ETUDE DE RENFORCEMENT DU TRONCON SAKOINSE-BOROMO (RN1-121,9 km)

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU

MASTER EN GENIE CIVIL

OPTION **:** Route et Ouvrage d'Art

Présenté et soutenu publiquement le [22/07/2015] par

BABA DAYA William

Travaux dirigés par : Dr Ismaïla GUEYE

Responsable du département Génie Civil

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Ismaïla GUEYE

Membres et correcteurs : Koffi KOKOLE

Arnaud OUEDRAOUGO

Promotion [2014/2015]

Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

Fondation 2iE - Rue de la Science - 01 BP 594 - Ouagadougou 01 - BURKINA FASO – IFU 00007748B

Tél. : (+226) 50. 49. 28. 00 - Fax : (+226) 50. 49. 28. 01 - Mail : 2ie@2ie-edu.org - **www.2ie-edu.org**

A

Mes parents FRIKI Albert et FADIMATOU TOUMBA,

La famille DOUFISSA,

Mes frères : HAMADOU AMAWISSA Didier, HABIB NGASSEN Richard et ISMAËL WABAPSA FRIKI,

Mes camarades de promotion,

Tous ceux et celles qui ont de près ou de loin contribué à la réalisation de ce projet.

SOMMAIRE

SOMMAIRE ii
AVANT-PROPOS iv
REMERCIEMENT v
RESUME vi
ABSTRACT vii
LISTES DES CIGLES ET ABREVIATIONS viii
LISTE DES TABLEAUX ix
LISTE DES FIGURES x
INTRODUCTION 1
CHAPITRE 1 : HYPOTHESES ET DONNEES DE TRAVAIL 2
1. Conception géométrique de la route 2
a) La vitesse de référence : 2
b) Contraintes liées aux tracés 2
2. Etude renforcement de la route 2
a) TMJA (Trafic journalier moyen annuel) 2
b) Coefficient d'agressivité 2
c) Coefficient de répartition transversale 3
d) La durée de mise en service 3
e) Coefficient d'agressivité moyen :CAM : 4
f) Le taux de croissance, i 4
CHAPITRE 2 : MATERIELS ET METHODES 6
1. Conception géométrique 6
a) Les paramètres cinématiques 6
b) Profil en long 8
c) Profil en travers 10
2. Etude de renforcement 10
a) Méthodologie d'auscultation de chaussée souple 11
b) Méthodologie de dimensionnement de renforcement 15
1. CHAPITRE 3 : RESULTATS 20
1. Conception géométrique 20
2. Etude de renforcement 20
a) Historique et structure actuelle de la chaussée 20
b) Etat visuels et portance 21

c) Relevé de dégradation 22
d) Portance et déflexion 22
e) Trafic 27
f) Résultat des sondages 27
3. Résultats de renforcement 30
a) Modélisation de la chaussée actuelle 30
b) Choix de la solution de renforcement 31
c) Proposition de renforcement 31
d) Paramètres du dimensionnement 32
e) Modélisation de la chaussée renforcée 32
CONCLUSION 37
BIBLIOGRAPHIE 38
ANNEXES 39

AVANT-PROPOS

L'ingénieur est une personne dotée de compétences scientifiques et techniques capable de résoudre un problème précis dans la société. Il s'apparente comme acteur pour le développement dont l'importance est d'autant plus grande que dans les pays en voie de développement. Ses missions sont variées selon les domaines auquel il appartient. C'est ainsi que dans le génie civil, ces missions sont principalement : la conception, la réalisation et l'entretien des équipements et des infrastructures nécessaire à l'amélioration du cadre de vie des populations tant en milieu urbain que rural. Ainsi, pour un rendement optimal dans l'exercice de sa profession, l'ingénieur de génie civil se doit de maîtriser non seulement les notions et concepts théoriques et pratiques propre à son domaine, mais également les notions dans les sciences humaines. Ceci pour faciliter l'intégration de ses constructions dans l'environnement et permettre acceptation par les usagers.

De ce fait, l'Institut Internationale de l'Eau de l'Environnement (2iE) Ouagadougou érigée en Fondation par le décret N°2008-429/PRES/PM/MATD/MEF du 11 juillet 2008 accordant le statut d'association d'utilité publique, est une institution académique dont l'un des objectifs principaux est la formation des Ingénieur dans différents domaines au rang desquels l'on retrouve le génie civil.

Dans le cadre de la formation d'Ingénieur l'Institut soumet ces étudiants : aux enseignements généraux, aux travaux dirigés et travaux pratiques, aux évaluations et aux examens, aux stages pratiques intégrés à la formation, au stage de mémoire, à la rédaction et la soutenance des mémoires.

C'est dans ce contexte qu'est rédigé le présent mémoire en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur Génie Civil, suite au stage effectué au sein de SOGEA SATOM Burkina via le Groupement SOGEA-SATOM/DTP terrassement sur le projet de renforcement de la RN1 tronçon Sakoinse-Borormo sous le thème « Etude de renforcement de la RN1 tronçon Sakoinse-Boromo et planification et suivi des ouvrages d'assainissement »

REMERCIEMENT

Qu'il me soit permit tout d'abord d'adresser mes très sincères remerciements à monsieur Robin TESTO-FERRY Directeur de l'agence SOGEA-SATOM Burkina et Mme Louise GUINDO Chargée des Ressources Humaine SOGEA-SATOM Afrique de l'Ouest, pour m'avoir accueilli en tant que Stagiaire dans la prestigieuse entreprise à laquelle ils appartiennent.

Je remercie tout naturellement mon encadreur de mémoire, Cédric TOUGNE d'avoir été plus qu'un encadreur ; la confiance qu'il m'a accordé et la pertinence de ses conseils m'ont beaucoup aidé pour amener à bien ce mémoire. Je n'oublie pas Rodrigue TASSEMBEDO et Paul ZOUNGRANA pour avoir toujours été là pour moi. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma reconnaissance.

Je voudrais aussi témoigner toute ma reconnaissance au personnel du Groupement SOGEA-SATOM /DTP terrassement RN1 qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à la réussite de ce mémoire.

Toute ma gratitude va à mon encadreur académique Dr Imaïla GUEYE Responsable du Cycle Master Génie Civil, ceci pour avoir accepté d'encadrer mes travaux de mémoire.

Mes remerciements vont également à toute l'administration et du corps enseignant de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et l'Environnement pour tous les efforts déployés quotidiennement pour assurer une formation de qualité et à la hauteur des attentes du monde professionnel.

.

RESUME

L'objet de notre étude s'inscrit dans le cadre du programme de désenclavement interne et externe national du Burkina Faso à travers la réhabilitation de ses infrastructures. En effet, après l'appel d'offre ouvert l'Etat Burkinabé par l'entremise du ministère des infrastructures et du désenclavement, a octroyé la réalisation des travaux de renforcement de la route nationale N° 1, tronçon Sakoinse-Boromo sur une distance de 121,9 km au groupement DTP terrassement/Sogea Satom.

Le présent mémoire traite l'étude de renforcement du corps de chaussée du dit tronçon. Il établit l'auscultation de la chaussée, le diagnostic, la solution pour la remise en état de la chaussée et la vérification par modélisation et la comparaison des contraintes et déformations limites par le biais du logiciel Alizée-LCPC.

Au terme de cette étude il en ressort que l'ancienne structure de chaussée composé d'un enduit superficiel en couche de roulement, d'une GNT en couche de base et de fondation respectivement de 15cm et 20cm, on passe à une structure de 5 cm de BB en couche de roulement, 8 cm de GB et 20 cm de GLC en fondation, pour un coût total de 32.135.571.075 F CFA.

Mots clés :

1. Travaux
2. Renforcement
3. Chaussée
4. Sakoinse-Bormo

ABSTRACT

This study work inscribes itself as part of a national program in Burkina Faso, having as aim an internal and external opening-up, through the rehabilitation of its infrastructure. Indeed, after an open tender, the Burkina Faso state via her ministry of infrastructures and opening-up, assigned to the group of enterprises; DTP and Sogea-Satom, to reinforce the national road No. 1, SAKOINSÉ-BOROMO, which stretches over a distance 121,9 km.

This report mainly focuses on the reinforcement of the pavement structure of the said section. It establishes auscultation of the pavement, the diagnosis, the solutions for the rehabilitation of the pavement and the verifications by modeling and comparison of stress and strain limits through *Alizé-LCPC software*.

At the end of the study work, it appeared that, the previous pavement structure consists of a surface dressing in working layer, a base layer GNT and foundation 15cm and 20cm respectively, passes to a structure 5 cm asphaltic concrete surface course, 8 cm of gravel bitumen and 20 cm crushed laterite grave for the basement, for an amount of 32,135,571,075 FCFA.

Mots clés :

1. Works
2. Reinforcement
3. Structure
4. Road
5. Sakoinse-Boromo

LISTE DES CIGLES ET ABREVIATIONS

BB Béton Bitumineux

C.B.R Californian Bearing Ratio

CAM Coefficient d'Agressivité Moyenne

CEBTP Centre Expérimentale de Recherche et d'études du Bâtiment et Travaux Publics

EB Emulsion de Bitume

GB Grave Bitume

GLC Grave latéritique amélioré au ciment

GLNT Grave Latéritique Non Traité

i taux d'accroissement moyen

LNBTP Laboratoire National du Bâtiment et Travaux Publics

O.P.M. Optimum Proctor Modifié

PK Point Kilométrique

Qi Qualité de chaussée de classe i

RN1 Route Nationale N° 1

Ti Trafic de classe i

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1Hypothèses sur le trafic 2
Tableau 2Valeur de « r »-répartition transversale des sollicitations 3
Tableau 3Choix de rayons (source : guide pratiques de dimensionnement des routes et autoroutes) . 6
Tableau 4 Choix des caractéristiques pour profil en long 8
Tableau 5 Tableau de qualités des chaussées et des solutions envisageables 11
Tableau 6 Grille de combinaison Déformations-Fissures 12
Tableau 7Tableau de corrélation entre le niveau de dégradation et le niveau de déflexion 13
Tableau 8 Grille de décisions 14
Tableau 9 Tableau de synthèse des solutions applicables 17
Tableau 10 Configuration de l'ancienne structure de la chaussée 20
Tableau 11 Correspondance des module de rigidité des couches de la chaussée existante 30
Tableau 12 Modélisation de la chaussée renforcée 32

LISTE DES FIGURES

Figure 1Configuration de la charge pour un essieu standard 13 tonnes 5
Figure 2Choix des devers (source : guide pratiques de dimensionnement des routes et autoroutes) ..7
Figure 3 Illustration de raccordement progressif (source : guide pratiques de dimensionnement des routes et autoroutes) 7
Figure 4 Raccordement circulaires 9
Figure 5 Raccordement circulaire p1 et p2 de signe contraires 9
Figure 6Raccordement circulaire p1 et p2 de mêmes signes 10
Figure 7 Echelle d'appréciation de l'état apparent de la chaussée.....12
Figure 8 Mode de diffusion des contraintes.....16
Figure 9 Démarche générale du dimensionnement mécanique selon Alizé-LCPC 18
Figure 10 Evolution des déflexions caractéristiques entre 2001 et 2009 source rapport géotechnique 23
Figure 11 Evolution des déflexions caractéristiques entre 2004 et 2009 source rapport géotechnique 24
Figure 12 Evolution des déflexions caractéristiques entre 2001 chaussée entière et 2004 – 2009 voie de droite entre 2004 et 2009-soucer rapport géotechnique 25
Figure 13 Formule d'expression du trafic (source CEBTP, 1984) 27
Figure 14 Déflexion caractéristique en fonction du PK.....30

INTRODUCTION

Le développement d'un pays s'apprécie par de nombreux indicateurs. Parmi ces indicateurs, les infrastructures dont il dispose occupent une place de choix principalement la route. Cette dernière se définie comme une voie terrestre aménagée pour permettre la circulation aisée des personnes et des biens.

Du fait de son importance, il est nécessaire que cette infrastructure soit convenablement réalisée suivant des normes, et au meilleur coût. Ceci pour permettre le déplacement d'un point à un autre, des personnes et des biens en tout temps et dans les meilleures conditions de confort et de sécurité pour une durée de vie définie.

Toutefois, il arrive que cette période atteigne son terme, ou que le trafic pour lequel elle a été dimensionnée soit dépassé. Alors il survient des dégradations qui empêchent la route d'assurer les fonctions auxquelles elle est destinée. C'est le cas de la route nationale N°1 du Burkina Faso.

Ainsi, à travers son programme intensif de désenclavement interne et externe national, l'Etat Burkinabé lance les travaux de renforcement de la Route Nationale 1-tronçon Sakoinse-Boromo-Route Communautaire CU 2a attribués à SOGEA SATOM structure d'accueil. C'est dans ce contexte que s'intègre ce mémoire sous le thème « Etude de renforcement du tronçon Sakoinse-Boromo »

En effet, il sera question dans ce document de déterminer, justifier, concevoir et quantifier la nature des interventions à opérer sur le tronçon. Ceci comprend : l'auscultation de l'état de la chaussée existante, l'évaluation du niveau de dégradations et les solutions à apporter, pour finir avec une évaluation du coût du la solution proposée. Pour une meilleure appréhension de ce travail, le présent mémoire met en évidence en trois chapitres distincts:

- les hypothèses et les données de travail ;
- la méthodologie et les moyens employés ;
- les résultats issus de l'étude.

CHAPITRE 1 : HYPOTHESES ET DONNEES DE TRAVAIL

1. Conception géométrique de la route

a) La vitesse de référence :

C'est la vitesse à laquelle un automobiliste traverse les points ayant des caractéristiques géométriques les plus contraignants d'une section de route en toute sécurité. Elle est le critère principal de la conception d'une route. Dans le cadre de ce projet elle a été fixée à **100 km/h.**

b) Contraintes liées aux tracés

Les principales contraintes de ce projet sont :

- Le tracé en plan existant ne doit pas être modifié ;
- La ligne rouge projetée doit être confondue le maximum possible à la ligne rouge existante étant donné que c'est un renforcement.

2. Etude renforcement de la route

a) TMJA (Trafic journalier moyen annuel)

L'année pendant laquelle s'est déroulé le comptage est 2012. Ainsi, pour l'estimation du trafic quelques hypothèses ont été faites :

Tableau 1Hypothèses sur le trafic

TMJA 2012	Hypothèse basse	Hypothèse moyenne	Hypothèse haute
Descente	171	205	209 à 211
Montée	180	213 à 255	195 à 284

b) Coefficient d'agressivité

Le nombre de poids lourds recensés ou pris en compte au cours de l'année de mise en service doit être affecté d'un coefficient qui traduit l'agressivité du trafic sur l'itinéraire considéré.

Le coefficient d'agressivité est exprimé par le nombre d'essieu standard auquel équivaut le poids lourd « type » qui circule sur la route, ou l'essieu légal autorisé dans le pays.

Au Burkina Faso il est de 13 tonnes

Dans le cadre de ce projet, il s'agit d'une chaussée souple d'où la formule :

$$A = \left(\frac{P}{13}\right)^4$$

c) Coefficient de répartition transversale

La configuration des routes c'est-à-dire : 2 voies parfois étroites à 2 fois 3 voies ou plus conduit à une répartition transversale des sollicitations des chaussées. Les règles suivantes seront optées :

Tableau 2Valeur de « r »-répartition transversale des sollicitations

Type de configuration	Valeur de r
Routes bidirectionnelles de largeur de ≥ 6 m	1
Routes bidirectionnelles de largeur de ≤ 5 m	1,5
Routes unidirectionnelles	1
Route à 2 fois 2 voies	0,9
Route à 2 fois 3 voies	0,8

Dans le cas présent, la route en question est sous deux types de configurations à savoir : route bidirectionnelle de largeur ≥ 6 m en rase campagne et route à 2 fois 2 voies en zone urbaines.

