	0,80	-	9
9	PK 33+250	BUSE	3	0,80	-	9
10	PK 34+500	BUSE	2	0,80	-	9
11	PK 34+800	DCF	1	1,00	1,00	9
12	PK 35+200	PONT	1	10,20	4,00	9
13	PK 35+800	DCF	2	1,00	1,00	9
14	PK 36+000	BUSE	1	0,8	-	9

- Signalisation

Nous notons la présence de panneaux de signalisation qui borde la chaussée tels que :

- ✓ Des panneaux de danger ;
- ✓ Des panneaux de limitation de vitesse ;

Avec la présence d'un feu tricolore à l'intersection de la RN03 et de la RD40.

II INVENTAIRE ET CAUSES DES DEGRADATIONS DES CHAUSSEES SOUPLES REVETUES

II.1 Les différents types de dégradations des chaussées souples revêtues

Il est facile d'imaginer la grande variété de facteurs affectant le comportement et la durée de vie d'une route. Un mauvais comportement provient de la faiblesse du revêtement, des couches de base, fondation, de la plateforme ou de l'environnement immédiat. Les causes directes à ces niveaux proviennent d'un mauvais calcul structural, d'un mauvais matériau, d'une construction déficiente ou d'un entretien inadéquat. Dans ces cas la dégradation est très rapide.

Certaines causes naturelles ou indirectes détériorent les routes avec les années. Citons le climat et en général toute variation subite des conditions climatiques d'une saison à l'autre ou d'une année à l'autre.

Ces dernières sont difficiles à préciser, mais affectant à divers degrés une route bien faite. Cet ensemble de facteurs contribue au vieillissement d'une chaussée.

Nous distinguons les dégradations de type A et de type B

Dégradations de type A :

Elles caractérisent un état structural 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 qui interviennent dans la recherche de la solution en association avec d'autres critères et notamment la portance caractérisée par la déflexion statique.

Ces dégradations sont au nombre de quatre :

- L'affaissement ;
- L'orniérage ;
- La fissuration (de fatigue) ;
- Le faïençage.

Dégradations de type B :

Ces dégradations engendrent des réparations qui généralement ne sont pas liées à la capacité structurelle de la chaussée. Leur origine est soit un défaut de mise en œuvre, soit un défaut de qualité d'un produit, soit une condition locale particulière que le trafic peut accentuer bien évidemment.

Dans les dégradations de type B, on distingue :

- La fissuration, hors fissures de fatigue, c'est-à-dire les fissures longitudinales de joint, les fissures transversales de retrait thermique, les fissures longitudinales ou transversales

de retrait d'argile (dessiccation)

- Les nids de poule ;
- Les arrachements et de manière générale tous les défauts de type ressuage, plumage... etc.

Toutes ces dégradations prennent naissance au niveau des couches supérieures de la chaussée pour ensuite attaquer les couches inférieures.

Une description sommaire et simplifiée du processus de dégradation de la catégorie d'une chaussée souple en l'absence d'entretien dans le temps est représentée ci-dessous :

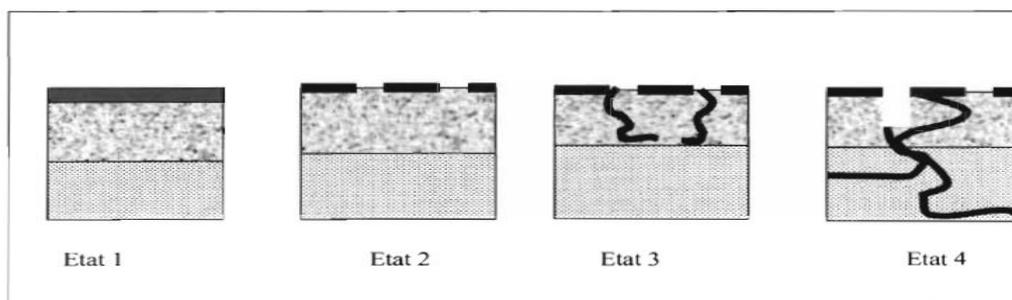


Figure 2 Description sommaire du processus de dégradation depuis la surface d'une chaussée souple (MBOUP, 2004)

Dans un premier temps la couche de roulement s'use et se fatigue ; la route passe de l'état 1 à l'état 2.

Ensuite facilités par les dommages superficiels et la répartition des charges, s'accumulent alors les désordres structurels qui affaiblissent la structure (passage de l'état 2 à l'état 3).

Enfin et rapidement, les déformations dans la chaussée provoquant une réelle incommodité et un danger pour l'utilisateur. A atteindre un niveau critique, les désordres peuvent même engendrer des interruptions de trafic (passage de l'état 3 à l'état 4).

II.2 Diagnostic et causes des dégradations sur le tronçon de route étudiée

Les causes des dégradations sont nombreuses et variées bien qu'elles peuvent être connues mais non quantifiables car à l'heure actuelle l'importance relative de ces facteurs n'est connue généralement que d'une manière qualitative.

Cependant ces facteurs sont simultanément cause et effet car des dégradations apparues peuvent être la cause des autres. Nous avons cité quelques causes de ces dégradations rencontrées sur le tronçon de route étudié et sont consignées dans le tableau ci-dessous

Tableau 2 : Causes probables des dégradations rencontrées sur le tronçon de route

Dégradations		Causes probables
Déformations	 <p>Affaissements</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Insuffisance d'épaisseur des couches de Base ou de Fondation ; - Insuffisance de compactage ; - Défaut de portance de la plateforme (mauvais drainage) vis-à-vis du trafic, etc.
	 <p>Ornières</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Le tassement progressif des couches de la chaussée résultant d'un phénomène de fatigue du au passage cumulé du trafic ; - Insuffisance de compactage ; - Le fluage d'une couche de roulement sur compactée par le trafic ou une couche de roulement réalisée avec du bitume très mou, etc.
Fissures	 <p>Fissures longitudinales</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Tassement différentiel de la chaussée ; - Fatigue de la structure ; - Mauvaise exécution, etc.
	 <p>Fissures transversales</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Tassement différentiel de la chaussée ; - Fatigue de la structure ; - Mauvaise exécution, etc.

	<p>Faïençage</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Tassement différentiel de la chaussée ; - Fatigue de la structure ; - Mauvaise exécution, etc.
<p>Arrachements</p>	<p>Peignage</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Défaut d'adhésivité entre le liant et le granulat insuffisant ; - Stagnation de l'eau sur la chaussée ; - Chute de produits solvants sur la chaussée ; - Mise en œuvre par condition météorologique défavorable ; - Vieillessement du liant, etc.
	<p>Pelage</p> 	
	<p>Plumage</p> 	

	 <p>Nids de Poule</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Eclatant d'une ou plusieurs mailles de faïençage ; - Défaut localisé de la couche de roulement qui peut être dû à une mauvaise formulation ou à un vieillissement du bitume ou surchauffe du bitume; - Défaut d'interface entre la couche de roulement et une couche de Base mal traitée ; - Evolution excessive d'une flache ; - Défaut localisé de portance (poche d'argile, mauvais drainage, teneur en eau excessive, etc.)
<p>Autres dégradations</p>	 <p>Réparation</p>	
	 <p>Epaufrures des accotements</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Insuffisance de la largeur de bande revêtue ; - Erosion des accotements provoquant la mise à faux des rives.

III EVALUATION DES DEGRADATIONS, VERIFICATION DE LA DUREE DE VIE RESIDUELLE DE LA CHAUSSEE

Dans ce chapitre il sera question d'évaluer les dégradations et de vérifier la durée de vie résiduelle de la chaussée c'est-à-dire analyser l'état apparent de la chaussée à partir des relevés visuels des dégradations. Ensuite calculer l'indice de qualité de celle-ci après une analyse des déflexions. Enfin vérifier la durée de vie résiduelle de la chaussée après une analyse aussi des sondages géotechniques effectués sur le tronçon de route par le LNBTP (Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics) du Burkina Faso.

III.1 Méthodologie de calculs

Pour atteindre les objectifs fixés plus haut, la méthodologie suivante a été adoptée:

- A partir du relevé visuel, analyser les niveaux de dégradation de la chaussée avec la méthode de VIZIR ;
- Déterminer la classe des dégradations en utilisant leurs étendues et leurs gravités ;
- Déterminer l'indice de dégradation de surface (Is) ou l'état apparent de la chaussée à partir de l'indice de fissuration (If), de l'indice de déformation (Id) et de la réparation ;
- A l'aide des déflexions ponctuelles, calculer les déflexions caractéristiques ;
- Sectionner le tronçon de route en section homogène en se basant sur l'indice de dégradation et des déflexions dont :
 - ✓ *La longueur minimale d'une section homogène = 100 m ;*
 - ✓ *La longueur moyenne d'une section homogène = 500 m ;*
 - ✓ *La longueur maximale d'une section homogène = 1000m.*
- Calculer l'indice de qualité (Qi) de la chaussée en combinant les déflexions caractéristiques et l'indice de dégradation de surface (Is) ;
- Analyser les sondages géotechniques ;
- Reconstituer la structure de chaussée existante à l'aide du logiciel Alizé-LCPC, des sondages géotechniques et déflexions caractéristiques ;
- Calculer la durée de vie résiduelle de la chaussée à l'aide du calcul inverse du logiciel Alizé-LCPC.

III.2 Evaluation des dégradations de la chaussée

III.2.1 Analyse de l'état apparent

Cette analyse consiste à évaluer les niveaux de dégradations (déformation, fissuration et réparation) de la chaussée à l'aide de leur gravité et étendue.

Le but visé est de déterminer l'indice de dégradation de la chaussée, qui permettra de donner

une note de qualité à la structure de chaussée. Cette note de qualité servira de motif pour la nature des travaux.

Les paramètres utilisés pour déterminer cet indice de dégradation sont :

- La classe de dégradation
 - L'indice de fissuration et l'indice de déformation
- a) **La classe de dégradation** : cette classe est déterminée en utilisant l'étendue et la gravité de la dégradation considérée :
- En prenant un exemple sur une fissuration d'étendue **1** et de gravité **2**, nous obtenons une fissuration de **classe 3**.

Source : (Mét)

Fissurations

CRITERES DE NOTATION DES FISSURATIONS						
Evaluation			Classe			
Etendue Nombre sur 100ml	Gravité Largeur en mm			Gravité		
				1	2	3
1	< 2	< 2	<i>Etendue</i>	1	3	4
2	2-15	2-10		2	3	5
3	>15	>10		3	4	5

Figure 3 Critères de notation des fissurations: Classe de dégradation

Orniérage

CRITERES DE NOTATION DES ORNIERAGES						
Evaluation			Classe			
Etendue % / à la longueur	Gravité mm			Gravité		
				1	2	3
1	< 10%	< 20	<i>Etendue</i>	1	3	5
2	10-50%	20-40		2	4	5
3	>50%	>40		3	5	5

Figure 4 Critères de notation des orniérages : Classe de dégradation

Ainsi en prenant aussi un exemple sur une ornière d'étendue **1** et de gravité **1**, nous obtenons une ornière de **classe 1**

- b) **L'indice de fissuration (If)** : il est déterminé en prenant la classe maximale entre les fissures et les faïençages.

Exemple : une fissure de classe de 3 et un faïençage de classe 2, alors l'indice de fissuration est le maximum (3 ; 2) donc If = 3.

- c) **L'indice de déformation (Id)** : il est déterminé en prenant la classe maximale entre l'affaissement et l'ornière.

Exemple : un affaissement de classe de 1 et une ornière de classe 2, alors l'indice de déformation est le maximum (1 ; 2) donc $I_d = 2$.

La combinaison de I_f et I_d donne un premier indice qui qualifie la chaussée appelée indice de dégradation de surface (I_s) qui varie de 1 à 7 ; le cas échéant celui-ci peut être corrigé en fonction de la gravité et de l'étendue de certaines réparations.

Tableau 3 : Classe de l'Indice de dégradation I_s

Première note de dégradation	$I_f \backslash I_d$	0	1 à 2	3	4 à 5
	0		1	2	3
1 à 2		3	3	4	5
3		4	5	5	6
4 à 5		5	6	7	7

Source : ((LCPC), 1991)

Ainsi donc avec un $I_d = 2$ et $I_f = 3$, en projetant dans le tableau ci-dessus, nous obtenons un I_s (indice de dégradation de surface) de **4**.

Tableau 4 : Correction pour la réparation

\backslash Etendue Gravité	0 à 10%	10 à 50%	> 50 %
1	0	0	0
2	0	0	+1
3	0	+1	+1

Correction pour réparation

Source : ((LCPC), 1991)

L'indice de dégradation I_s doit être corrigé en utilisant les réparations contenues sur le tronçon de route étudié.

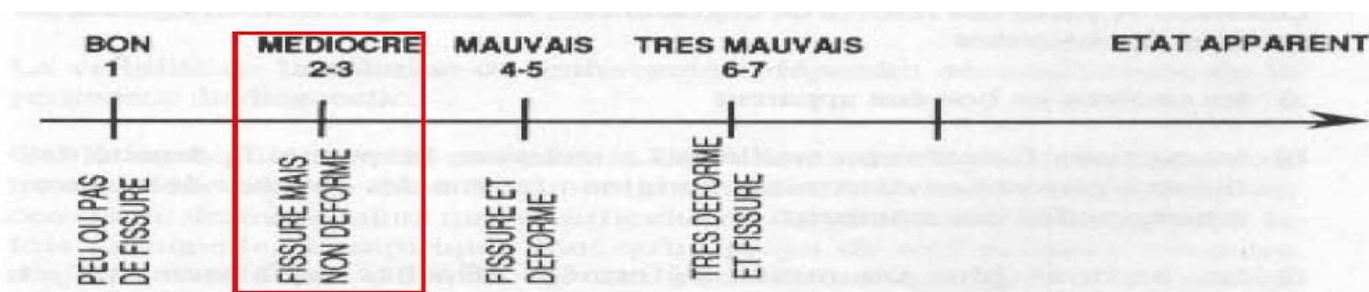
Sur le tronçon étudié, les réparations sont d'étendue **1** et de gravité **1**, ce qui donne une correction égale à **0**. Alors l'indice de dégradation de surface corrigé est ainsi obtenu en faisant la somme de I_s et de la correction. Après cette correction on aboutit à un indice global de dégradation I_s de surface qui qualifie la chaussée sur la longueur choisie pour le calcul.