Nous opterons pour une valeur de :

$r = 1$

d) La durée de mise en service

Pour le trafic passé, la durée de service correspond au nombre d'années qui se sont écoulées entre la date de première mise en circulation de la route et le date à laquelle le projet de renforcement est étudié.

Pour le calcul du trafic, futur, la durée de service correspond au nombre d'année pour lequel le renforcement doit être conçu. Elle représente la période au cours de laquelle on n'aura pas en principe, à effectuer d'entretien de routine.

Le choix de cette durée de service est fonction de la stratégie de dimensionnement que l'on adopte. Celle-ci doit se faire en tenant compte d'un certain nombre de facteur tels que :

- L'intensité du trafic
- La location de la route (en rase campagne ou en zone urbaine)
- .sa destination ou vocation
- Le niveau de service souhaité pour les usagers,
- L'importance des crédits alloués
- Les possibilités de financement pour la réhabilitation des entretiens ou renforcement ultérieurs,
- L'existence des moyens ou facilités permettant de réaliser convenablement des campagnes de suivi du réseau.

Au vu de toutes les indications suscitées, la durée de vie a été prise à :

$$n = 15 \text{ ans}$$

e) Coefficient d'agressivité moyen :CAM :

Dans le cadre de cette étude le coefficient d'agressivité moyen sera pris égal à 0,967 considérant 20% de poids lourds surchargé à 10 % (source rapport géotechnique)

f) Le taux de croissance, i

Généralement il est obtenu à partir des résultats de comptage annuels lorsque ces informations existent. Dans le cas contraire, on pourra se basé sur toute étude régionale concernant l'évolution du trafic et de l'économie ou raisonner à partir des considérations sur les conditions d'exploitation de la route.

Dans les pays en voie de développement, ce taux peut varier entre 4% et 15 %. En règle générale et lorsque l'on ne dispose pas d'informations précise sur l'évolution du trafic, on retient un taux compris entre 5 % et 10%.

Cependant, dans le cadre ce projet on retiendra :

$$i = 7\%$$

g) Charge de référence pour les calculs de structures

Comme mentionné ultérieurement, l'essieu standard pris en compte dans ce manuel étant l'essieu de 13 tonnes, le calcul des contraintes et des déformations au sein des structures renforcées est effectué pour un jumelage type de 6,5 tonnes exerçant une pression verticale « q » uniformément répartie sur deux cercles de rayon « a » dont les centre sont distants de « l ». On admet que :

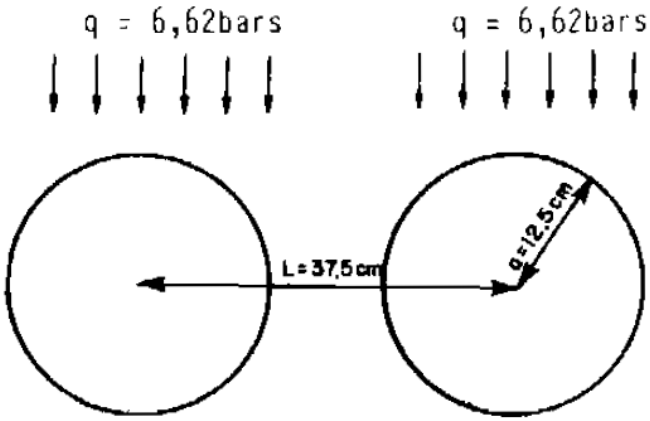
$a = 12,5$ cm

$l = 3 \times a = 37,5$ cm

$q = 6,62$ bars

La charge de référence pour les calculs est représentée par la figure ci-dessous :

Figure 1Configuration de la charge pour un essieu standard 13 tonnes



CHAPITRE 2 : MATERIELS ET METHODES

1. Conception géométrique

La conception géométrique bien qu'elle n'a pas eue de modification significative, elle s'est effectuée conformément aux prinscriptions du guide pratique du dimensionnement des routes et autoroutes et du logiciel COVADIS

Ainsi nous pouvons détailler la procédure comme suit :

a) Les paramètres cinématiques

Les paramètres cinématique découle de la vitesse de référence qui comme mentionner dans le chapitre précédent est de 100 km/h, ce qui donne les paramètres du Tracé en plan et du profil en long consignés dans les tableaux qui suivent :

i. Tracé en plan :

Le tableau 3 , en fonction de la vitesse de référence 100 km/h donne les caractéristiques du tracé en plan considérés .

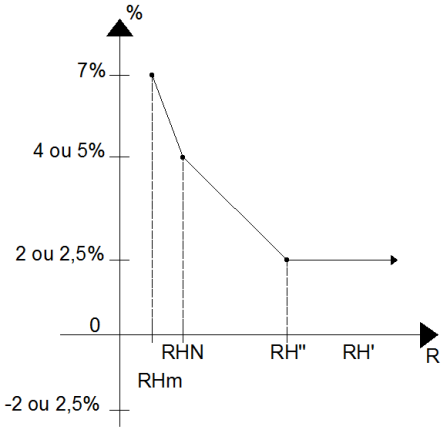
Tableau 3Choix de rayons (source : guide pratiques de dimensionnement des routes et autoroutes)

Vitesse de référence (vr)	40	50	80	100	120
Rayon minimal absolu RHm dévers associé :7%)	40	120	240	425	665
Rayon minimal normal RHN	120 (5 %)	240 (5 %)	425 (5%)	565 (4 %)	1000 (4 %)
Rayon au dévers minimal Rh" dévers associé: BB: 2,5%; 2%)	250 300	450 500	650 700	900 1000	1500 1500
Rayon non déversé RH' (dévers associé:-2,5% ou 2%)	400	600	900	1300	1800

ii. Choix des devers :

De plus, toujours pour les choix des caractéristiques, la figure 2 renseigne sur les dévers selon le rayon choisit :

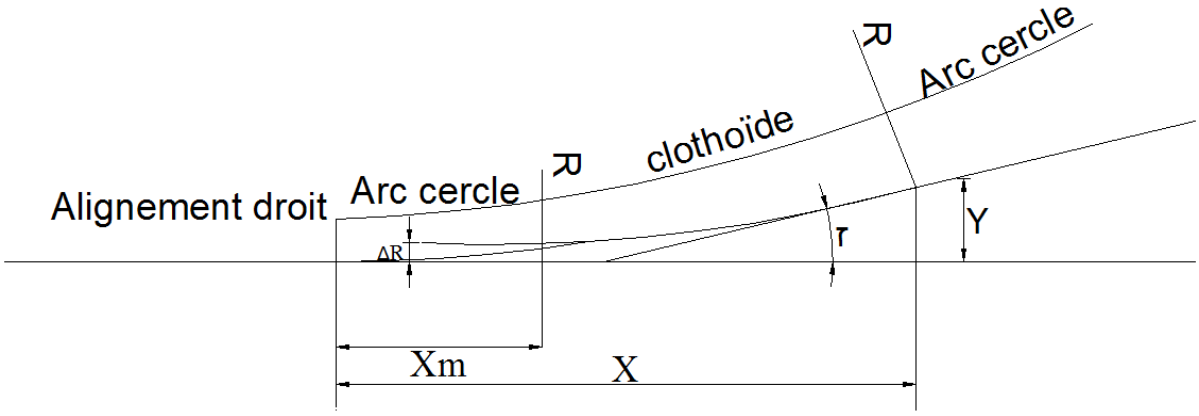
Figure 2Choix des devers (source : guide pratiques de dimensionnement des routes et autoroutes)



iii. Choix des longueurs de raccordement progressif

Parfois, les rayons indiqués ne s'insèrent pas convenablement dans le tracé, alors dans ce cas on fait appel au raccordement progressif tel illustré sur la figure 3.

Figure 3 Illustration de raccordement progressif (source : guide pratiques de dimensionnement des routes et autoroutes)



Pour le choix des longueurs de raccordement, il convient respecter quelques conditions :

$$A^2=LR \;;\; \Delta R=\frac{L^2}{24\,R};\; \tau=\frac{L}{2R}$$

$$\text{Si } \tau \le \frac{1}{10}\text{rd} \begin{cases} X=L & X=L/2 \\ Y=4\,\Delta R & Y=\Delta R/2 \end{cases}$$

En plus des conditions suscitées, il faudra aussi que la longueur L de clothoïde doit être telle que les conditions de confort optique et de gauchissement soit vérifiées :

- Confort ; $L \geq \frac{R}{9}$ avec $\Delta R \geq 0{,}50$

- Gauchissement ; $L \geq \frac{d_1 + d_2}{2} \times Vr \times \frac{1000}{3600}$ $\begin{cases} L \text{ en m} \\ Vr \text{ en km/h} \\ d_1 \text{et } d_2 \text{ en cm/m} \end{cases}$

b) Profil en long

Le profil en long tout comme le tracé en plan présente des caractéristiques obtenues à partir de la vitesse de référence.

i. Choix des caractéristiques

Le tableau 4 ci-dessous présente les caractéristiques du profil en long fonction de la vitesse de référence 100km/h.

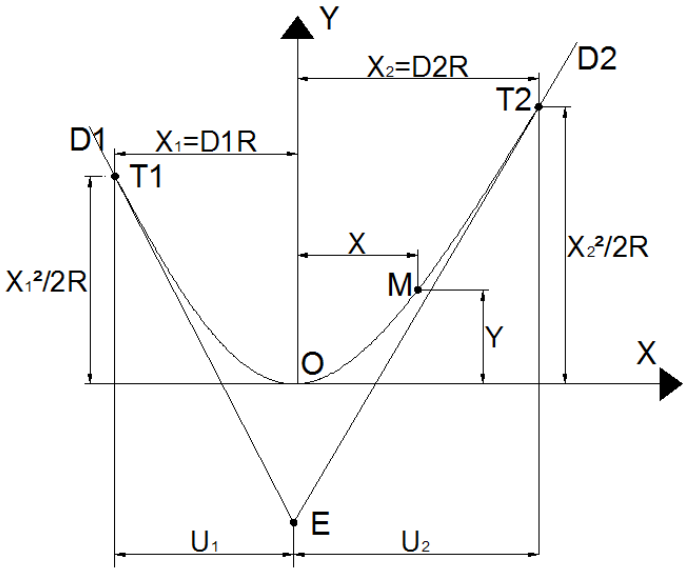
Tableau 4 Choix des caractéristiques pour profil en long

Vitesse de référence (Vr)			40	60	80	100	120
Déclivité maximale			8%	7%	6%	5%	4%
Rayon en angle saillant	minimal absolu	2 V OU 3 V	500	1600	4500	10000	-
		4 V ou 2X2 V	500	1500	3000	6000	12000
	minimal normal	2 V OU 3 V	1600	4500	10000	17000	-
		4 V ou 2X2 V	1500	3000	6000	12000	12000
Rayon en angle rentrant	minimal absolu	toutes routes	700	1500	2200	3000	4200
	minimal normal		1500	2200	3000	4200	6000
Rayons assurant le dépassement sur route à 2 Voies			2500	6500	11000	17000	28000

ii. Calcule des raccordements circulaires

Les rayons utilisés étant très grand et les déclivités très petites on assimile le cercle à la parabole.

Figure 4 Raccordement circulaires



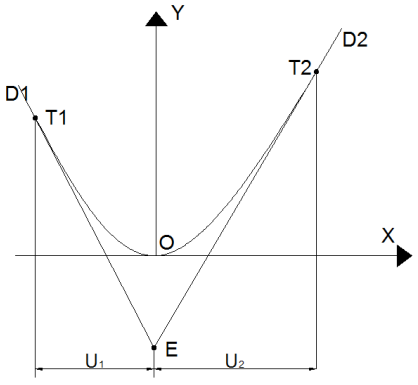
$$Y=\frac{x^2}{2R}$$

$$Y'=\frac{x}{R}$$

$$\begin{cases} p_1=\frac{x_1}{R} \\ p_2=\frac{x_1}{R} \end{cases}$$

1 er cas p1 et p2 sont de signes contraires

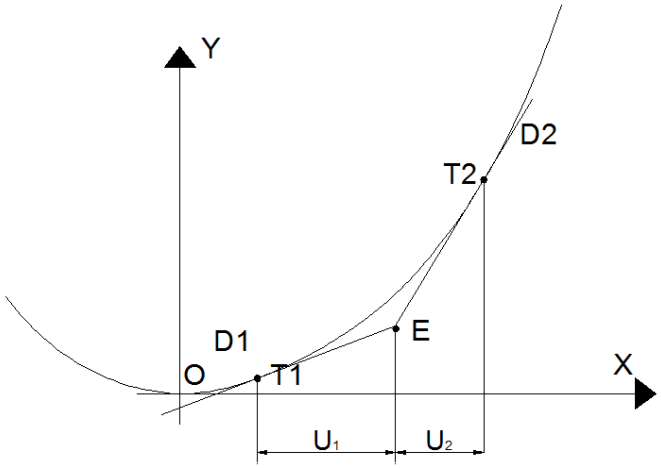
Figure 5 Raccordement circulaire p1 et p2 de signe contraires



$$U_1=U_2=\frac{R}{2}(p_1+p_2)$$

2 ème cas p1 et p2 sont de même signes

Figure 6Raccordement circulaire p1 et p2 de mêmes signes



$$U_1 = U_2 = \frac{R}{2}(p_1 - p_2)$$

iii. Principe

A partir de la polygonale du profil en long et des pentes p1 et p2 on détermine tout d'abord les coordonnées du point E, on cherche en suite les points T1 ou T2 trouvé précédemment en utilisant $x_1 = p_1 R$ ou $x_2 = p_2 R$. Les coordonnées d'un point quelconque M de la parabole seront trouvé en se fixant à partir du point O et en déterminant la valeur de y correspondante $\left(\frac{x^2}{2R}\right)$.

c) Profil en travers

Pour le profil en travers ce sont à la fois les règles de conception en rase campagne et en milieu urbain qui ont été adoptées. (Confère guide pratique pour la conception géométrique des routes et autoroutes).

2. Etude de renforcement

La méthode des renforcements proposés s'appuie sur une analyse multicritères dans laquelle la valeur de la déflexion est intégrée à une synthèse de toutes les autres données concernant la route à savoir : l'état de surface, l'uni, l'analyse des dégradations observées , la nature du corps de chaussée.

Le dimensionnement des solutions de renforcement accorde une place importante à l'empirisme et à des solutions issues de l'observation sur la tenue des chaussées pour ce qui concerne les routes à

faible circulation nécessitant un renforcement en grave non traité et s'appuie, d'autre part, sur les méthodes rationnelles précisément le modèle Alizé de L.C.P.C.) Pour les renforcements utilisant des matériaux traités soit au bitume soit aux liants hydrauliques.

a) Méthodologie d'auscultation de chaussée souple

La méthodologie d'étude propose un découpage de l'itinéraire en tronçon homogène de par leurs structures, leurs portances, leurs niveaux de dégradations et les trafics qui les parcourent. L'étude permet ainsi d'évaluer en pourcentages la qualité des chaussées, ce qui détermine les différentes solutions :

Tableau 5 Tableau de qualités des chaussées et des solutions envisageables

Qualité des chaussées	Bon ou assez bon état	Etat médiocre	Mauvais état
Solution de remise en état	Entretient Immédiat ou Différé	Rechargement	Renfoncement

L'analyse de la qualité des structures s'effectue en trois étapes :

i. Historique de la chaussée : construction et entretient courant

Dans cette étape renseigne sur les problèmes de terrain : nature et intensité des trafics, tenue des structures de chaussée, difficulté d'entretien, possibilités locales (matériaux disponible et entreprises compétentes).

Investigation sur le terrain divisé en deux phases :

❖ *1ère phase : état visuel et portance*

✓ Etat visuel

L'état visuel consiste en un relevé des dégradations en continu tandis que la portance consiste en la mesure de déflexions si possible en continu. On s'attachera d'une part à ne pas répertorier que les dégradations répétitives internant des sections assez importantes, d'autre part à dégager celles caractérisant les problèmes majeurs affectant les structures ou les couches de surface

A partir des relevés de dégradations, on distinguera trois catégories de section de chaussées :

- les sections en bon état apparent,
- les sections fissurées ou maillées. La situation, l'aspect et la densité des fissures peut en déterminer l'origine : fatigue des couches de surface, retrait, qualité de structures etc.

- les sections plus ou moins déformées (flaches, affaissements et orniérage), les déformations ayant entrainé la fissuration de la couche de roulement si celle-ci est relativement ancienne.

Pour quantifier la qualité apparente des chaussées, on adopte une notation qui compare le linéaire d'itinéraire atteint par les dégradations à la longueur de la section unitaire prise en compte.

- 1 pour moins de 10% de dégradations
- 2 pour 10 à 50% de dégradations
- 3 pour plus de 50 % de dégradations.

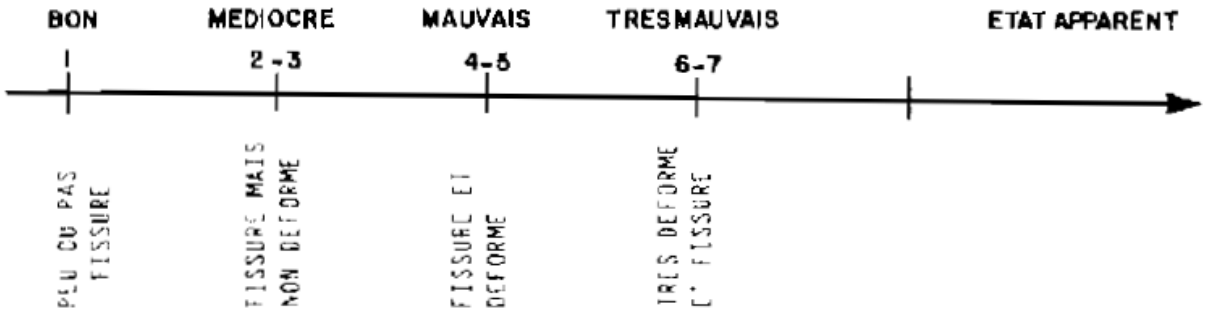
Par combinaison des deux types de dégradations on obtient la grille ci-dessous qui chiffre la qualité apparente d'une section de chaussée.

Tableau 6 Grille de combinaison Déformations-Fissures

Fissures / Def	1	2	3
1	1	2	3
2	3*	4	5
3	5*	6	7

*Cas les plus rares

Figure 7 Echelle d'appréciation de l'état apparent de la chaussée



✓ Portance-déflexion

La portance d'une structure souple se défini comme son aptitude à travailler au poinçonnement sous une charge appliquée, mesurée par la valeur de la déflexion qui est l'affaissement constituée du jumelage simple de l'essieu maximal autorisé c'est-à-dire 13 tonnes dans le cas du Burkina Faso.

Ainsi dans le cadre du présent projet, la campagne de mesure de déflexion a été réalisée durant la première quinzaine du mois de mai 2009, c'est-à-dire dans la deuxième moitié de la saison sèche par le Laboratoire National du Bâtiment et Tavaux Publics (LNBTP), à l'aide d'une poutre «

Benkelman » et sous un charge de 13 tonnes. De plus, les mesures de déflexions ont été réalisées en quinconce ; suivant un pas régulier de 50 m.

✓ Déflexion caractéristique

La valeur de la déflexion retenue pour les sections unitaires de quelques centaines de mètres de longueur est calculé en gommant les accidents de portance très ponctuels, avec la formule ;

$m + k\sigma$

m= valeur moyenne sur la section considérée

σ=écart type

k=coefficient de probabilité prédéterminé

On a donc : $d_c = m + k\sigma$

✓ Calage des résultats

Cependant, il faut noter que la valeur de la déflexion est sensible à l'environnement géologique et climatique, ainsi qu'à la nature des matériaux constituant les chaussées souples et leur support. Ainsi, bien que la déflexion à elle seule ne puisse être adoptée comme seul critère de décision, il convient donc de définir le contexte des mesures.

Une fois les conditions de mesures définies, on cherchera à établir la corrélation entre le niveau des dégradations sur un itinéraire et le niveau de déflexion. L'exploitation statistique de ces deux paramètres pour un itinéraire, situé dans une unité géologique et climatique, donne les valeurs de seuils de déflexion critiques :

- d1 : valeur au-dessous de laquelle on considère que la structure se comporte de manière satisfaisante.
- d2 : valeur au-dessous de laquelle on considère que la structure présente de sérieux défauts de portance.

D'où la présentation schématique ci-dessous :

Tableau 7Tableau de corrélation entre le niveau de dégradation et le niveau de déflexion

Déflexion	Faible d_1		d_2 Forte
Portance	Elevée	Médiocre	Faible
Qualité des structures	Bonne	Douteuse	Mauvaise

La comparaison des deux paramètres débouche sur une grille dite : « grille de décision » qui oriente le choix des solutions :

Tableau 8 Grille de décisions

Etat apparent \ Déflexion		Faible d1		d2 Elevé
Bon	1	Q1	Q2	Q3
Fissuré non déformé	2-3	Q2	Q3	Q4
Déformé	4-7	Q3	Q4	Q5

Entretien

Renforcement

La qualité Qi des infrastructures en rapport direct avec la solution appliqué est en première analyse déterminée par le couple (déflexion, état apparent). A chaque Qi, pour i variant de 1 à 5 comme indiqué sur la grille, correspond une solution de remise en état de la structure.

❖ *2ème phase : sondages*

Lors des sondages plusieurs informations sont collectées telles que ; les épaisseurs en place, les caractéristiques géotechniques des matériaux de chaussées et de support, les teneurs en eau en place.

✓ Les analyses complémentaires

Elles peuvent servir un caractère général (environnement climatique et géologique du tracé, géométrique topographie), soit traiter des problèmes ponctuelles tels que le drainage ou l'assainissement (nappes affleurantes, venues d'eau sources), la qualité de l'uni (déflachages et reprofilages).

✓ Structures

La qualité de la structure et l'épaisseur effective du corps de chaussée sont définies par les sondages. Au cours des sondages, des prélèvements sont effectués pour l'analyse des matériaux du corps de chaussée et du support. Ils sont réalisés en Ils ont été répartis d'une part sur les tronçons relativement homogènes identifiés et sur les zones de dégradations spécifiques par ailleurs, les Prélèvements ont été réalisé systématiquement sur les matériaux des couches de base et fondation en graveleux latéritique et du sol support. Les Echantillonnage pour essais ont été récupérés ainsi qu'il suit :

- PK début au PK 35+400 : 6 sondages, 1 tous les 6 km ;
- PK 35+400-85+400 : 20 sondages, 1 tous les 2,5 km ;
- PK 85+400-121+900 : 14 sondages, 1 tous les 2,5 km.

Des Points singuliers ont été répertoriés, et 2 sondages ont été réalisés pour chacun de ces points respectivement

- PK 36+400-37+400 Faïençages prononcés avec affaissements ;
- PK 41+100-41+200 Fissures, affaissement, nids de poules et réparations ;
- PK 49+850-50+150 Réparations en pleine chaussée ;
- PK 66+400-67+400 Fluage, ressuage et orniérages.

b) Méthodologie de dimensionnement de renforcement

La méthode de calcul des renforcements proposée dans le présent document sera adaptée aux caractéristiques des structures à construire :

- pour les couches non traitées, elle partira des considérations empiriques, mais on procèdera à une vérification du dimensionnement par la méthode rationnelle Alizé,
- pour les couches traitées, elle sera directement inspirée d'Alizé.

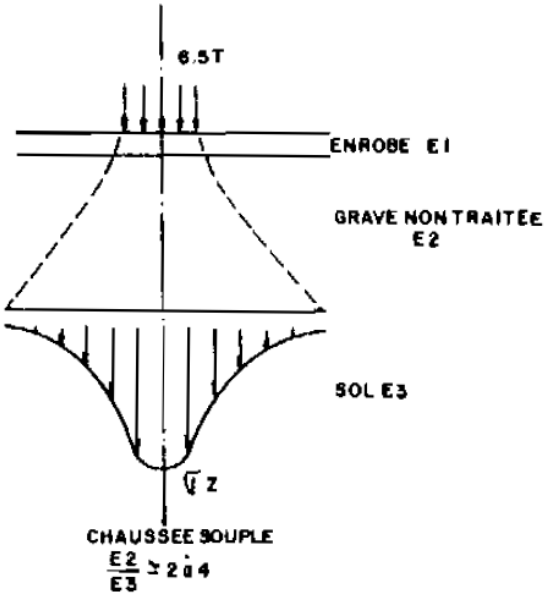
i. Méthode de dimensionnement des couches non traitées : considérations empiriques

✓ Objectif et Principe de la méthode :

Le but premier du dimensionnement d'une structure souple est la limitation de la sollicitation du sol support, de manière à éviter sa plastification qui entraînerait des déformations de la chaussée ; d'où l'importance de la réduction des efforts de poinçonnement.

La diffusion des contraintes est telle indiqué sur la figure 8 ci-après

Figure 8 Mode de diffusion des contraintes



- ✓ Méthode de renforcement proprement dite :
  - Résultats expérimentaux

De nombreuses expériences acquises par le suivi de sections expérimentales montrent que des structures non traitées peuvent être jugées satisfaisantes jusqu'à un niveau de trafic global sur la chaussée inférieur à $N=2.10^6$ essieux équivalents de 13 t, c'est-à-dire de trafic T_1 et T_2.

Généralement les chaussées revêtues d'enduit superficiel résistent moins bien aux agressions du trafic que celles revêtue des tapis sable (sand-asphalt) ou d'enrobé dense. Pour fixer un ordre de grandeur on situera, par expérience, la limite d'utilisation des enduits à des trafics N de 2 à 3.10^5 et celles des tapis sable ou d'enrobé mince à des trafics d'ordre de 10^6.

Dans tous les cas, on peut admettre que la limite de bon comportement des structures non traitées, se situe entre 7.10^5 et 10^6. Essieux équivalents dans un sens de circulation.

- Evaluation des épaisseurs de renforcement G.N.T

La déflexion sur la chaussée étant proportionnelle à la sollicitation sur le support, on écrit :

$$d=k\,\varepsilon_z \approx k\frac{\sigma_z}{E_{sol}}$$

Limiter les sollicitations sur le support revient donc à limiter la déflexion sur la chaussée.

Renforcer reviendra donc à réduire les efforts sur le support, donc la déflexion sur la chaussée.

Comme renforcement selon le manuel de renforcement des chaussé souple pour les pays tropicaux on a :

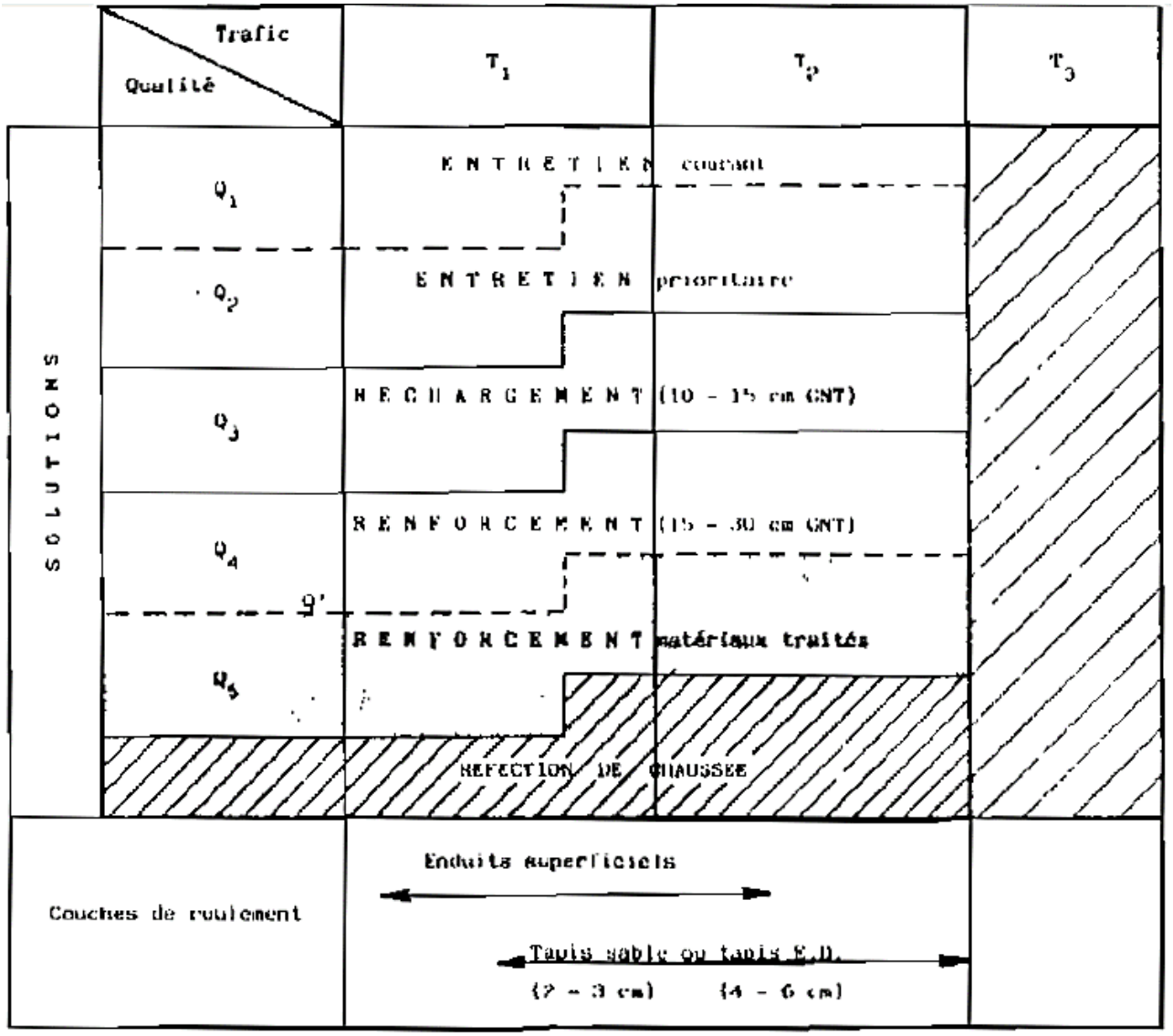
- le choix de couche de renforcement de 20 à 30 cm d'épaisseur paraît raisonnable et est effectivement confirmé par l'expérience et le suivi de comportement de telles structures.
- Le choix de couches de rechargement de 10 à 15 cm d'épaisseur
- Pour l'entretien, il s'agira de renouveler les couches de roulement

- Tableau de synthèse-Solutions applicables

Il tient compte :

- Des classes de trafic considérées,
- Des seuils de qualité Q1 à Q5 considérés également dans la méthodologie d'auscultation