Il en ressort des notes selon la méthode **VIZIR**, à la suite des relevés de dégradations superficielles qui sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau 5: Indice de dégradation global de surface Is

PK	Longueur tronçon (m)	Indice de fissuration If	Indice de déformation Id	Indice de surface Is
Du PK 27 + 000 au PK 27 + 150	150,00	0	0	1
Du PK 27 + 150 au PK 27 + 350	200,00	3	1	4
Du PK 27 + 350 au PK 28 + 150	800,00	0	0	1
Du PK 28 + 150 au PK 28 + 650	500,00	2	1	2
Du PK 28 + 650 au PK 29 + 100	450,00	0	1	3
Du PK 29 + 100 au PK 30 + 050	950,00	0	0	1
Du PK 30 + 050 au PK 31 + 050	1000,00	0	0	1
Du PK 31 + 050 au PK 31 + 850	800,00	0	0	1
Du PK 31 + 850 au PK 32 + 500	650,00	1	1	2
Du PK 32 + 500 au PK 33 + 050	550,00	0	1	3
Du PK 33 + 050 au PK 33 + 900	850,00	0	0	1
Du PK 33 + 900 au PK 34 + 600	700,00	1	0	2
Du PK 34 + 600 au PK 35 + 400	800,00	2	0	2
Du PK 35 + 400 au PK 36 + 000	600,00	2	2	3

A travers ces notes qui varient approximativement entre 1 et 3, nous pouvons dire que la chaussée à un état apparent « *Médiocre* » c'est-à-dire fissuré mais non déformé. L'état apparent de la chaussée est illustré dans la figure suivante.



Source : (BCEOM, et al., 1991) .

Figure 5 : Etat apparent de la chaussée

III.2.2 Analyse des mesures de déflexions

Les mesures de déflexion ont été réalisées à la poutre Benkelman à l'entre axe des deux roues jumelées du camion à l'essieu de 13 tonnes à l'arrière et dont la pression de gonflage des pneus est de 7 bars.

Les mesures ont été réalisées avec un pas de 25 m côté droit et gauche et à l'axe de la route. Ces mesures ont pour but principal de connaître le niveau de déformation de la structure du corps de chaussée en place sur tout le linéaire du tronçon étudié. Pour cela, nous allons tout d'abord enregistrer les valeurs des mesures de déflexions dans un tableur (Excel) qui seront traitées et les résultats analysés.

Le but de ce traitement est de calculer la déflexion caractéristique en tenant compte des sections homogènes de la route. Cette déflexion est déterminée par la formule suivante :

$$D_c = M + k \sigma$$

Où **D_c** est la déflexion caractéristique d'une série de mesures ;

M est la moyenne d'une série de mesures ;

σ est l'écart type d'une série de mesures.

K est un coefficient de probabilité prédéterminé.

En France, on choisit **k=2**, probabilité de dépassement de l'ordre de **2.5%**.

On adopte aussi parfois **k=1.3** c'est-à-dire à une probabilité de dépassement d'environ **10 %** qui est considérée comme admissible dans de nombreux pays.

On a donc alors **D_c = M + 1.3 σ** Source : (CEBTP-LCPC, 1971)

Les déflexions caractéristiques ont ensuite été classées selon les 6 catégories. Le tableau ci-après donne les classes de déflexions:

Tableau 6 : Classes de déflexions

		Catégorie		
0/100 mm	<	D1	≤	50/100 mm
50/100 mm	<	D2	≤	75/100 mm
75/100 mm	<	D3	≤	100/100 mm
100/100 mm	<	D4	≤	125/100 mm
125/100 mm	<	D5	≤	150/100 mm
150/100 mm	<	D6	≤	175/100 mm

Source : (GUEYE, 2010)

D'après les résultats consignés dans le tableau ci-dessous, nous constatons **64%** du tronçon de route à une classe de déflexion de **D1**, **14%** du tronçon à une classe de déflexion de **D2**, et **21%** du tronçon de route à une classe de **D3**. Les classes de déflexion **D1** et **D2** peuvent entraîner des cas de travaux d'entretien tandis qu'à partir de la catégorie **D3** les possibilités de renforcement sont certaines.

Une analyse critique permet de voir que la chaussée existante présente des zones à forte et faible déflexion par rapport aux limites fixées.

Tableau 7 : Déflexions caractéristiques du tronçon étudié

<i>PK</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Ecart-type</i>	<i>dc</i> <i>=m+1,3*e</i>	<i>Classe</i>
<i>Du PK 27 + 000 au PK 27 + 150</i>	22,86	9,51	35	D1
<i>Du PK 27 + 150 au PK 27 + 350</i>	17,50	3,66	22	D1
<i>Du PK 27 + 350 au PK 28 + 150</i>	21,38	6,97	30	D1
<i>Du PK 28 + 150 au PK 28 + 650</i>	19,30	7,63	29	D1
<i>Du PK 28 + 650 au PK 29 + 100</i>	21,67	8,44	33	D1
<i>Du PK 29 + 100 au PK 30 + 050</i>	24,42	9,70	37	D1
<i>Du PK 30+ 050 au PK 31 + 050</i>	37,80	12,53	54	D2
<i>Du PK 31 + 050 au PK 31 + 850</i>	53,63	25,00	86	D3
<i>Du PK 31 + 850 au PK 32 + 500</i>	33,08	16,22	54	D2
<i>Du PK 32 + 500 au PK 33 + 050</i>	61,91	18,64	86	D3
<i>Du PK 33 + 050 au PK 33 + 900</i>	59,65	23,09	90	D3
<i>Du PK 33 + 900 au PK 34 + 600</i>	34,50	7,92	42	D1
<i>Du PK 34 + 600 au PK 35 + 400</i>	36,63	14,15	50	D1
<i>Du PK 35 + 400 au PK 36 + 000</i>	24,33	7,82	34	D1

III.2.3 Calcul de l'indice de qualité

L'indice de qualité (**Qi**) découle du croisement de la valeur de l'indice **Is** qualifiant la surface de la chaussée et de celle de la déflexion (**Di**) qualifiant la portance globale de la chaussée.

Le choix des seuils de déflexion d1 et d2 dépendent de nombreux facteurs tels que l'environnement climatologique, la nature et l'épaisseur de la chaussée, les sols et les charges à l'essieu. d1 représente la valeur en deçà de laquelle la chaussée se porte bien, d2 la valeur au-delà de laquelle la chaussée se comporte mal et l'intervalle d1 d2 représente la zone d'indétermination.

En absence d'une réglementation au Burkina Faso; les valeurs de d1 et d2 du Mali ont été

adoptés ($d_1=60$ et $d_2=80$).

La déflexion in situ supérieure à 80/100 mm, représente seulement **21%** du tronçon et **79%** du tronçon ont des déflexions inférieures à 60/100 mm.

Tableau 8 : Indice qualité de la chaussée

Etat apparent Is	Déflexion		
	Faible	d1	d2 Elevée
Bon 1	Q1	Q2	Q3
Fissuré non déformé 2-3	Q2	Q3	Q4
Déformé et fissuré 4-7	Q3	Q4	Q5

Source : (CEBTP-LCPC, 1971)

Q1-Q2 : Cas d'entretien Q4-Q5 : Cas de renforcement et Q3 : Zone douteuse (indétermination).

Ainsi donc en combinant la déflexion caractéristique (**Di**) et l'état apparent de la chaussée (**Qi**), nous obtenons l'indice de qualité qui permet de définir la solution (entretien ou renforcement) sur le long du tronçon.

Ainsi nous pouvons constater **71%** du tronçon passe en entretien et **29%** en renforcement. Les indices de qualité obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 9: indice qualité et solutions

<i>PK</i>	<i>Longue ur tronçon (m)</i>	<i>Indice de surface (Is)</i>	<i>Déflexion caractéristique</i>	<i>Indice de qualité (Qi)</i>	<i>Solutions</i>
<i>Du PK 27 + 000 au PK 27 + 150</i>	150,00	1	D1	Q1	Entretien
<i>Du PK 27 + 150 au PK 27 + 350</i>	200,00	4	D1	Q3	indétermination
<i>Du PK 27 + 350 au PK 28 + 150</i>	800,00	1	D1	Q1	Entretien
<i>Du PK 28 + 150 au PK 28 + 650</i>	500,00	2	D1	Q2	Entretien
<i>Du PK 28 + 650 au PK 29 + 100</i>	450,00	3	D1	Q2	Entretien
<i>Du PK 29 + 100 au PK 30 + 050</i>	950,00	1	D1	Q1	Entretien
<i>Du PK 30 + 050 au PK 31 + 050</i>	1000,0 0	1	D2	Q1	Entretien
<i>Du PK 31 + 050 au PK 31 + 850</i>	800,00	1	D3	Q3	indétermination
<i>Du PK 31 + 850 au PK 32 + 500</i>	650,00	2	D2	Q2	Entretien
<i>Du PK 32 + 500 au PK 33 + 050</i>	550,00	3	D3	Q4	Renforcement
<i>Du PK 33 + 050 au PK 33 + 900</i>	850,00	1	D3	Q3	indétermination
<i>Du PK 33 + 900 au PK 34 + 600</i>	700,00	2	D1	Q2	Entretien
<i>Du PK 34 + 600 au PK 35 + 400</i>	800,00	2	D1	Q2	Entretien
<i>Du PK 35 + 400 au PK 36 + 000</i>	600,00	3	D1	Q2	Entretien

Comme l'état apparent de la chaussée et la déflexion ne suffisent pas, alors on tiendra compte des sondages géotechniques pour lever l'indétermination, ainsi le **CBR** de la couche de Base étant inférieur au **CBR** recommandé, alors nous passons de **Q3** (indétermination) à **Q4** (renforcement).

III.2.4 Analyse des sondages géotechniques

Cette analyse a pour but de savoir si les caractéristiques des matériaux des différentes couches de chaussées en place répondent aux normes à respecter pour des travaux routiers et si l'épaisseur de chaque couche constituant la chaussée est respectée lors de la construction. Ces essais ont été réalisés sur la couche de base, la fondation et la plate-forme de la chaussée existante.

Les essais qui ont été réalisés sur le tronçon du **PK 0+350** au **PK 37+250** sont :

- ✓ *L'analyse granulométrique*
- ✓ *Les limites d'ATTERBERG (Indice de Plasticité IP)*

- ✓ *Le Proctor modifié*
- ✓ *Le CBR*

Tout d'abord voici les épaisseurs des différentes couches de chaussée qui devrait être mise en place :

Tableau 10 : Epaisseurs des couches existantes

Couches	Epaisseurs (cm)	Matériaux
Revêtement	3	ESB
Couche de Base	15	GLN
Couche de Fondation	20	GLN
Plate-Forme	Variable	GLN

Mais force est de constater que ces épaisseurs (couche de Base ou Fondation) ne sont pas respectées en des endroits. Pour une question d'uniformisation et dans le but de rester dans les conditions d'exécution de la route lors de sa construction, nous garderons les épaisseurs de couche mentionnées dans le tableau ci-dessus pour les calculs dans la suite du document.

a) La portance CBR

Le Guide Pratique de Dimensionnement des Chaussées pour les Pays Tropicaux (**GPDCPT, CEBTP ; 1980**) a fixé les valeurs minimales de CBR que doivent avoir chaque matériau selon son utilisation :

- ✓ Couche de Fondation : **CBR>30 à 95% de l'OPM ;**
- ✓ Couche de Base : **CBR>80 à 95% de l'OPM.**

Ainsi à travers le résultat des sondages, nous constatons que les matériaux en place ont tous un CBR à **95 %** de l'OPM inférieur à **80** pour la couche de Base et **30** pour la couche de Fondation, valeur recommandée par le guide **GPDCPT**. Par contre la classe de portance du remblai (Plate-Forme) varie entre **S4** et **S5** nettement suffisant pour supporter le trafic.

b) Indice de Plasticité (IP)

D'après toujours le **GPDCPT**, l'indice de plasticité sera conforme aux valeurs suivantes :

- ✓ Couche de Fondation : **IP< 20 (T3 et T4) et IP<30 (T2 et T1)**
- ✓ Couche de Base : **IP< 15.**

L'indice de plasticité (IP) et l'analyse granulométrique des passants des matériaux en place sont consignés dans l'annexe. On constate que l'IP est inférieur à la valeur minimale indiquée dans le guide de **CEBTP** ou **GPDCPT**, alors les matériaux peuvent être admis.

Les résultats des essais sur les matériaux d'emprunt, sont satisfaisants car :

L'indice de plasticité, **IP= 13 < 20** (valeur recommandé pour un matériau devant être amélioré ;

Et l'indice portant du CBR à 95% après 4 jours d'imbibition est égal à **50 > 60** (valeur de CBR recommandé pour un matériau devant être amélioré).

Alors cet emprunt pour être utilisé comme une couche de Fondation ou une couche de Base doit être amélioré au concassés.

III.3 Vérification de la durée de vie résiduelle de la chaussée

Dans cette partie, une modélisation des structures de chaussées sera faite à l'aide du logiciel Alizé-LCPC pour obtenir les déformations de chacune d'elle afin de Calculer la durée de vie intrinsèque de chaque structure de chaussée.

III.3.1 Données :

Tableau 11: Trafic passé sur la RN 03

Données du Trafic passé sur la RN03	
Date de mise en service	2002
Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA) en 2002	202
Coefficient Agressivité Moyen (CAM)	1
Coefficient de Répartition Transversale (CRT)	0,5
Taux de croissance géométrique	9%

III.3.2 Principe :

A partir des sondages géotechniques (la portance CBR) réalisés par le LNBTP :

- Calculer le module de Young des matériaux des différentes couches ;
- Modéliser la structure du corps de chaussée sur Alizé et calculer la déformation intrinsèque des matériaux en appliquant la charge standard à l'essieu de 13T ;
- A partir donc cette déformation, calculer la durée de vie intrinsèque des matériaux à l'aide de la méthode inverse de Alizé.

Ainsi la durée de vie résiduelle est obtenue en faisant la différence entre la durée de vie intrinsèque des matériaux et la durée de service de la route.

III.3.3 Hypothèses :

- ✓ Durée de service de la route existante estimée à 12 ans (début 2002-fin 2013) ;
- ✓ Coefficient de POISSON $\mu=0.35$;
- ✓ Les valeurs des modules de YOUNG (E) seront calculées sur la base de la formule de LCPC

$E= k*CBR$ selon le «*MANUEL POUR LE RENFORCEMENT DES CHAUSSEES SOUPLES EN PAYS TROPICAUX*», page 156-157», k est compris entre **5** et **10**. Dans le cadre de notre projet nous adoptons **k= 5** pour le Remblai (Plate-Forme) ; **k= 7** pour la couche de Fondation et **k= 8** pour la couche de Base. Le CBR étant pris à 95% de l'OPM.