Tableau 9 Tableau de synthèse des solutions applicables



ii. Méthode Alizée-LCPC

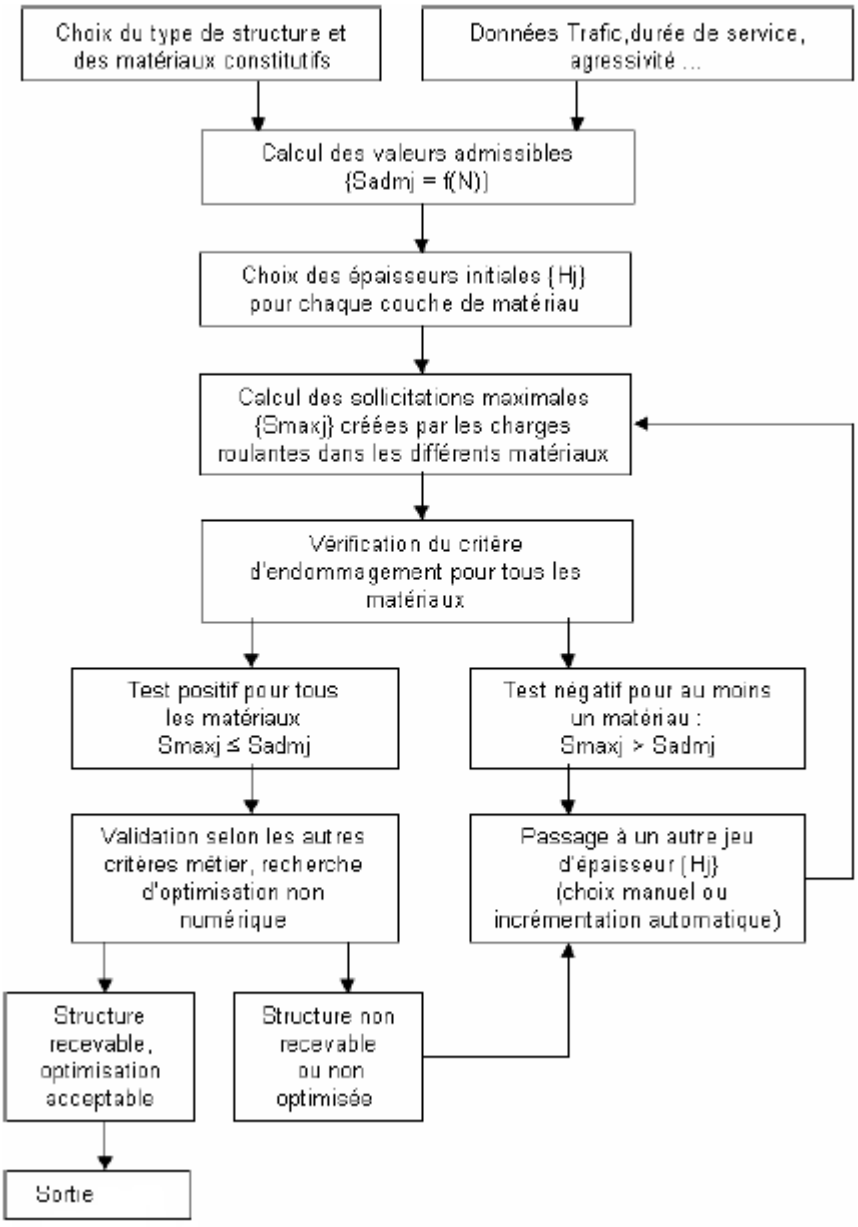
✓ Objectif et principe de la méthode

Le principe du calcul consiste en priorité à modéliser de manière à évaluer les contraintes ou les déplacements provoqués par une charge type unitaire (13 tonnes dans le cas présent). On recherche en suite 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 le calcul afin de déterminer celle qui correspond à la contrainte ou déformation admissible du matériau.

Le principe de dimensionnement peut s'illustrer selon le schéma ci-dessus.

Figure 9 Démarche générale du dimensionnement mécanique selon Alizé-LCPC



Le logiciel Alizé-LCPC permet de calculer sous une ou plusieurs charges circulaires les déplacements, les contraintes et déformations en différents points d'un point de massif semi-infini.
Le logiciel Alizée-LCPC est fondé sur quelques hypothèses :

- La structure d'une chaussée est déterminée par n couches d'épaisseur finies (sauf la dernière) et infinies en plan,
- Les matériaux ont un comportement élastique et linéaire,
- Les contraintes sont des pressions ou des cisaillements.

Chaque couche de chaussée est caractérisée par quatre paramètres de base :

- L'épaisseur h_i,
- Le module E_i,
- Le coefficient de poisson υ_i,
- La nature des liaisons entre deux couches consécutives.

CHAPITRE 3 : RESULTATS

1. Conception géométrique

Le tracé en plan reste inchangé, par contre le profil en long et les profils en travers ont été modifié (pour les profils en travers confère annexe 8).

2. Etude de renforcement

a) Historique et structure actuelle de la chaussée

i. Corps de chaussée

La structure de la chaussée est constituée de 2 couches d'assises en grave latéritique : de 15et 20 cm reposant sur une couche de forme de 30 cm environ, également en graveleux latéritique. Elle est revêtue d'un enduit superficiel soit tricouche, soit bicouche.

Il faut noter que la construction de la chaussée date de 1982. De plus, la structure actuelle est le résultat d'un renforcement effectué en 2001. Celui-ci à consister à recycler l'ancienne couche de base pour en faire la couche fondation et apporter une couche de base neuve.

ii. Revêtement

Comme mentionné ci-dessus, est soit un bicouche prégraviollonné ou un bicouche standard. Ce revêtement est disposé selon la configuration suivante :

Tableau 10 configuration de l'ancienne structure de la chaussée

Tronçon	Revêtement	Accotements
PK 0 + 00 ⟶ PK 37 + 625	Bicouche prégravillonné avec des accotements d'un monocouche de 50 cm de part et d'autre	Monocouche de 50 cm de part et d'autre
PK 37 + 625 ⟶ PK 114 + 850	Bicouche standard	Pas de revêtement sur accotement
PK 114 + 850 ⟶ PK 116 +100	Bicouche prégravillonné	
PK 116 + 100 ⟶ PK 121 + 900	Bicouche standard	

b) Etat visuels et portance

Suite aux relevés visuels réalisés sur la chaussée, il en ressort la description détaillée par section suivante :

i. Section 1 : PK 0 à PK 35 + 625.

Elle est en bon état apparent.

L'enduit présente une usure assez variable, de non usé à moyennement usé, notamment en axe, mais les arrachements superficiels ou le peignage constaté par endroits ne se traduisent pas encore par des entrées d'eau ou des remontées de fines latéritiques. On note également des zones de ressuage et quelques nids de poule ainsi que quelques réparations ponctuelles.

Les profils en long et en travers sont peu déformés. On ne constate pas ou très peu d'affaissements de rives ou d'ornières. De plus quelques fissures sont observées.

ii. Section 2 : PK 35+400 à PK 85+400

L'état de cette section est visuellement très médiocre. L'enduit est fortement usé et laisse passer l'eau ; il existe des remontées de fines latéritiques. Là aussi l'axe de chaussée est un point très faible (probable problème de sous dosage à la réalisation).

De nombreuses réparations en enrobés à froid témoignent des dégradations antérieures (non identifiées).

On observe également des signes de mauvais comportement structurel : affaissement en rive avec fissures et fluage du matériau vers le PK 66+900.

iii. Section 3 : PK 85+400 à 121+900

Cette section est dans un état intermédiaire entre les deux précédentes. Il existe des zones très médiocres alors que d'autres, en alternance, sont dans un état plus correct.

c) Relevé de dégradation

A la suite des différentes observations, il en ressort le relevé de dégradations élaboré selon les consignes du guide de renforcement des chaussées des pays tropicaux et présenté sous forme de tableau :

Tronçon (PK)	Etat du tronçon	% en fonction du linéaire total	Indice
PK 0 + 000 PK 6 + 400 PK 69 + 400 PK 70 + 400 PK 100 + 400 PK 101 +400	Bon	5,44%	1
PK 6 + 400 PK 53 + 400 PK 109 + 400 PK 121 + 900	médiocre	47,02%	2-3
PK 53 + 400 PK 109 + 400	Médiocre à mauvais	45.9	2-3 et 4-5
PK 69 + 400 PK 70 + 400 PK 100 + 400 PK 101 + 400	Très mauvais	1,64%	6-7

d) Portance et déflexion

i. Résultats des mesures de déflexion

En plus de l'état de dégradation, il est nécessaire de connaître la portance générale de la chaussée ; elle est obtenu au travers de mesures de la déflexion sous une charge normalisée, en l'occurrence celle de l'essieu de 13 t dans le cadre de la présente étude.

Pour ce faire, une campagne de mesures de déflexion a été effectuée durant la première quinzaine du mois de mai 2009, c'est-à-dire dans la deuxième moitié de la saison sèche par le Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics (LNBTP), à l'aide d'une « poutre Benkelman » et sous une charge à l'essieu de 13 tonnes.

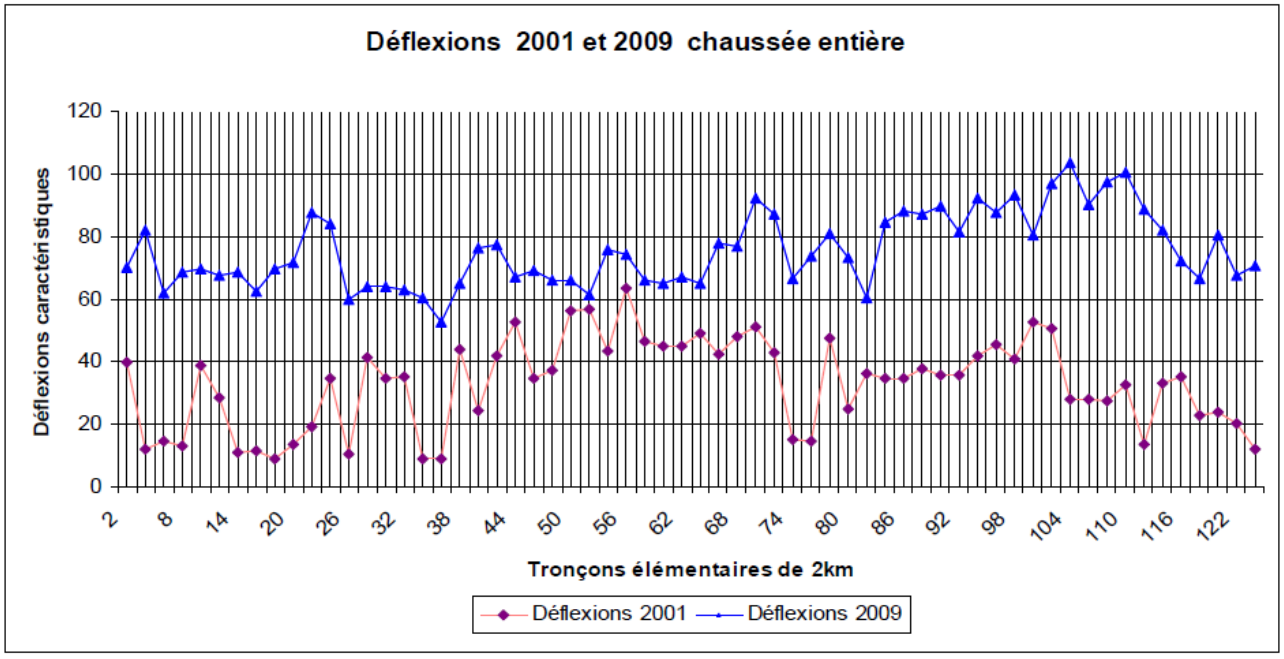
Les mesures de déflexions ont été réalisées en quinconce (droite, gauche, axe), suivant un pas régulier de 50 m.

Dans l'absolu, les valeurs des déflexions sont nécessaire pour faire le dimensionnement de chaussée mais il est utile pour comprendre qualitativement l'état résiduel de la structure et permet d'observer l'évolution de ces mesures sur les dernières années.

Les déflexions caractéristiques (dc) calculées à partir des mesures effectuées sur la chaussée ont donc été comparées aux valeurs obtenues en 2001 et 2004 par segments élémentaires de 2 km :

- 2001 et 2009 avec des valeurs mesurées en quinconce, droite, axe et gauche

Figure 10 Evolution des déflexions caractéristiques entre 2001 et 2009 source rapport géotechnique



De manière générale, les déflexions ont conservé les mêmes allures de 2001 à 2009 excepté entre les tronçons élémentaires 35 et 70 c'est-à-dire entre les profils 34+600 et 72+400 où déjà à la fin des travaux en 2001, les déflexions caractéristiques allaient au-delà du seuil des 50 centièmes de mm sur environs 5 tronçons élémentaires soit une dizaine de km.

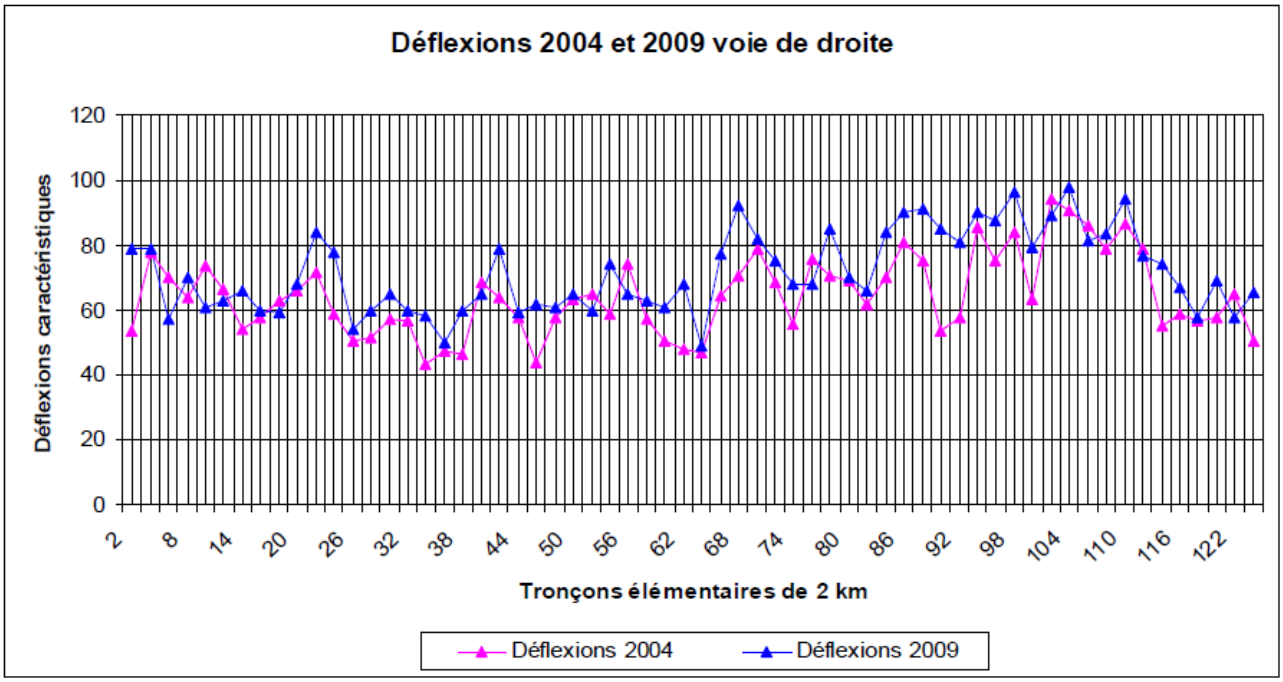
Effectivement, pour le tronçon PK 34+600 - 72+400, dc = 110 avec une moyenne dm = 66 et un écart type = 33.