III.3.4 Calcul des modules de YOUNG (E)

Calcul de la structure n°1

$$E = k * CBR$$

- Pour la couche de Base : **k= 8** et **CBR= 56**

$$E = 8 * 56 = 448 \text{ MPa} \text{ soit } \mathbf{E=450 \text{ MPa}} ;$$

- Pour la Plate-Forme : **k=5** et **CBR= 24**

$$E = 5 * 24 = \mathbf{120 \text{ MPa}}$$

- Pour la Fondation **k=7** et **CBR= inconnu**

Le CBR de la couche de Fondation étant inconnu, une itération est faite à l'aide de **Alizé** pour retrouver la déflexion caractéristique calculée (**54/100 mm**) alors nous retenons le module de YOUNG (**E**) correspondant à cette déflexion caractéristique à partir des sondages géotechniques. Ainsi d'après Alizé nous obtenons pour cette couche de Fondation, **E=400 MPa** correspondant à une déflexion de **54.8/100 mm**.

En fonction du CBR et du module de YOUNG des matériaux et à l'aide de **Alizé**, il en ressort trois (3) structures de corps de chaussée, qui représentent la chaussée existante sur tout le tronçon représentés dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Module de YOUNG des matériaux en place

Structures	Structure n°1	Structure n°2	Structure n°3
Couches de chaussées	CBR donné par le LNBTP		
Couche de Base	56	40	76
Couche de Fondation	-	-	-
Plate-Forme	24	26	32
Déflexion Caractéristique calculée (LNBTP)			
1/100 mm	54	60	42
Module de YOUNG (MPa) par ALIZE			
Couche de Base	450	320	610
Couche de Fondation	400	320	480
Plate-Forme	120	130	160
Déflexion Caractéristique par ALIZE			
1/100 mm	54,8	56,5	42,1
Linéaire (m)	4850	2750	1400

III.3.5 Vérification de la durée de vie résiduelle de la route

A partir des données au point **III.2.4**, nous calculons une déformation intrinsèque de la structure sous l'essieu standard 13T :

A partir de cette déformation intrinsèque et les données d'entrée telle que : le trafic (TMJA), le taux d'accroissement, et le coefficient d'agressivité, nous obtenons à l'aide Alizé, la durée de vie résiduelle de la structure n°1 du tronçon de route comme illustré sur la figure n°08. Pour les autres structures se reporter à l'annexe n°03.

Nous récapitulons l'ensemble des résultats dans le tableau suivant

Tableau 13 : durée de vie résiduelle de tronçon de route

		Structure n°1	Structure n°2	Structure n°3
Module de YOUNG E (MPa)	Couche de Base	450	320	610
	Couche de Fondation	400	320	480
	Plate-Forme	120	130	160
Déformation intrinsèque de la structure (μdef) sous 13T		741,5	768,6	568,2
Déflexion (mm) sous l'effet de l'essieu standard 13T		54,8	56,5	42,1
Durée de vie intrinsèque de la structure (ans)		14	13	26
Durée de service de la route de 2002 à 2013(ans)		12	12	12
Durée de vie résiduelle du tronçon de route (ans)		2	1	14
Linéaire (m)		4850	2750	1400

D'après ce tableau, on constate que la durée de vie résiduelle des structures de chaussées n°1 et n°2 est inférieure à 7 ans (durée de vie estimée d'une route avant son premier entretien périodique) alors que la structure de chaussée n°3 a une durée de vie nettement supérieure à 7 ans. Donc les structures de chaussées n°1 et n°2 sont sujettes à un renforcement tandis que la structure n°3 est sujette à un entretien (renouvellement de la couche de surface).

IV ETUDE DE RENFORCEMENT DES ZONES A FAIBLE

DUREE DE VIE RESIDUELLE

Le dimensionnement de la structure de chaussée à renforcer a pour objectif **de déterminer l'épaisseur des différentes couches constituant la structure du corps de chaussée**, pour le nouveau trafic attendu, en tenant compte, entre autres, de la nature et des caractéristiques des matériaux de visibilité disponibles dans la zone du projet et de la structure existante.

Il existe de nombreuses méthodes de dimensionnement qui peuvent être classées en trois grands groupes :

- Les méthodes empiriques comme la méthode **AASHTO** qui est une méthode très ouverte et qui fait largement appel à des adaptations locales dépendant de l'environnement.
- Les méthodes rationnelles qui sont basées sur les caractéristiques mécaniques de chaque couche. Les calculs de contraintes et de déformations admissibles en fonction des épaisseurs, des cycles de chargement et des risques acceptés, sont effectués au moyen de programmes informatiques (**ALIZE, ECOROUTE, BISAR**). Ainsi ces programmes permettent de vérifier si les contraintes et les déformations admissibles sont dépassées ou non.
- Les catalogues qui sont basés sur les données de l'expérience acquise par le suivi du comportement des réseaux routiers, et sur les vérifications des structures par les méthodes rationnelles comme le « **Guide de renforcement des Chaussées souples pour les Pays Tropicaux** ».

IV.1 Techniques de renforcement

Le renforcement peut être défini comme étant un ajout de matériaux à la structure de la chaussée existante pour rencontrer les nouveaux objectifs de performance de la chaussée.

Le but du renforcement est de restaurer la condition structurale de la chaussée.

Il existe plusieurs techniques de renforcement d'une chaussée, on peut citer entre autres :

- Le renouvellement de la couche de roulement (rechargement) ;
- Le renforcement, plus ou moins lourd, qui est la remise en état (ou l'accroissement) de la capacité portante d'une chaussée en lui ajoutant une nouvelle couche de Base et une nouvelle couche de surface (roulement);
- La reconstruction, dans le cas d'une dégradation très avancée ou de rupture de la chaussée ancienne, avec, selon les cas purges locales ou remise en forme de l'ancienne chaussée utilisée comme couche de fondation de la nouvelle structure.
- Le recyclage, est une restauration de la surface d'une chaussée modérément dégradée en

maximisant la réutilisation des matériaux en place.

IV.2 Etude de renforcement de la structure de chaussée à faible durée de vie résiduelle

IV.2.1 Critères de renforcement des structures de chaussée

Nous avons établi un certain nombre de critères afin de pouvoir dire telle ou telle structure passe en renforcement, ces critères sont:

- ✚ La qualité de la structure de chaussée est supérieure à Q3 ;
- ✚ La durée de vie résiduelle de la structure de chaussée est inférieure à 7 ans ;
- ✚ Plate-forme
 - L'indice de plasticité (IP) est supérieur à 40 ;
- ✚ Couche de Fondation
 - Les dimensions maximales des éléments sont supérieures 60 ;
 - Le pourcentage de passant au tamis 0,08 mm est supérieur à 35 ;
 - L'indice de plasticité (IP) est supérieur à 30 ;
 - La portance CBR est inférieure à 30.
- ✚ Couche de Base
 - L'indice de plasticité (IP) est supérieur à 15 ;
 - Le pourcentage de fines est supérieur à 20.
 - La portance CBR est inférieure à 80.

IV.2.2 Méthode de calcul du renforcement : ALIZE-LCPC

Alizé-LCPC permet de calculer sous une ou plusieurs charges circulaires les déplacements, les contraintes et les déformations en différents points d'un massif semi-infini. Par hypothèse, la structure de chaussée est déterminée par n couches d'épaisseur finie (sauf la dernière), infinie en plan. Les matériaux ont un comportement élastique, linéaire et isotrope, les contraintes sont des pressions ou des cisaillements.

Chaque couche de chaussée est caractérisée par quatre (4) paramètres de base :

- ✓ L'épaisseur h_i ;
- ✓ Le module de YOUNG E_i
- ✓ Le coefficient de POISSON ν_i ;
- ✓ Les liaisons avec le(s) couche(s) voisine(s).