Ces résultats témoignent d'une part des fortes valeurs mesurées par endroits et d'autre part la dispersion très élevée des déflexions enregistrées à la mise en œuvre.

Il s'avère cohérent *a posteriori* que le tronçon PK 34+600 – 85+400 présente les plus importantes dégradations du projet.

2004 et 2009 avec des valeurs mesurées seulement à droite, c'est-à-dire sur la partie la plus sollicitée de la chaussée

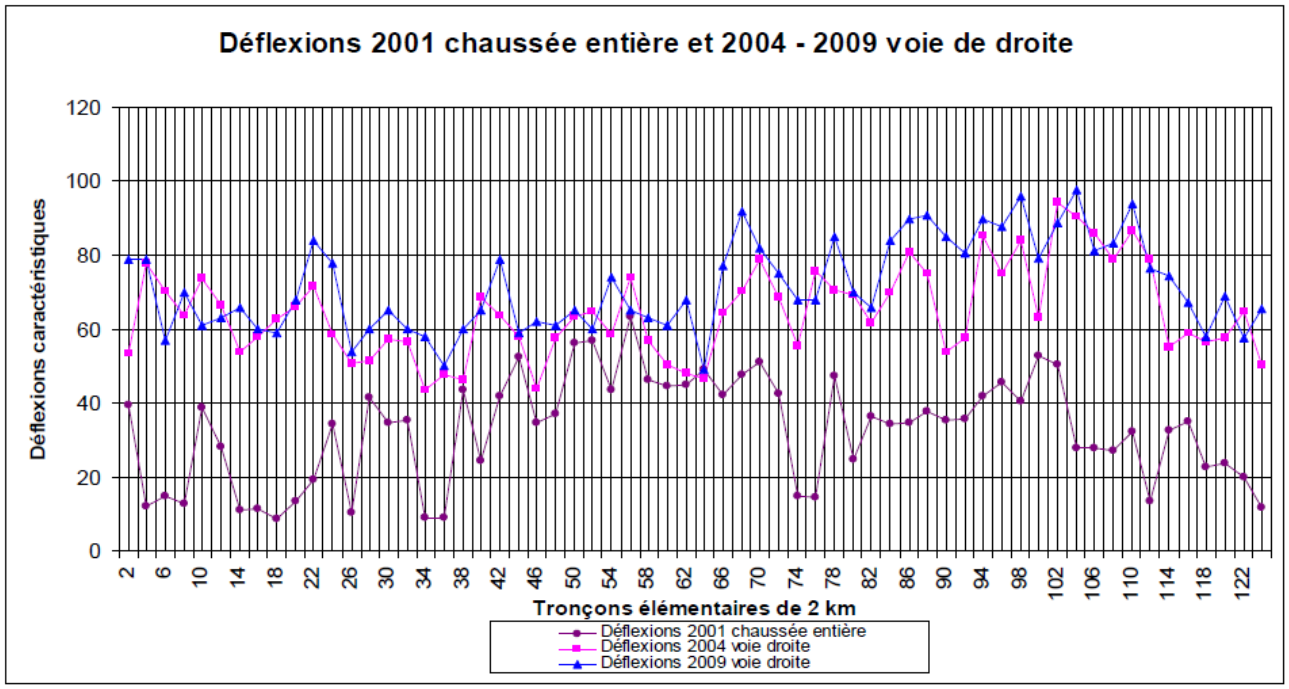
Figure 11 Evolution des déflexions caractéristiques entre 2004 et 2009 source rapport géotechnique



Ici aussi, globalement, les déflexions ont conservé les mêmes allures de 2004 à 2009. Les résultats disponibles en 2004 ne concernant que la voie de droite, qui par surcroît est la plus sollicitée, nous n'avons pu faire une comparaison qu'avec les résultats de la voie de droite extraits des données de 2009 qui concernent la chaussée entière.

On peut observer tout de même que l'écart est considérablement réduit entre 2004 et 2009. Ce rapprochement entre 2004 et 2009 se perçoit mieux avec la superposition des trois courbes

Figure 12 Evolution des déflexions caractéristiques entre 2001 chaussée entière et 2004 – 2009 voie de droite entre 2004 et 2009-soucer rapport géotechnique



Les valeurs de déflexions enregistrées en mai 2009 sont appréciées au travers de deux valeurs de référence d1 et d2, fixées pour l'itinéraire, qui représentent les seuils de bon (d < d1) ou de mauvais (d > d2) comportement en portance. Compte tenu de l'importance de cet itinéraire et de sa constitution en structure souple, il est légitime de choisir pour seuils d1 et d2 les valeurs de 60 et 90 1/100 mm.

Ce qui signifie que, entre d1 et d2, on se situe dans une zone douteuse où la déflexion n'est pas un critère suffisant.

Les observations relatives aux mesures de déflexions de mai 2009 sont les suivantes :

- PK 0+000 à 63+400: dc = 68.

Le tronçon est sujet à une insuffisance de portance. Le plutôt bon état de la surface de la chaussée au début de l'itinéraire n'est pas lié à un bon matériau d'assise mais à une meilleure étanchéité de l'enduit qui a permis d'éviter les infiltrations et les dégradations associées.

- PK 63+400 à 108+400: dc = 85. Le tronçon est sujet à de sérieuses insuffisances de portance.
- PK 108+400 à 121+900: dc = 75. Le tronçon est sujet à des insuffisances de portance.

Dans l'ensemble, les déflexions mettent en relief un défaut de portance mais qui n'est pas critique à court terme.

Le meilleur état apparent de la chaussée sur le premier tronçon de 40 km pourrait être corrélé à une meilleure étanchéité de l'enduit dans cette zone (bicouche pré gravillonné) et au revêtement des accotements, ce qui montre que ces dispositions étaient tout à fait pertinentes. En tout état de cause, la structure résiduelle ne pourra pas être valorisée en l'état

Si les valeurs relatives de portance semblent refléter les qualités relatives du revêtement identifiées visuellement, ce point ne peut être certifié, les écarts n'étant pas suffisants (ni exempts du bruit statistique du fait de l'échantillonnage) pour pouvoir être interprétés avec certitude. De toutes les manières, les déflexions moyennes sur l'ensemble de l'itinéraire indiquent que la structure n'est plus adaptée à moyen terme pour supporter le trafic actuel même si l'on peut considérer que ces résultats de déflexions ne sont pas catastrophiques pour une chaussée souple dont la dernière réfection date d'il y a presque 10 ans.

On note ainsi que la dégradation (en termes de déflexions) depuis cinq ans est relativement modérée, phénomène sans doute corrélé à l'entretien régulier qui s'impose du fait de l'apparition des nids de poule liés à l'usure du revêtement.

En fait, en maintenant un entretien régulier dans les zones les moins dégradées en surface, la structure pourrait sans doute être prolongée encore quelques années sans risque de dégradation brutale.

En d'autres termes, il n'y pas péril en la demeure d'un point de vue structurel même si le potentiel restant de la section centrale est plus faible que sur les tronçons d'extrémités.

Cette analyse laisse penser que si cette opération s'avère rentable d'un point de vue économique – ce qui est probablement, le cas au regard des déflexions > 70 et des coûts d'entretien associés – la rentabilité ne devrait pas être très sensible à la date de mise en service de la nouvelle structure.

ii. Détermination des indices de qualité

Sur la base des relevés visuels des dégradations et des essais de déflexions effectués sur la totalité des 121,9 km de voie ayant fait l'objet de l'étude, on peut tirer la conclusion suivante :

- PK 0+00 à 37+400 hormis les tronçons 6+400 à 7+400 et 19+400 à 22+400 : Q1 à Q3. Tronçon douteux mais dont le renforcement intégral ne s'impose pas immédiatement selon les critères usuels du CEBTP.
- PK 37+400 à 79+400: Q3 et Q4. Section à renforcer selon les critères usuels du CEBTP.
- PK 79+400 à 113+400: Q4 et Q5. Section à renforcer selon les critères usuels du CEBTP.

- PK 113+400 à 121+900: Q3. Tronçon douteux mais dont le renforcement intégral ne s'impose pas immédiatement selon les critères usuels du CEBTP.

Soit un linéaire de 42,9 km de route douteuse (35 %) et le reste à savoir 79 km de route à renforcer sans hésitation si l'on respecte les critères du CEBTP.

e) Trafic

Durée de vie ; n= 15 ans

Coefficient de croissance ; i=5%

CAM=0,967

TMJA 2012	Hypothèse basse	Hypothèse moyenne	Hypothèse haute
Descente	171	205	209 à 2011
Montée	180	213 à 255	195 à 284

$$NE = 365 \times T \times CAM \times n \times \left(\frac{(1-i)^n - 1}{n \times i} \right)$$

NE 2012	Hypothèse basse	Hypothèse moyenne	Hypothèse haute
Descente	1.302.381	1.862.518	1.829.898 à 1.854.738
Montée	1.370.927	1.927.804 à 2.321.219	1.695.469 à 2.496.425

Considérons l'hypothèse moyenne dans le cas de la montée une moyenne de l'intervalle donne 2.124.511,5 ($2{,}1 \times 10^6$) Nombre d'essieux équivalent.

Figure 13 Formule d'expression du trafic (source CEBTP, 1984)

Catégorie de trafic proposé	Formules d'expression du trafic		
	1	2	3
	Nombre journalier de véhicules (véh, /j)	Nombre cumulé de poids lourds (P.L)	Nombre cumulé d'essieux équivalents de 13 t (EE 13 t)
T1	$100 \leq T < 300$	$1 \times 10^5 \leq T < 5 \times 10^5$	$1 \times 10^5 \leq T < 5 \times 10^5$
T2	$300 \leq T < 1000$	$5 \times 10^5 \leq T < 1{,}5 \times 10^6$	$5 \times 10^5 \leq T < 1{,}5 \times 10^6$
T3	$1000 \leq T < 3000$	$1{,}5 \times 10^6 \leq T < 4 \times 10^6$	$1{,}5 \times 10^6 \leq T < 4 \times 10^6$
T4	$3000 \leq T < 6000$	$4 \times 10^6 \leq T < 1 \times 10^7$	$4 \times 10^6 \leq T < 1 \times 10^7$
T5	$6000 \leq T < 12000$	$1 \times 10^7 \leq T < 1 \times 10^7$	$1 \times 10^7 \leq T < 2 \times 10^7$

Soit au final un trafic de type T3

f) Résultat des sondages

Les coupes des sondages effectués pendant la campagne réalisée par le LNBTP en mai 2009
On permit de déterminer les principales caractéristiques des trois couches suivantes :

i. Couche de base

• Epaisseur comprise entre 10 et 20 cm et une moyenne de 15,8 cm ;

Pourcentage de fines compris entre 17 et 22, avec une valeur moyenne de 18,25 ;

- Indice de plasticité compris entre 6,5 et 19,5 avec une valeur moyenne de 13 ;
- Indice portant C.B.R. à 95 % O.P.M. compris entre 31 et 46 avec une valeur moyenne de 40 ;
- Indice portant C.B.R. à 98 % O.P.M. compris entre 35 et 67 avec une valeur moyenne de 47,5.

Les matériaux étaient normalement compactés à 98 % OPM selon les spécifications techniques du marché des travaux. A cet égard, il est rappelé qu'un compactage à 98% signifie que, en fonction de la rédaction des spécifications 95 % ou 100 % des mesures sont supérieures à 98%. Compte tenu de l'écart type sur les mesures de compacité des matériaux naturels ceci correspond à une moyenne des mesures de 101 % environ. Il est possible que le taux de compactage minimal effectif ait été en plusieurs endroits plus proches de 95% que de 98%.

Dans l'ensemble, l'épaisseur de la couche de base est conforme à ce qui était attendu.

Le pourcentage de fines est plutôt élevé, ce qui traduit un sable latéritique plutôt qu'un graveleux très charpenté. La valeur de l'IP est limite. Les CBR ne sont pas conformes aux spécifications d'une couche de base (CBR>80).

Malgré leur faiblesse une stabilisation au ciment peut être envisagée mais pas un litho-stabilisation.

ii. Couche de fondation

- Epaisseur comprise entre 5 et 35 cm avec une moyenne de 18 cm ;
- Pourcentage de fines compris entre 16,5% et 24% avec une valeur moyenne de 20,6 % ;
- Indice de plasticité compris entre 11 et 19,5 avec une valeur moyenne de 15,2 ;
- Indice portant C.B.R. à 95 % O.P.M. compris entre 24 et 58 avec une valeur moyenne de 38,8.

On notera que la portance intrinsèque de ces matériaux de fondation est du même ordre que celle des matériaux de couche de base, les CBR sont inférieurs mais ils ont été calculés pour une compacité inférieure.

A cet égard, le Consultant recommande d'éviter de lier le taux de compactage du CBR au taux de compactage demandé à la mise en œuvre ; il vaut mieux uniformiser les essais CBR, cela permet de comparer objectivement la qualité intrinsèque des matériaux.

Les matériaux de fondation ont été normalement compactés à 95 % OPM selon les spécifications techniques du marché des travaux.

Il ressort des résultats que le matériau de fondation est d'assez bonne qualité dans son ensemble.

Les caractéristiques des matériaux de base et de fondation sont sensiblement les mêmes ; elles correspondent à des matériaux médiocres pour une couche de base crue et tout à fait corrects pour une couche de fondation.

iii. Couche de forme ou sol support

- Epaisseur comprise entre 10 et 55 cm avec une moyenne de 31 cm ;
- Pourcentage de fines compris entre 14,5 % et 43 % avec une valeur moyenne de 23,7 % ;
- Indice de plasticité compris entre 8 et 34 avec une valeur moyenne de 18,3 ;
- Indice portant C.B.R. à 95 % O.P.M. compris entre 7 et 69 avec une valeur moyenne de 32. ;
- Indice portant C.B.R. à 98 % O.P.M. compris entre 15 et 100 avec une valeur moyenne de 47.

Les matériaux étaient normalement compactés à 95 % OPM selon les spécifications techniques du marché de travaux.

Les graveleux latéritiques rencontrés en sol support sont d'assez bonne qualité pour cette couche. Mais force est de constater qu'en plus des variations d'épaisseur couramment observées, le graveleux latéritique prescrit pour cette couche sur 30 cm d'épaisseur est souvent inexistant et a été souvent remplacé par du matériau tout venant un peu argileux.

Les variations d'épaisseur et l'hétérogénéité du matériau du sol support est en effet préjudiciable pour a chaussée, même si la qualité des couche de base et de fondation actuelles ont manifestement permis de compenser cette déficience.

On retiendra tout de même que cette couche de forme qui devait permettre d'homogénéiser le support du corps de chaussée est de qualité inégale.

Ainsi, ponctuellement, on découvre des matériaux argileux à moins de 50 cm en dessous du revêtement.

En définitive, il sera souhaitable d'éviter d'atteindre cette couche de forme en laissant environ 10 cm de couche de fondation en place pour maintenir la fermeture du sol support et d'éviter surtout de malaxer des matériaux argileux dans le cas d'une solution par recyclage des matériaux en place.

3. Résultats de renforcement

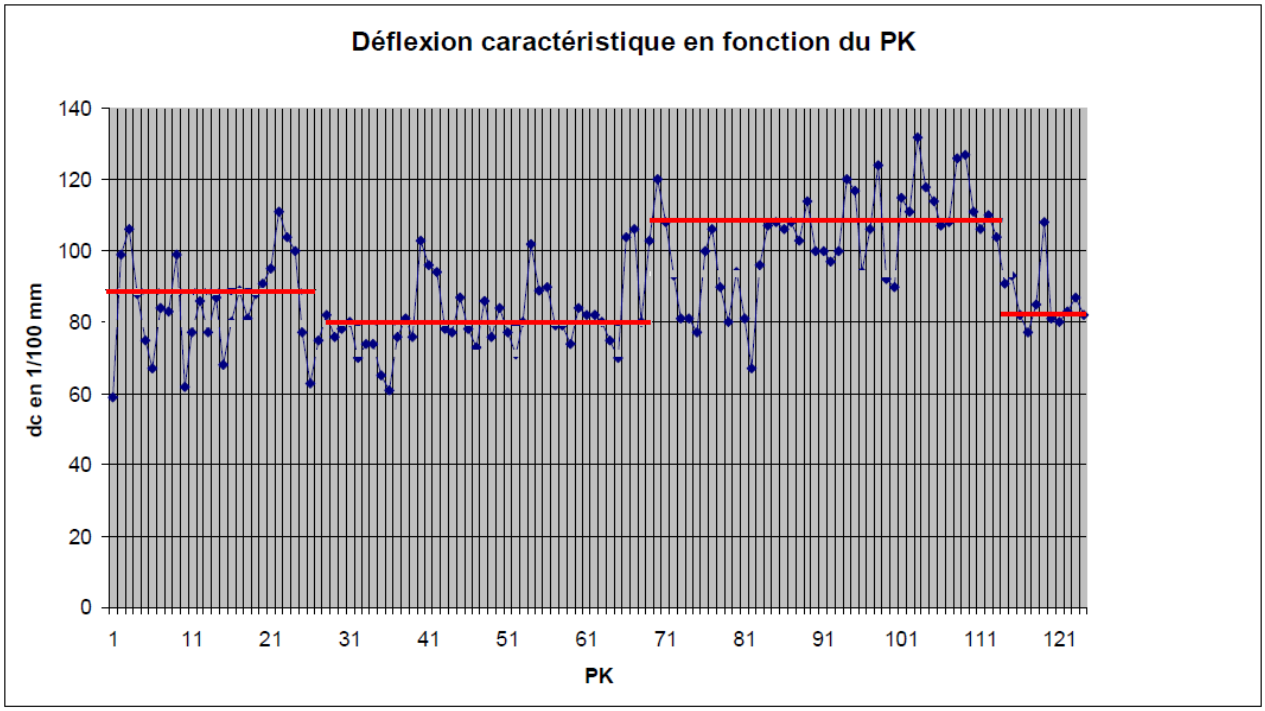
a) Modélisation de la chaussée actuelle

L'exploitation des valeurs de déflexion au km conduit au graphique ci-après. Bien entendu, ce mode de raisonnement « lisse » les valeurs individuelles obtenues en chaque point puis par km mais c'est la seule manière de généraliser le comportement de la chaussée actuelle et d'en déduire un nombre limité de zones homogènes.

Selon cette méthode, on peut caractériser l'itinéraire par les valeurs suivantes de dc :

- PK 0 à 25 : dc = 90 1/100 mm
- PK 25 à 65 : dc = 80 1/100 mm
- PK 65 à 110 : dc = 110 1/100 mm
- PK 110 à 122 : dc = 80 1/100 mm

Figure 14 Déflexion caractéristique en fonction du PK



Les modèles de structures conduisant à ces valeurs calculés à l'aide du logiciel Alizée-LCPC sont (valeurs de E en MPa confère annexe 8)

Tableau 11 Correspondance des module de rigidité des couches de la chaussée existante

dc = 80 1/100 mm	dc = 90 1/100 mm	dc = 110 1/100 mm
Base 15 cm E = 360	Base 15 cm E = 360	Base 15 cm E = 360
Fond. 20 cm E = 300	Fond. 20 cm E = 250	Fond. 20 cm E = 200
Forme 30 cm E = 140	Forme 30 cm E = 120	Forme 30 cm E = 90
Sol E = 60	Sol E = 55	Sol E = 45

b) Choix de la solution de renforcement

De l'analyse géotechnique de l'ancienne chaussée, il en ressort que les indices de qualité de la chaussée varie de Q1 à Q5. De plus, elle est soumise à un trafic de type T3. Ceci conduit aux couples : (T3, Q1), (T3, Q2), (T3, Q3), (T3, Q4) et (T3, Q5). Parmi ces différents couples nous nous intéresserons qu'aux couples (T3, Q3), (T3, Q4) et (T3, Q5). Ainsi, selon les fiches 3, 4, 7, 8, 9 et 10 du manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux, nous obtenons le tableau de possibilités ci-dessous :

Possibilité N°	Matériaux de renforcement	Couples (Ti;Qi)	Bicouche	Tricouche
Possibilité N°1	Béton bitumineux	(T3;Q3)	10BB	8BB
Possibilité N°2	Grave Bitume	(T3;Q4)	5BB 12GB	5BB 10GB
		(T3;Q5)	5BB 15GB	5BB 12GB
Possibilité N°3	Sol Ciment	(T3;Q3)	5BB 22SC	5BB 22SC
		(T3;Q4)	-	5BB 28SC
Possibilité N°4	Grave Latéritique Ciment	(T3;Q3)	5BB 22GLC	5BB 20GLC
		(T3;Q4)	5BB 25GLC	5BB 22GLC
		(T3;Q5)	5BB 28GLC	5BB 28GLC
Possibilité N°5	Grave Ciment	(T3;Q3)	5BB 20GC	5BB 18GC
		(T3;Q4)	5BB 22GC	5BB 20GC
		(T3;Q5)	5BB 25GC	5BB 22GC

Comme matériaux de renforcement nous choisissons la grave bitume et le sol ciment, ce qui donne deux possibilités avec 7 options. Au final, notre choix sera une combinaison entre la grave bitume et le sol ciment tout en tenant en compte les épaisseurs minimales. Soit donc : 5BB, 8GB, et 20 SC

c) Proposition de renforcement

Traitement de la couche de base et une partie de la couche de fondation existantes par amélioration au ciment avec un dosage de 2,5 à 3 % sur une épaisseur de 20 cm et interface collée (monocouche entre la GLC et le revêtement), afin d'obtenir une grave latéritique ciment (GLC) de caractéristiques sur le terrain :

Et 1an = 5 000 MPa et Rt 1an = 0.5 MPa

d) Paramètres du dimensionnement

Les valeurs prises en compte pour les paramètres du cas de dimensionnement sont :

- Risque : 5 % pour tous les matériaux
- Température équivalente de fonctionnement : 30 ° C
- Coefficients de Poisson : 0.35 pour les sols en place, la GB et le BB et 0.20 pour la GLC.
- GLC nominale : GLC 1 : Et = 5 000 MPa et Rt = 0.5 MPa
- Interfaces toutes collées

Autres GLC :

- GLC 2 : Rt = 0.4 et Et = 5 000 MPa
- GLC 3 : Rt = 0.4 et Et = 4 000 MPa

e) Modélisation de la chaussée renforcée

Les modèles nominaux de la chaussée renforcée sont par conséquent les suivants (on désigne par GLNT la grave latéritique non traitée restant de l'ancienne couche de fondation, après traitement de l'ancienne couche de base – 15 cm – et de la partie supérieure de la couche de fondation – 5 cm) :

Tableau 12 Modélisation de la chaussée renforcée

dc = 80 1/100 mm		dc = 90 1/100 mm		dc = 110 1/100 mm	
BB neuf	5 cm E = 1300	BB neuf	5 cm E = 1300	BB neuf	5 cm E = 1300
Base GB	X cm E = 2700 Epaisseur à déterminée	Base GB	X cm E = 2700 Epaisseur à déterminée	Base GB	X cm E = 2700 Epaisseur à déterminée
GLC	20 cm E = 5000	GLC	20 cm E = 5000	GLC	20 cm E = 5000
GLNT.	15 cm E = 300	GLNT.	15 cm E = 250	GLNT.	15 cm E = 200
Forme	30 cm E = 140	Forme	30 cm E = 120	Forme	30 cm E = 90
Sol	E = 60	Sol	E = 55	Sol	E = 45

La valeur admissible a été déterminée par Alizé ainsi que les valeurs de contrainte. (Confère annexe N°7 pour les détails de calculs)

La structure proposée à mettre en œuvre est donc la suivante :

- BB 5 cm
- GB 2 8 cm
- GLC 1 (dosé à 3 %) 20 cm

f) Processus de mise en œuvre

i. Couche de forme, de fondation et de base

La procédure regroupe les opérations suivantes :

- Implantation de la couche et matérialisation des différents profils avec des piquets nivelés ;
- Humidification légère à l'aide d'une citerne de la couche devant recevoir les matériaux ;
- Approvisionnement des matériaux latéritiques par des camions bennes tout en tenant compte du tassement ultérieur ;
- Réglage par la niveleuse des matériaux en se servant des piquets de nivellement ;
- Arrosage à la teneur en eau optimal ou le cas échéant aération pour l'obtenir ;
- Malaxage pour obtenir une teneur en eau homogène ;
- Compactage à 95% pour la couche de forme, à 97 % pour la couche de fondation et à 98 % de l'OPM pour la couche de base en se basant sur les résultats de la planche d'essai (nombre de passe, composition de l'atelier de compactage) ;
- Implantation des piquets de finition ;
- Finition de la couche en cherchant le meilleur uni possible et profil en travers préétabli ;

ii. Amélioration au ciment de la couche de base existante

La procédure regroupe les opérations suivantes :

- Etude pour la détermination du pourcentage de ciment à mettre en œuvre conformément aux prescriptions ;
- Scarification du revêtement existant ;
- Implantation de la plate-forme à traiter ;
- Recyclage à l'aide d'un pulvimixer du revêtement, de la couche de base et de la couche de fondation ;
- Epandage manuel du ciment par carroyage de maille de 2,11 m par 2,11 m pour un sac de ciment ;
- Malaxage du ciment et des matériaux in situ à l'aide d'un pulvimixer, arrosage des matériaux ;
- Compactage à 97 % la MV de référence ;
- Réglage et finition de couche base au 2/3 des passes de compactage ;
- Fin du compactage ;

iii. Imprégnation

Les différentes étapes sont les suivantes :

- Enlèvement des matières étrangères à la couche (nettoyage, balayage et soufflage éventuelle) ;
- Implantation des piquets de délimitation de la surface à imprégner, matérialisation de l'axe et des rives à la peinture ;
- Humidification légère de la couche de base ;
- Vérification du matériel ;
- Chauffage du bitume et épandage suivant le dosage préconisé après vérification par une planche d'essai ;
- Opération de contrôle du laboratoire (dosage) et de réception conformément aux prescriptions ;
- Sablage éventuel des zones de traversée (agglomération, passage de troupeaux, etc.) ;

iv. Enduit superficiel monocouche (couche de collage entre la GLC et le revêtement) ou bicouche

- Vérification de l'évaporation totale des solvants de la couche (nettoyage, balayage, et soufflage éventuellement) ;
- Implantation des piquets de délimitation de la surface à imprégner, matérialisation de l'axe et des rives à la peinture ;
- Chauffage du bitume ;
- Epandage du bitume et des granulats 6/10 uniquement en section courant, par contre au niveau des accotements, d'abord une couche de granulat de 10/14, puis 6/10 séparé d'une couche de liant ;
- Compactage,
- Opération de contrôle du laboratoire (dosage) et de réception conformément aux prescriptions ;

v. Couche d'accrochage

La procédure regroupe les opérations suivantes :

- Vérification de l'évaporation totale des solvants de la couche d'imprégnation ;
- Enlèvement des matières étrangères à la couche (nettoyage, balayage, et soufflage éventuel) ;

- Vérification du matériel ;
- Chauffage du bitume et épandage suivant le dosage préconisé après vérification par une planche d'essai ;

vi. Grille en fibre de verre

- Enlèvement des matières étrangères à la couche (nettoyage, balayage, et soufflage éventuel) ;
- Pontage des fissures ouvertes de plus de 4 mm par un mastique bitumineux adapté ;
- Implantation des piquets de délimitation de la surface à imprégner, matérialisation de l'axe et des rives à la peinture ;
- Chauffage du bitume et épandage suivant le dosage préconisé ou après vérification par une planche d'essai. En cas d'utilisation d'émulsion de bitume pur, le géocomposite peut être déroulé directement après épandage ;
- Mise en œuvre du géocomposite au moyen d'un dérouleur mécanique conçu à cet effet et monté sur un engin porteur (tracto-pelle par exemple). Le dérouleur assure les fonctions de levage du rouleau, déploiement proprement dit du géocomposite sur le support, collage et marouflage ;
- Vérification de la pose (risque).

vii. Couche en enrobé bitumineux (grave bitume ou béton bitumineux)

La procédure regroupe les opérations suivantes :

- Repérage des matériaux jugés conforme pour la fabrication des enrobés ;
- Etude de formulation de l'enrobé conformément aux spécifications prescrites ;
- Acheminement des différents composants dans les silos ou trémies doseuses de la centrale ;
- Alimentation du malaxeur avec ajustement des dosages afin d'obtenir la formulation retenue ;
- Vérification du respect des prescriptions après fabrication en centrale ;
- Chargement et transport à l'aide des camions bâchés vers le site de mise en œuvre ;
- Enlèvement des matières étrangères à la couche (nettoyage, balayage, et soufflage éventuel) ;
- Implantation des piquets de délimitation de la surface à imprégner, matérialisation de l'axe et des rives à la peinture ;
- Réglage du finisher ;

- Epandage de l'enrobé bitumineux au finisher ou le cas échéant à la main ;
- Compactage conformément aux dispositions prises lors de la planche d'essai ;
- Vérification de la température de mise en œuvre ;
- Opérations de contrôle du laboratoire et de réception conformément aux prescriptions.

g) Evaluation des coûts de la solution proposée

L'évaluation des coûts s'est focalisée sur deux lots du cadre de devis générale à savoir : les terrassements généraux et la chaussée (confère annexe 9). En effet ; les terrassements généraux et la chaussée font respectivement 4.742.912.260 F CFA et 27.392.658.825 F CFA. Ceci conduit à un total de 32.135.571.075 hors taxe, soit 263.622.404 F CFA le km.

CONCLUSION

Dans cette étude, il a été question de faire une auscultation, d'établir un diagnostic et de proposer une solution justifiée techniquement et économiquement.

En effet, de cet exercice, il en ressort que : le tronçon Sakoinse-Boromo présente des fortes dégradations qu'on a pu regrouper en trois groupes en fonction de la déflexion respectivement 80, 90 et 110 1/100 mm. De plus, l'ancienne structure est constituée d'une couche de roulement de 5 cm (soit bicouche, soit tricouche), d'une couche de base de 15 et d'une fondation de 20 cm en GNT avec respectivement un CBR de 47,5 et 38,8, d'une couche de forme de50 cm de CBR 47.Par ailleurs, l'étude de trafic abouti à un trafic de catégorie de type T3. et l'évaluation de l'état de la chaussée existante conduit à des Qi varié de Q1 à Q5. Ainsi, par les couples (Qi ; T3), on obtient comme solution un renforcement. De ce fait, la structure de chaussée adoptée comme solution du haut vers le bas est : une BB en de 5 cm, une GB de 8 cm, une GLC 20 cm dosage à 3 %. Cette solution est évaluée à 32.135.571.075 hors taxe.

En définitive, de par notre travail, nous avons pu vérifier les épaisseurs des couches choisies et les déformations limites. Cette vérification s'est avérée positive. De plus, nous avons également évalué le coût de la solution proposée. Cependant, cette solution ne pourrait être durable que si elle est soumise à la vigilance d'un service d'entretien. Ce dernier aura la responsabilité de l'exécution des tâches quotidiennes ou périodiques de réparation et de remise en état, afin de garantir aux usagers un niveau de service adéquat jusqu'à la prochaine intervention.