Le principe du calcul consiste en priorité à modéliser les structures de manière à évaluer les contraintes ou les déplacements provoqués par une charge unitaire. On recherche ensuite la contrainte maximale susceptible d'engendrer la rupture de la structure et on la compare à la limite

admissible du matériau considéré pour le trafic souhaité.

Pour rechercher l'épaisseur d'une couche de renforcement, on est conduit à répéter (itérer) le calcul afin de déterminer celle qui correspond à σ_{ad} ou ϵ_{ad} (contrainte ou déformation admissible du matériau).

IV.2.3 Hypothèses

- ✓ Le trafic initial à la date de mise en service (fin 2014) est calculé par:

$$T_{TMJA} = t_{2002} * (1+i)^n = 101x(1+0.09)^{2015-2002} = 309.64 \sim \mathbf{310 \text{ PL/jour/sens}} ;$$

- ✓ La durée de vie du renforcement est estimée à **7 ans** minimum ;
- ✓ La structure de chaussée est considérée **neuve** après le renforcement ;
- ✓ Le profil en long (*ligne rouge ou le projet*) de la route existante ne doit pas être dépassé de plus de **10 cm**, en calculant l'épaisseur des différentes couches de chaussées.
- ✓ La température de service du béton bitumineux est fixée en fonction de la température de la zone du projet et est **40°C**.

IV.2.4 Calcul à l'aide du logiciel ALIZE-LCPC

Données d'entrée

Tableau 14 : Trafic futur sur la RN03

Données du Trafic futur sur la RN03	
Date de mise en service	Fin 2014
Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA) par sens	310
Coefficient Agressivité Moyen (CAM)	1
Taux de croissance géométrique	9%
Durée de vie estimée du renforcement (ans)	7

Résultats d'après Alizé

Tableau 15 Vérification à l'aide de Alizé

Couche de Structure de Chaussée	Déformations	ez (μ_{def})	et (μ_{def})	Vérification (Calculée \leq admissible)
Couche de roulement en BB	admissibles		238,6	Oui
	calculées		71,3	
Couche de Base	admissibles	553,7		Oui
	calculées	329,2		
Couche de	admissibles	553,7		Oui

Fondation				
	calculées	283,8		
Sol support	admissibles	553,7		Oui
	calculées	496,1		

IV.2.5 Propositions de solutions de renforcement

Les solutions de renforcement ont été calculées à l'aide du logiciel Alizé-LCPC, pour chaque structure nous avons deux (2) solutions ou variantes de renforcement et les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Variante N°1 : Couche de Roulement en Béton Bitumineux

Tableau 16: Solution n°01 BB

Structure n°1					
<i>Variante n°1 (Couche de roulement en Béton Bitumineux)</i>					
Couche de surface en BB	Module de YOUNGE (MPa)	1000	Epaisseur en cm de la structure	5	Commentaire
Couche de Base		600		20	
Couche de Fondation		400		20	
Plate-Forme		120		infini	
Déformation admissible de la structure ($\mu\text{déf}$) en 7 ans	BB = 224				
	PF = 553,7				
Déformation calculée ($\mu\text{déf}$)	BB = 86,70				
	PF = 496,1				
Structure n°2					
<i>Variante n°1 (Couche de roulement en Béton Bitumineux)</i>					
Couche de surface en BB	Module de YOUNGE (MPa)	1000	Epaisseur en cm de la structure	5	Commentaire
Couche de Base		600		20	
Couche de Fondation		320		20	
Plate-Forme		130		infini	
la capacité portante de la couche de base ancienne à un $\text{CBR} < 50$, on effectuera une purge locale, et la nouvelle couche de base sera en litho stabilisation vue que l'emprunt à un $\text{CBR} = 50$ à 95% OPM. donc on a un renforcement de type reconstruction (purge locale) et un renouvellement de la couche de					

					surface en BB de 5 cm, l'ancien matériau de la couche de base sera utilisé pour recharger les accotements. L'épaisseur de la couche de base passe de 15 cm à 20 cm.
Déformation admissible de la structure (μ déf) en 7 ans	BB=224				
	PF=553,7				
Déformation calculée (μ déf)	BB=88				
	PF=490,9				

Variante N°1 : Couche de Roulement en Enduit Superficiel bicouche

Tableau 17: Solution n°2 en ESB

Structure n°1					
Variante n°2 (Couche de roulement en enduit superficiel bicouche)					
Couche de surface en ES	Module de YOUNG E (MPa)	-	Epaisseur en cm de la structure	-	Commentaire
Couche de Base		600		25	
Couche de Fondation		400		20	
Plate-Forme		120		infini	
Déformation admissible de la structure (μ déf) en 7 ans	553,7				
Déformation calculée (μ déf)	513,6				
Structure n°2					
Variante n°2 (Couche de roulement en enduit superficiel bicouche)					
Couche de surface en ES	Module de YOUNG E (MPa)	-	Epaisseur en cm de la structure	-	Commentaire
Couche de Base		600		25	
Couche de		320		20	
la capacité portante de la couche de base ancienne à un CBR<50, on effectuera une purge locale, et la nouvelle couche de base sera en litho stabilisation vue que l'emprunt à un CBR = 50 à 95% OPM. donc on a un renforcement de type reconstruction (purge locale) et un renouvellement de la couche de surface en ES bicouche,					

Fondation				l'ancien matériaux de la couche de base sera utilisé pour recharger les accotements. L'épaisseur de la couche de base passe de 15 cm à 20 cm. la durée du renforcement passe de 7 à 9 ans.
Plate-Forme		130	infini	
Déformation admissible de la structure (μ déf) en 7 ans	553,7			
Déformation calculée (μ déf)	508,5			

IV.3 Analyse comparative des deux variantes

La variante N°2 (*Couche de Roulement en Enduit Superficiel*) est la plus économique par rapport à la variante N°1 (*Couche de Roulement en Béton Bitumineux*). La différence du coût est de l'ordre de **691 776 000 F CFA** soit **49,7%**. Pour un projet de renforcement d'une route la différence de coût entre variante n'est pas prédominant car l'objectif principal de ce renforcement est d'améliorer la capacité de la chaussée à supporter le trafic futur. Une étude comparative est faite dans le tableau ci-dessous

Tableau 18: Avantages et inconvénient des solutions

Variantes Facteurs d'analyse	Variante N°1 (<i>Couche de Roulement en BB</i>)	Variante N°2 (<i>Couche de Roulement en ES</i>)
Coût de mise en œuvre (F CFA)	1 390 837 760 Coût très élevé	699 061 760 Plus économique
Mise œuvre	Le béton bitumineux est répandu avec le finisseur équipé d'une poutre lisseuse flottante. Le compactage est ensuite réalisé, comme pour les couches de base et de fondation, à l'aide de compacteurs de types variés.	L'exécution proprement dite des travaux d'enduisage comporte le balayage préalable, le répandage du liant, la reprise et l'épandage des granulats, le compactage et l'élimination des rejets.