BIBLIOGRAPHIE

[1] C.E.B.T.P-L.C.P.C, (Mai 1985) ; « Manuel pour le renforcement de chaussées souples en pays tropicaux », 166 pages.

[2] C.E.B.T.P, (1980), « Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux », 154 pages.

[3] L.C.P.C-SETRA, 1994, «Conception et dimensionnement des structures de chaussée-Guide Technique »,260 page

[4] SETRA, (2009), « Guide technique-les renforcements des chaussées-diagnostics et conception » ; 108 pages.

[5] Alain FERRET, (1981), « Guide pratique pour la conception géométrique des routes et autoroutes », 126 pages

[6] L.C.P.CLCPC Division MSC - Matériaux et Structures de Chaussées (2005) « Notice d'utilisation Alize-recherche Version 2.3.0.

[7] Louis Berger-AGEIM, (Mai 2010), « Rapport Géologique et Géotechnique –Avant-Projet Détaillé-Travaux de Renforcement du tronçon SAKOINSE-BOROMO (RN1) de la route communautaire CU 2a-Burkina Faso », 74 pages.

[8] R. Peltier-L.C.P.C,(Dunod 1954), « Manuel du Laboratoire Routier » 274 pages.

[9] Dr Ismaïla GUEYE ,2014 « cours de géotechnique Routière-Institut Internationale de l'Eau et de l'Environnement », pages.

[10] Guy Alain YAKAM TCHOUTA, (Juin 2011) « Travaux de Renforcement de la Route Nationale N°1 entre Ouagadougou et Sakoinse du PK 33+000 au PK50+586 : diagnostic des dégradations et propositions de solutions »116 pages.

ANNEXES

Annexes 1 Résultats des essais sur matériaux de plateforme 40
Annexes 2 Résultats des essais sur matériaux de Fondation 42
Annexes 3 Résultats des essais sur matériaux de base.....44
Annexes 4 Matériaux d'emprunt utilisés 46
Annexes 5 Schémas synoptique de Localisation des emprunts 47
Annexes 6 Caractéristiques des matériaux d'emprunt.....48
Annexes 7 Note de calcul de dimensionnement obtenu par le logiciel Alize-LCPC 56
Annexes 8 Profils en travers types.....58
Annexes 9 Devis quantitatif et estimatif de la solution proposée.....61

Annexes 1 Résultats des essais sur matériaux de plateforme

N° d'ordre	Tronçon	PK	Côté	Coupe des sondages		Analyse granulométrique				Limites d'Atterberg		Proctor		CBR		D max	Classe plate forme
				Nature du matériau	Epaisseur	0,08	2	5	10	WL	IP	W%	γd	95%	98%		
2	PK 0+000–35+400 un sondage tous les 6 km environ	5+400	G	AG	15	24	48,5	71	92,5	36	15,5	9,8	2	22	40	25	S4
3		11+400	D	GAL	55	26	45	64,5	87	40	17,8	11,3	1,97	17	35	31,5	S4
4		17+400	G	GAL	20	28	49,5	69	91	43	19,3	9,1	2,09	17	28	31,5	S4
5		23+400	D	GAL	30	22	41	65,5	93	34	15	8,2	2,15	29	41	25	S4
6		29+400	G	GAL	30	19,5	49	71	93	32	17	10	2,05	58	82	40	S5
7		35+350	D	SG	35	27	60,5	77,5	95	34	18	10,3	1,96	19	28	25	S4
8	PK 35+400 - 85+400 un sondage tous les 2,5 km environ	36+875	D	GAL	15	15	38,5	62	86	31	13	9	2,15	45	61	63	S5
9		37+325	G	AG	30	29	54	74	96,5	40	21	11,8	1,94	7	16	31,5	S2
10		37+860	G	AGL	20	15,5	42	68	95	33	16,5	9,7	2,11	69	100	25	S5
11		40+400	G	GAL	40	27	56	76	95	37	18,5	11,5	1,95	25	31	25	S5
12		41+130	D	GAL	25	22	48,5	71	93	35	17,5	10,1	2,13	31	45	25	S5
13		41+180	G	AG	35	27	54	76	95	42	22	10,6	2,07	20	33	20	S4
14		42+900	D	AG	35	20	52	72	91,5	41	22	10,7	2,01	40	62	50	S5
15		45+385	G	AGL	40	25,5	48,5	71	93	41	14,5	9,2	2,13	39	59	25	S5
16		48+000	D	AG	50	43	63,5	81,5	96,5	44	17	11,6	1,96	13	18	20	S3
17		49+800	G	GAL	20	27	54	78	96	39	20	11	2,08	26	41	20	S4
18		50+100	D	GAL	15	21	43	73,5	94	43	20,5	11,9	2,1	30	45	25	S4
19		50+860	G	AG	25	40,5	57	80	97	46	16	11	2,01	18	33	25	S4
20		52+900	D	AG	30	40	54,5	78	96	52	22	10,5	2,03	16	23	25	S4
21		55+400	G	GAL	30	19,5	36	59	87	43	15,5	8,8	2,13	26	38	40	S4
22		57+900	D	AG	30	16	39,5	55	73	42	20	8,6	2,11	49	74	63	S5
23		60+400	G	GA	15	20	42	64,5	93	28	8	8,1	2,19	48	65	31,5	S5
24		62+900	D	GAL	25	17,5	43,5	68,5	93,5	32	14,5	9,1	2,06	40	60	32	S5
25		65+150	G	GAL	40	30,5	56	75,5	96	31	15	9,7	2,03	27	30	25	S4
26		66+650	D	AGL	45	21	52	75	94	36	17	9,5	2,16	38	57	31,5	S5
27		67+050	G	GAL	40	18	44	65	87	38	19	9,1	2,18	56	86	31,5	S5
28		67+900	D	AG	45	16,5	51,5	68	86,5	32	14,5	9	2,04	48	76	40	S5
29		70+410	G	AG	55	22	44,5	72	94,5	35	14,5	7,2	2,18	36	48	25	S5
30		72+900	D	AG	50	21,5	51	73	94	33	15	11,6	1,95	35	43	25	S5
31		75+400	G	SG	50	27,5	61	83	95	35	19,5	9,6	1,97	29	37	25	S4

32		77+900	D	AG	25	20,5	48,5	66	81	41	17	11,8	1,87	14	26	63	S3
33		80+400	G	AGL	25	20	44	67	88	35	16	9	2,06	40	55	50	S5
34		82+900	D	AG	50	23,5	40,5	72	97,5	57	29	12	1,93	10	15	20	S2
35		85+400	G	AG	30	25,5	50,5	72,5	92	36	18	10,2	2,05	19	30	25	S4
36	PK 85+400 - 121+900 un sondage tous les 2,5 km environ	87+900	G	SG	45	21,5	49	68,5	93,5	39	20,5	11,2	1,99	20	29	40	S4
37		90+400	D	A	25	25,5	56	73	93	36	17,5	10	2	50	58	40	S5
38		92+900	G	AS	30	31,5	61,5	86	97,5	35	17,5	10,4	2,01	28	48	25	S4
39		95+180	D	GAL/A	15	22,5	42,5	60,5	86,5	36	17,5	9	2,07	33	36	40	S5
40		98+125	G	A	15	32	56	78,5	96	39	20,5	11,3	1,94	12	19	20	S3
41		100+400	G	AGL	20	18	39,5	68,5	92	37	19	9,8	2,08	56	78	25	S5
42		102+900	D	SG	25	25	44	62,5	86	45	23,5	10,8	2,04	40	46	63	S5
43		105+400	D	GAL	40	26	45,5	70,5	95	51	29	9,5	2,17	30	38	20	S4
44		107+900	G	GS	40	20,5	41	62	82	45	24,5	9,3	2,23	23	31	50	S4
45		110+400	D	AGL	15	17	36	60	88	34	16	8,1	2,22	66	97	31,5	S5
46		112+550	G	GAL	30	15	34	62,5	87	32	15	8,4	2,25	46	84	40	S5
49		120+40	D	GS/G	2	14,	33	54	81,5	32	10,	7,3	2,16	55	79	40	S5
Nombre de valeurs						49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	
Valeur minimale						14,5	33	54	73	28	8	7,2	1,87	7	15	20	
Valeur maximale						43	63,5	86	97,5	58	34	12	2,25	69	100	63	
Valeur moyenne						**23,7**	**47,5**	**70**	**91,5**	**38**	**18,3**	**9,8**	**2,07**	**32**	**47**	**32,9**	
Ecart type estimé						6,3	7,6	6,9	5,1	6,4	4,5	1,3	0,1	15,6	22,1	12,2	
Coefficient de variation (%=						26,7	16	9,9	5,5	16,8	24,5	12,8	4,4	49	47,3	37,2	
47		115+400	D	GAL	45	23,5	37	69,5	94,5	58	34	8,6	2,17	10	20	20	S2
48		117+400	G	GAL	35	25,5	42	65,5	90	38	19,5	8	2,11	14	26	31,5	S3

Annexes 2 Résultats des essais sur matériaux de Fondation

N° d'ordre	Tronçon	PK	Côté	Coupe des sondages		Analyse granulométrique				Limites d'Atterberg		Proctor		CBR		D max	Classe plate forme
				Nature du matériau	Epaisseur	0,08	2	5	10	WL	IP	W%	γd	95%	98%		
2	PK 0+000 – 35+400 un sondage tous les 6 km environ	5+400	G	GAL	35					36	16,5						
3		11+400	D	GAL	10					32	19,5						
4		17+400	G	GAL	20					30	16,1 4,5						
5		23+400	D	GAL	20					30	13						
6		29+400	G	GAL	20					25	11						
7		35+350	D	GAL	15					32	15						
8	PK 35+400-85+400 un sondage tous les 2,5 km environ	36+875	D	GAL	15	21,5	57,5	79,5	96,5	30	13	9,4	2,07	35,5	60	16	S5
9		37+325	G	GAL	20	16,5	42	65,5	92	34,5	18	9,1	2,09 5	35	59	20	S5
10		37+860	G	GAL	20												
11		40+400	G	GAL	20					27,5	13						
12		41+130	D	GAL	20	21,5	53	78	95,5	31	14	9,4	2,20 5	54	72	16	S5
13		41+180	G	GAL	20	20	47	71	91	30	15	9,2	2,16	26	60	25	S4
14		42+900	D	GAL	20												
15		45+385	G	GAL	20					32,5	17,5						
16		48+000	D	GAL	20												
17		49+800	G	GAL	20	24	49	76	94	32	16	9,1	2,17	24	29	20	S4
18		50+100	D	GAL	20	20	43	72	94	33	16,5	8,7	2,21 5	58	81	16	S5
19		50+860	G	GAL	35					31,5	15						
20		52+900	D	GAL	20												
21		55+400	G	GAL	20					36,5	17,5						
22		57+900	D	GAL	25												
23		60+400	G	GAL	20					34,5	16						
24		62+900	D	GAL	20												
25		65+150	G	GAL	15					28	13						
26		66+650	D	GAL	20					41	22						
27		67+050	G	GAL	20					31	14						
28		67+900	D	GAL	20												
29		70+410	G	GAL	10					31,5	19						

30		72+900	D	GAL	15												
31		75+400	G	GAL	15					31	15						
32		77+900	D	GAL	15												
33		80+400	G	GAL	15					26	12						
34		82+900	D	GAL	15												
35		85+400	G	GAL	15					31	15						
36	PK 85+400-121+900 un sondage tous les 2,5 km environ	87+900	G	GAL	15												
37		90+400	D	GAL	15					27	12,5						
38		92+900	G	GAL	15												
39		95+180	D	GAL	15					35,5	18						
40		98+125	G	GAL	15												
41		100+400	G	GAL	15					28,5	12,5						
42		102+900	D	GAL	20												
43		105+400	D	GAL	15					33	16						
44		107+900	G	GAL	20												
45		110+400	D	GAL	20					22,5	9						
46		112+550	G	GAL	15												
47		115+400	D	GAL	15					32	16						
48		117+400	G	GAL	15												
49		120+400	D	GAL	15					27,5	12,5						
FF1		S4, S5, S6				20,5	52,5	78	97,5	29	12	8	2,12	33		16	
FF2		S2, S3				22	50,5	76	97	34	14,5	9	2,1	33		20	
FF3		S8, S11, S25, S33				20	50,5	74	93	31	14,5	9,1	2,11	36		20	
FF4		S12, S13, S17, S19, S23, S27, S31				21	52,5	73	92	33	11,5	7,2	2,16	52		25	
FF5		S9, S15, S18, S21, S29				17,5	45	70	92	31	11	7,1	2,18	54		31,5	
FF6		S37, S741, S45, S47, S49				19,5	45	68,5	93	28,5	10,5	7,5	2,22	45		31,5	
FF7		S35, S43, S47				25	50	73,5	93	32,5	13,5	8,6	2,23	52		25	
Nombre de valeurs						7	7	7	7	7	7	7	7	7		7	
Valeur minimale						17,5	45	68,5	92	29	11	7,1	2,1	33		16	
Valeur maximale						25	52,5	78	97,5	34	15	9,1	2,23	54		31,5	
Valeur moyenne						**20,8**	**49,4**	**73,3**	**93,9**	**31**	**13**	**8,1**	**2,16**	**43,6**		**24,1**	
Ecart type estimé						2,3	3,2	3,3	2,3	2	1,7	0,8	0,1	9,4		5,9	
Coefficient de variation (%=						11,2	6,4	4,5	2,5	6,5	13,3	10,4	2,4	21,6		24,5	

Sondages sur chaussée

Annexes 3 Résultats des essais sur matériaux de base

N° d'ordre	Tronçon	PK	Côté	Coupe des sondages		Analyse granulométrique				Limites d'Atterberg		Proctor		CBR		D max	Classe plate forme
				Nature du matériau	Epaisseur	0,08	2	5	10	WL	IP	W%	γd	95%	98%		
2	PK 0+000 – 35+400 un sondage tous les 6 km environ	5+400	G	GAL	20					33	16,5						
3		11+400	D	GAL	20												
4		17+400	G	GAL	15					26,5	12,5						
5		23+400	D	GAL	20					37	19,5						
6		29+400	G	GAL	20					28	12						
7		35+350	D	GAL	20					28	13						
8	PK 35+400 - 85+400 un sondage tous les 2,5 km environ	36+875	D	GAL	20	21,5	39	55	78,5	40	21	9,3	2	25	35	50	S4
9		37+325	G	GAL	20	14,5	38	55	84	24	9,5	7,5	2,11	43	67	25	S5
10		37+860	G	GAL	15												
11		40+400	G	GAL	15					25	12						
12		41+130	D	GAL	10	15	30	47	83	27	13	7,4	2,24	33	55	25	S5
13		41+180	G	GAL	15	14	32	51	84	21,5	9	7,9	2,23	38	57	25	S5
14		42+900	D	GAL	15												
15		45+385	G	GAL	15					26	10,5						
16		48+000	D	GAL	10												
17		49+800	G	GAL	15	22,5	37	57	81	40	20	9,3	2,23	30	36	25	S4
18		50+100	D	GAL	15	22	34,5	53	78	37	19	9,3	2,23	22	35	25	S4
19		50+860	G	GAL	15					28	13						
20		52+900	D	GAL	15												
21		55+400	G	GAL	10					26,5	11						
22		57+900	D	GAL	15												
23		60+400	G	GAL	15					25,5	13						
24		62+900	D	GAL	15												
25		65+150	G	GAL	15					24,5	12						
26		66+650	D	GAL	15					24	12						
27		67+050	G	GAL	10					20	8						
28		67+900	D	GAL	20												
29		70+410	G	GAL	20					22	8,5						
30		72+900	D	GAL	15												