Avantages et inconvénients	<i>Avantages</i>	<i>Avantages</i>
	<ul style="list-style-type: none"> - Une meilleure étanchéité - Une grande stabilité - Un Meilleur confort <p style="text-align: center;"><i>Inconvénients</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Coût très élevé ; 1. N'est pas stockable, il est doit être utilisé les 24h qui suivent sa fabrication. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vitesse d'exécution élevée (moyenne 10 000 m²/ jour) - Prix de revient très faible <p style="text-align: center;"><i>Inconvénients</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Limité au trafic faible ; - Risque de rejets de pierres pouvant entraîner les bris pare-brise et une gêne particulière en milieu urbain ;
Durée de vie	Plus de 10 ans (d'après cette étude)	Moins de 9 ans (d'après cette étude)

V ESTIMATION DES COÛTS

Ce chapitre concerne uniquement l'estimation des coûts des deux (2) variantes proposées pour l'entretien périodique et le renforcement du tronçon de route nationale n°03 :

Tableau 19 : Récapitulatif du Coût du projet.

Objet	ENTRETIEN PERIODIQUE ET RENFORCEMENT DE LA RN03 ALLANT DU PK27+000 AU PK36+000	VARIANTE 2 (Enduit Superficiel bicouche)	VARIANTE 1 (Béton Bitumineux)
CODE TÂCHE	DESIGNATION	MONTANT TOTAL (FCFA)	MONTANT TOTAL (FCFA)
1	INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER	96 000 000	120 000 000
2	TRAVAUX DE VOIRIE	49 642 000	51 292 000
3	REVETEMENT DE LA CHAUSSEE	400 500 000	874 800 000
MONTANT TOTAL HT (F CFA)		546 142 000	1 086 592 000
DIVERS 10%		54 614 200	108 659 200
TVA 18 % (F CFA)		98 305 560	195 586 560
MONTANT TOTAL TTC (F CFA)		699 061 760	1 390 827 760
COÛT AU KM		77 673 530	154 537 530

VI RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

Comme toute autre structure de chaussée, cette structure doit bénéficier d'un entretien courant pour sa pérennité. Ainsi il faut assurer un entretien courant après la première année où l'on attribuera ces tâches à des entreprises qualifiées.

Il incombe au Bureau d'études de résoudre toutes pathologies de la structure allant des déformations aux fissures. Le maître d'ouvrage assurera alors un suivi périodique, faire une évaluation des niveaux de dégradations et y remédier dans les brefs délais afin de rendre la route à son état initial à la fin du contrat. Une mission de contrôle devrait être dirigée par l'autorité compétente.

Il faudra aussi, quel que soit la solution adoptée, insister sur la qualité de mise en œuvre de la solution préconisée afin de ne pas dépasser les limites imposées pendant cette étude, par conséquent, il faudra insister sur la qualité des matériaux à mettre en place.

Il est souhaitable que l'administration des routes puisse définir un cadre réglementé pour une normalisation des techniques routières au Burkina Faso.

VII CONCLUSION

Le concept d'entretien des routes joue un rôle prépondérant dans la conservation du patrimoine routier et l'économie d'un pays.

C'est dans cette optique que s'inscrit notre étude. Il a été question de faire un bref historique des interventions sur cette route depuis sa construction jusqu'à nos jours, un diagnostic des dégradations, une étude du trafic passé et futur vérifier la durée de vie résiduelle de la route et proposer des solutions de renforcement dans les zones à faible durée de vie résiduelle.

La dernière partie a été de proposer deux variantes en s'appuyant sur les résultats obtenus et ceci a permis de faire une analyse comparative des deux variantes.

Il en ressort 03 structures de chaussées :

- Structures n°01 (S01) du PK27+000 au PK31+900
- Structures n°02 (S02) du PK31+900 au PK34+600
- Structures n°03 (S03) du PK34+600 au PK36+000

Pour les deux variantes, les structures S01 et S02 sont constituées d'une couche de base en litho-stabilisation de 20 à 25 cm et fondation en GLN de 20 cm.

La structure S03, pour les deux variantes est constituée d'une couche de base en GLN de 15 cm et d'une couche de fondation en GLN de 20 cm.

Le choix définitif d'une des deux variantes proposées revient au maître d'ouvrage en s'appuyant sur l'analyse des variantes.

BIBLIOGRAPHIE

- MBOUP, N. (2004). Analyse critique de la stratégie d'entretien du réseau routier revêtu au Sénégal ;
(LCPC), L. C. (1991). Techniques et Méthodes des laboratoires des ponts et chaussées-LPC:
Méthode de VIZIR. LCPC ;
BCEOM, & CEBTP. (1991). Les routes dans les zones tropicales et désertiques tome III Entretien
et Gestion des routes. Ministère de la Coopération et du Développement de la France ;
CEBTP-LCPC. (1971). Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux (éd.
1971). Ministère des Relations extérieures-Coopération et Développement ;
COMBERE, M. (2008). La problématique du dimensionnement des chaussées souples au Burkina
Faso ;
COULIBALY , D. (2009-2010). Pathologies et entretien des chaussées souples. 2iE ;
Faso, M. d., & MCA-BF. (2013). Manuel d'entretien des routes ;
GUEYE, I. (2010). Géotechnique routière. 2iE ;
Méthodologie de relevé des dégradations et de suivi du réseau routier, Burkina Faso. (s.d.).

ANNEXES

ANNEXE 1
RELEVÉ DE DÉGRADATIONS

ANNEXE 2
DEFLEXIONS CARACTERISTIQUES

ANNEXE 3

VERIFICATION DE LA DUREE DE VIE RESIDUELLE DES STRUCTURES N°02 ET N°03

Vérification de la durée de vie résiduelle des structures n°02 :

1. Calcul des modules de YOUNG (E)

Calcul de la structure n°2

$$E = k * CBR$$

- Pour la couche de Base : **k= 8** et **CBR= 40**

$E = 8 * 40 = 320$ MPa soit **E= 320 MPa** ;

- Pour la Plate-Forme : **k=5** et **CBR= 26**

$E = 5 * 26 = 130$ MPa

- Pour la Fondation **k=7** et **CBR= inconnu**

Le CBR de la couche de Fondation étant inconnu, une itération est faite à l'aide de **Alizé** pour retrouver la déflexion caractéristique calculée (**60/100 mm**) alors nous retenons le module de YOUNG (**E**) correspondant à cette déflexion caractéristique à partir des sondages géotechniques. Ainsi d'après Alizé nous obtenons pour cette couche de Fondation, **E=320 MPa** correspondant à une déflexion de **56.5/100 mm**.

A partir des données modules E, nous calculons une déformation intrinsèque de la structure sous l'essieu standard 13T : l'image ci-dessous illustre la modélisation de cette structure

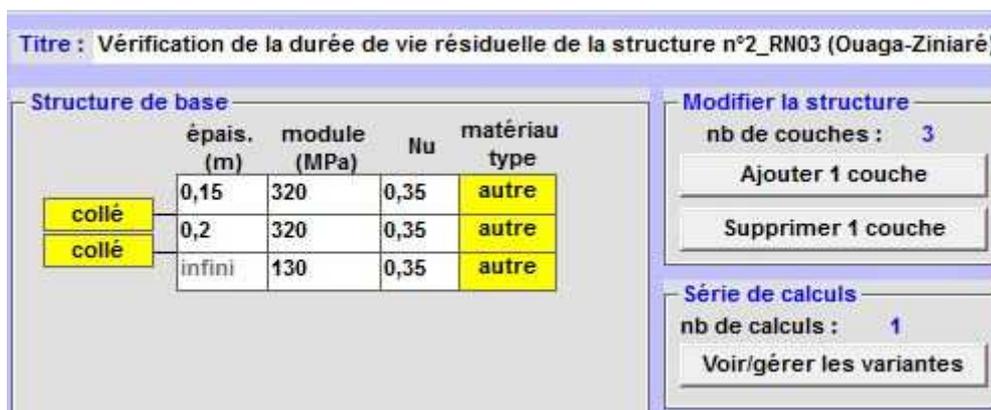


Figure 6 : Modélisation Structure n°02

Illustration du calcul de la déformation intrinsèque de la structure n°02 :

Vérification de la durée de vie résiduelle de la structure n°2_RN03 variante 1 : Durée=00:00sec

épais. (m)	module (MPa)	coef. Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdéf)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdéf)	SigmaZ (MPa)
0,150	320,0	0,350	0,000	-267,1	-0,030	720,6	0,657
	collé		0,150	-336,6	0,022	1013,7	0,356
0,200	320,0	0,350	0,150	-336,6	0,022	1013,7	0,356
	collé		0,350	-352,1	-0,093	475,5	0,103
infini	130,0	0,350	0,350	-352,1	-0,005	768,6	0,103

Grandeurs affichées:
 tableau 1 tableau 2
 tableau 3 tableau 4
 tableau 5 tableau 6
 tableau 7 tableau 8

Déflexion = 56,5 mm/100
entre-jumelage
Rdc = 85,7 m

Figure 7: Déformation intrinsèque Structure n°02

2. Durée de vie résiduelle de la structure n°02

A partir de cette déformation intrinsèque (figure n°11) et les données d'entrée telle que : le trafic (TMJA), le taux d'accroissement, et le coefficient d'agressivité, nous obtenons à l'aide Alizé, la durée de vie résiduelle de la structure n°02 du tronçon de route comme illustré sur cette image. Pour

Trafic PL cumulé : données

Moyenne journalière annuelle (MJA) : 101
 Taux accroissement géométrique (%) : 9
 Taux accroissement arithmétique (%) :
 Durée de service (années) :
 Trafic cumulé PL :

Valeurs admissibles : d

matériau type :
coefficient CAM :
trafic cumulé NE :
Coefficient A :
pente b :

Calcul inverse NE = f(EpsiZ)

Déformation EpsiZ (µdéf) ? 768,6

Trafic cumulé NE = 868 614
Coefficient CAM = 1
Trafic cumulé PL = 868 614
Trafic MJA = 101
Accroissement géom.(%) = 9
Durée de service (ans) = 13,21

Calculer EpsiZ adm
Calcul inverse NE = f

Quitter Calcul inverse

Figure 8 Calcul inverse de la structure n°02

Vérification de la durée de vie résiduelle des structures n°03 :

1. Calcul des modules de YOUNG (E)

Calcul de la structure n°3

$$E = k * CBR$$

- Pour la couche de Base : **k= 8** et **CBR= 76**

$E = 8 * 76 = 608 \text{ MPa}$ soit **E= 610 MPa** ;

- Pour la Plate-Forme : **k=5** et **CBR= 32**

$E = 5 * 32 = 160 \text{ MPa}$

- Pour la Fondation **k=7** et **CBR= inconnu**

Le CBR de la couche de Fondation étant inconnu, une itération est faite à l'aide de **Alizé** pour retrouver la déflexion caractéristique calculée (**42/100 mm**) alors nous retenons le module de YOUNG (**E**) correspondant à cette déflexion caractéristique à partir des sondages géotechniques. Ainsi d'après Alizé nous obtenons pour cette couche de Fondation, **E=480 MPa** correspondant à une déflexion de **42.1/100 mm**.

A partir des données modules E, nous calculons une déformation intrinsèque de la structure sous l'essieu standard 13T : l'image ci-dessous illustre la modélisation de cette structure

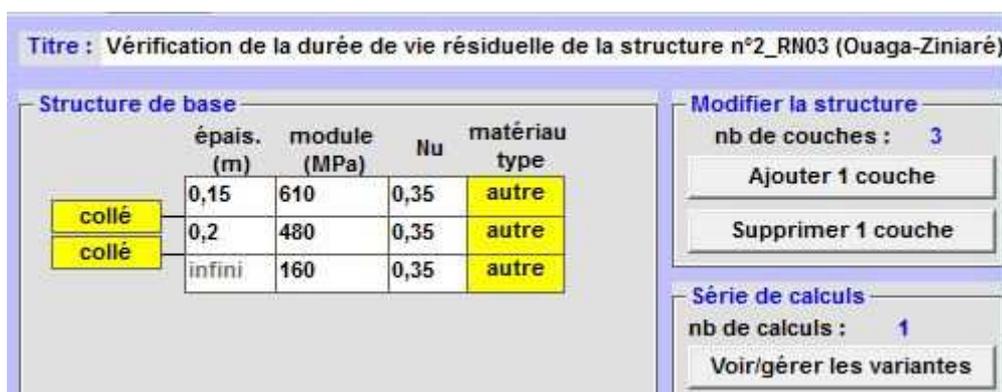


Figure 9 : Modélisation de la structure n°03

Illustration du calcul de la déformation intrinsèque de la structure n°03 :

Vérification de la durée de vie résiduelle de la structure n°2_RN03								variante 1 : Durée=00:00sec	
épais. (m)	module (MPa)	coef. Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdéf)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdéf)	SigmaZ (MPa)	Grandeurs affichées	
0,150	610,0	0,350	0,000	-114,2	0,006	312,1	0,657	<input checked="" type="radio"/> tableau 1	<input type="radio"/> tableau 2
	collé		0,150	-224,8	-0,018	553,4	0,334	<input type="radio"/> tableau 3	<input type="radio"/> tableau 4
0,200	480,0	0,350	0,350	-258,2	-0,115	327,2	0,093	<input type="radio"/> tableau 5	<input type="radio"/> tableau 6
	collé		0,350	-258,2	-0,005	568,2	0,093	<input type="radio"/> tableau 7	<input type="radio"/> tableau 8
infini	160,0	0,350							

Déflexion = 42,1 mm/100
entre-jumelage
Rdc = 140,5 m

Figure 10 : Déformation intrinsèque de la structure n°03

2. Durée de vie résiduelle de la structure n°02

A partir de cette déformation intrinsèque (figure n°14) et les données d'entrée telle que : le trafic (TMJA), le taux d'accroissement, et le coefficient d'agressivité, nous obtenons à l'aide Alizé, la durée de vie résiduelle de la structure n°02 du tronçon de route comme illustré sur cette image. Pour

The screenshot shows the 'Calcul inverse NE = f(EpsiZ)' dialog box in the Alizé software. The dialog box contains the following data:

Paramètre	Valeur
Déformation EpsiZ (µdef) ?	568,2
Trafic cumulé NE =	3,39 millions
Coefficient CAM =	1
Trafic cumulé PL =	3,39 millions
Trafic MJA =	101
Accroissement géom.(%) =	9
Durée de service (ans) =	25,84

The background window shows input data for 'Trafic PL cumulé : données' with the following checked items:

- Moyenne journalière annuelle (MJA) : 101
- Taux accroissement géométrique (%) : 9
- Taux accroissement arithmétique (%) :
- Durée de service (années) :
- Trafic cumulé PL :

Buttons visible include 'Calculer EpsiZ adm', 'Calcul inverse NE = f...', and 'Quitter Calcul inverse'.

Figure 11 : Calcul inverse de la Structure n°03

ANNEXE 4
COÛTS DU PROJET

ANNEXE 5
CARACTERISTIQUES DE L'EMPRUNT N°1

ANNEXE 6
RESULTATS DES SONDAGES GEOTECHNIQUES