31		75+400	G	GAL	10												
32		77+900	D	GAL	10												
33		80+400	G	GAL	15					28	15						
34		82+900	D	GAL	15												
35		85+400	G	GAL	20					25,5	13,5						
36	PK 85+400 - 121+900 un sondage tous les 2,5 km environ	87+900	G	GAL	15												
37		90+400	D	GAL	15					30,5	17,5						
38		92+900	G	GAL	15												
39		95+180	D	GAL	10					30	15						
40		98+125	G	GAL	15												
41		100+400	G	GAL	20					34	20,5						
42		102+900	D	GAL	20												
43		105+400	D	GAL	20					30,5	14,5						
44		107+900	G	GAL	15												
45		110+400	D	GAL	20					28	15						
46		112+550	G	GAL	20												
47		115+400	D	GAL	15					30,5	16						
48		117+400	G	GAL	15												
49		120+400	D	GAL	10					27	14						
FB1			S3, S4, S6			18	44,5	62	87	27,5	14	8,5	2,15	43		31,5	S5
FB2			S2, S5			21	45	67	95	35,5	19,5	7,6	2,16			20	
FB3			S7, S11, S12, S15, S21, S23, S25, S26			17	42	62	84,5	26	6,5	7,5	2,18	46		50	S5
FB4			S35, S39, S43, S45, S47, S49			17	37	54,5	81,5	29	12,5	7	2,17	31		50	S5
Nombre de valeurs						4	4	4	4	4	4	4	4	3		4	
Valeur minimale						17	37	54,5	81,5	26	7	7	2,15	31		20	
Valeur maximale						21	45	67	95	36	20	8,5	2,18	46		50	
Valeur moyenne						**18,3**	**42,1**	**61,4**	**87**	**30**	**13**	**7,7**	**2,17**	**40**		**37,9**	
Ecart type estimé						1,9	3,7	5,2	5,8	4,2	5,3	0,6	0	7,9		14,8	
Coefficient de variation (%=						10,4	8,7	8,4	6,7	14,2	40,7	8,2	0,6	19,8		39	

Annexes 4 Matériaux d'emprunt utilisés

EG 11		
Ep exp : 0.41 m	Puis :7.700 m^3	
Caract	Mélange	
	1	2
%fine	25	26.5
IP	9.5	10
ɣd	2.22	2.22
CBR 95 %	29	40

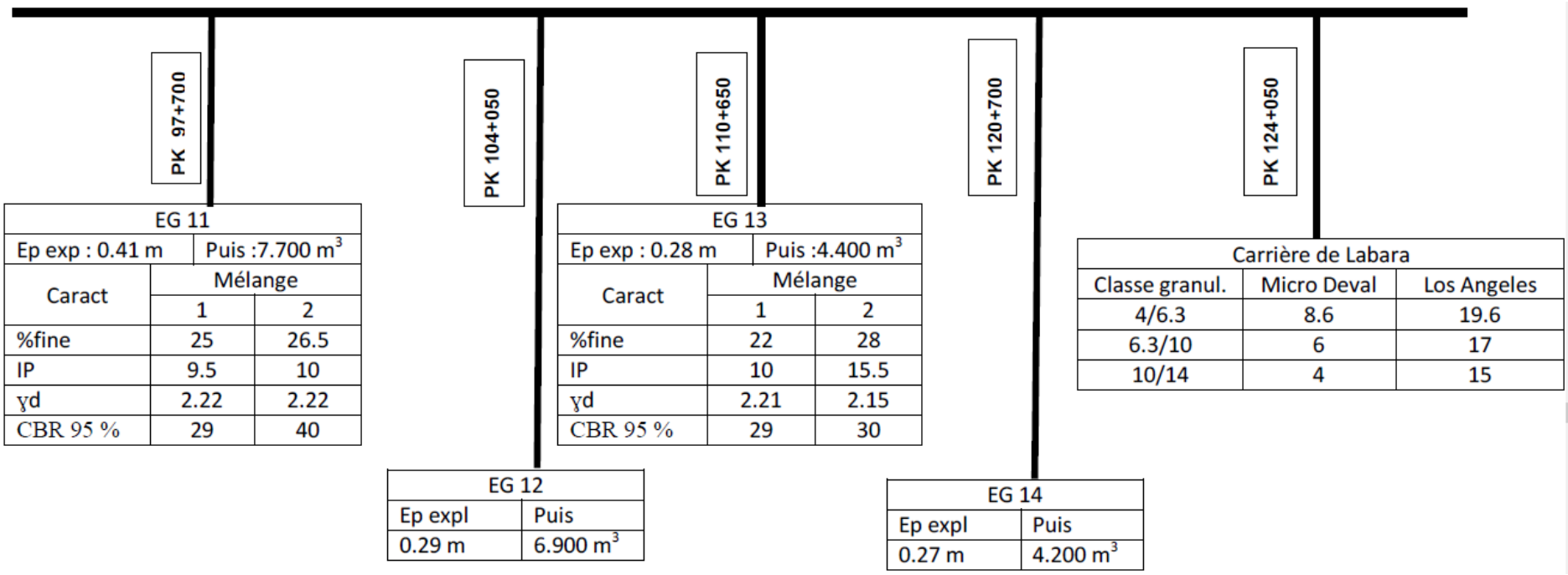
EG 12	
Ep expl	Puis
0.29 m	6.900 m^3

EG 13		
Ep exp : 0.28 m	Puis :4.400 m^3	
Caract	Mélange	
	1	2
%fine	22	28
IP	10	15.5
ɣd	2.21	2.15
CBR 95 %	29	30

EG 14	
Ep expl	Puis
0.27 m	4.200 m^3

Carrière de Labara		
Classe granul.	Micro Deval	Los Angeles
4/6.3	8.6	19.6
6.3/10	6	17
10/14	4	15

Annexes 5 Schémas synoptique de Localisation des emprunts



EG 11		
Ep exp : 0.41 m	Puis :7.700 m^3	
Caract	Mélange	
	1	2
%fine	25	26.5
IP	9.5	10
ɣd	2.22	2.22
CBR 95 %	29	40

EG 12	
Ep expl	Puis
0.29 m	6.900 m^3

EG 13		
Ep exp : 0.28 m	Puis :4.400 m^3	
Caract	Mélange	
	1	2
%fine	22	28
IP	10	15.5
ɣd	2.21	2.15
CBR 95 %	29	30

EG 14	
Ep expl	Puis
0.27 m	4.200 m^3

Carrière de Labara		
Classe granul.	Micro Deval	Los Angeles
4/6.3	8.6	19.6
6.3/10	6	17
10/14	4	15

Annexes 6 Caractéristiques des matériaux d'emprunt

N° d'ordre	PK	Mélange	Sondages	Analyse granulométrique						Limites d'Atterberg			HRB	Proctor		CBR	
				0,08	0,4	2	5	10	D max	WL	Wp	IP		W%	ɣd	95 %	98%
EG1	5+050	1	S1, S2, S12, S13, S14	19	25,5	33,5	52,5	81	25	40	18	22	A-2-6(0)	10,5	2,04	42	50
EG1	5+050	2	S3, S4, S9, S10, S15, S16	21,5	28,5	39	60	88	25	47	20,5	26,5	A-2-7(1)	11,2	1,98	52	66
EG1	5+050	3	S5, S6, S7, S8, S17, S18	21	30,5	36	57,5	85,5	31,5	40	19,5	20,5	A-2-6(1)	10,5	2,03	49	80
EG3	16+070	1	S1, S2, S3, S8, S9, S11, S12, S19, S20	19	28	39,5	53	79	25	26	13,5	12,5	A-2-6(0)	7	2,11		
EG3	16+070	2	S5, S6, S7, S13, S14, S15, S16, S18	19	27,5	40	60	87	20	22	13	9	A-2-4(0)	6,6	2,16	34	43
EG5	36+150	1	S9, S12, S13, S15, S16, S17, S18, S19, S20	22	28,5	40,5	63	90,5	25	20	11	9	A-2-4(0)	6,3	2,14	54	61
EG5	36+150	2	S1, S2, S3, S6, S7, S8, S12	22	28	45	68	92	20	25	13	12	A-2-6(1)	6,6	2,13	46	74
EG7	56+790	1	S2, S4, S5, S12, S13, S14, S15, S22	25	35,5	42	62,5	84,5	25	20	10,5	9,5	A-2-4(0)	6,3	2,22	29	43
EG7	56+790	2	S6, S7, S8, S10, S11, S16, S18, S19, S20, S21	26,5	38	46	72	93,5	20	20,5	10,5	10	A-2-4(0)	6,4	2,22	40	63
EG11	97+700	1	S11, S12, S13, S14, S16, S17, S18	15	21,5	26,5	58,5	88	31,5	26	14	12	A-2-6(0)	6, 9	2,28	90	114
EG11	97+700	2	S1, S2, S3, S7, S8, S9	18	26,5	30,5	63	94	20	28,5	14,5	14	A-2-6(0)	7,5	2,22	54	80
EG13	110+650	1	S3, S5, S6, S7, S14	22	29	35	58,5	84	25	24,5	14,5	10	A-2-6(0)	7,4	2,21	29	33
EG13	110+650	2	S8, S9, S10, S11, S13	28	33,5	39,5	66,5	87,5	25	30,5	15	15,5	A-2-6(1)	7,3	2,15	30	45
Nombre de valeurs				13	13	13	13	13	13	13	13	13		13	13	12	12
Valeur minimale				15	21,5	26,5	52,5	79	20	20	11	9		6,3	1,98	29	33
Valeur maximale				28	38	46	72	94	31,5	47	21	27		11,2	2,28	90	114
Valeur moyenne				**21,4**	**29,3**	**37,9**	**61,2**	**87,3**	**24,5**	**28**	**14**	**14**		**7,7**	**2,14**	**46**	63
Ecart type estimé				3,6	4,3	5,5	5,6	4,5	3,9	8,7	3,2	5,6		1,8	0,09	17	22
Coefficient de variation (%=				16,7	14,8	14,6	9,1	5,2	15,9	30,5	22,2	39,9		22,8	4,12	36 ,9	35,7

N° d'ordre	PK	Position	Sondages	Analyse granulométrique						Limites d'Atterberg		
				0,08	0,4	2	5	10	D max	WL	Wp	IP
EG1	5+050	Droite	S1	17	23,5	34,5	65	83	50	35	19	16
EG1	5+050	Droite	S2	17	22,5	29,5	43,5	70	20	37	26	21
EG1	5+050	Droite	S3	16	21,5	28	48	72,5	31,5	38	19	19
EG1	5+050	Droite	S4	22	28	36	64	88,5	20	42	20	22
EG1	5+050	Droite	S5	23,5	29	37,5	52	76	31,5	29	17	12
EG1	5+050	Droite	S6	26	31,5	37	57	82	31,5	43	21	22
EG1	5+050	Droite	S7	27	31,5	37	59,5	90	25	51	23	29
EG1	5+050	Droite	S8	23	30,5	36	62	89	31,5	42	20	22
EG1	5+050	Droite	S9	23	29	42	63	89	20	47	21	26
EG1	5+050	Droite	S10	30,5	39	52,5	75,5	95	16	44	22	22
EG1	5+050	Droite	S11	22	28,5	37	59,5	94	25	38	18	20
EG1	5+050	Droite	S12	26	33	41,5	65	97	12,5	38	18	20
EG1	5+050	Droite	S13	25	30	40	58,5	88	20	38	18	20
EG1	5+050	Droite	S14	17	26	34,5	56	85,5	31,5	34	17	17
EG1	5+050	Droite	S15	29	39	45	64	89,5	25	46	23	23
EG1	5+050	Droite	S16	21	30	40	63,5	90,5	16	46	21	25
EG1	5+050	Droite	S17	24,5	32	38	62	88,5	40	50	25	25
EG1	5+050	Droite	S18	18	23	28,5	52	81,5	25	40,5	18,5	22
Nombre de valeurs				18	18	18	18	18	18	18	18	18
Valeur minimale				16	21,5	28	43,5	70	12,5	29	17	12
Valeur maximale				30,5	39	52,5	75,5	97	50	51	26	29
Valeur moyenne				**22,6**	**29,3**	**37,5**	**59,4**	**86,1**	**26,2**	**41**	**20**	**21**
Ecart type estimé				4,3	4,9	5,9	7,3	7,4	9,2	5,9	2,6	3,8
Coefficient de variation (%=				19,1	16,9	15,7	12,4	8,6	35,3	14,3	12,9	18,1

N° d'ordr	PK	Position	Sondage	Analyse granulométrique						Limites d'Atterberg		
				0,08	0,4	2	5	10	D max	WL	Wp	IP
EG3	16+070	Droite	S1	27,5	36,5	46	59	85	20	36	16	20
EG3	16+070	Droite	S2	22	33	46	64	92	40	29	14	15
EG3	16+070	Droite	S3	18,5	28,5	40	57	84,5	20	23	13	10
EG3	16+070	Droite	S5	17,5	28	42,5	56,5	79	25	19	12,5	6,5
EG3	16+070	Droite	S6	13	23	35	45	66,5	40	18	10	8
EG3	16+070	Droite	S7	17	26	33 , 5	54,5	88,5	25	21	13	8
EG3	16+070	Droite	S8	12,5	20	32	40,5	65,5	25	20	13	8
EG3	16+070	Droite	S9	13,5	25	25	45,5	71,5	50	18	11	7
EG3	16+070	Droite	S10	27,5	35	44	56,5	80	20	39	16	24
EG3	16+070	Droite	S11	21	27	36	46,5	74,5	25	33	18	15
EG3	16+070	Droite	S12	18,5	27	38,5	52,5	80	20	30	14	17
EG3	16+070	Droite	S13	15,5	26	37,5	58	87,5	20	25	14	11
EG3	16+070	Droite	S14	18	25,5	37	54	86,5	31,5	23	14	10
EG3	16+070	Droite	S15	26,5	36,5	54	77	96,5	16	28	13	16
EG3	16+070	Droite	S16	17,5	24,5	34,5	49,5	82	20	28	15	13
EG3	16+070	Droite	S17	19,5	28	39	57	87	20	26	12	24
EG3	16+070	Droite	S18	24,5	33	50	68,5	92,5	16	30	13	17
EG3	16+070	Droite	S19	17	26,5	41	54,5	79,5	25	30	17	13
EG3	16+070	Droite	S20	19	27,5	38,5	49	69,5	20	34	16	19
Nombre de valeurs				19	19	19	19	19	19	19	19	19
Valeur minimale				12,5	20	32	40,5	65,5	16	18	10	7
Valeur maximale				27,5	36,5	54	77	96,5	50	39	18	24
Valeur moyenne				**19,3**	**28,2**	**40**	**55**	**81,5**	**25,2**	**27**	**14**	**14**
Ecart type estimé				4,6	4,5	5,8	8,6	8,8	9,1	6,2	2	5,4
Coefficient de variation (%=				23,8	16,1	14,6	15,6	10,9	36	23,2	14,4	39,9

N° d'ordre	PK	Position	Sondages	Analyse granulométrique						Limites d'Atterberg		
				0,08	0,4	2	5	10	D max	WL	Wp	IP
EG5	36+150	Gauche	S1	22,5	28,5	42	66	91	16	22	14	8
EG5	36+150	Gauche	S2	22,5	30	49,5	73,5	94,5	16	22	15	7
EG5	36+150	Gauche	S3	18,5	26	40,5	59,5	87	25	23	14	10
EG5	36+150	Gauche	S5	31	36,5	54,5	78,5	96,5	20	32	14	18
EG5	36+150	Gauche	S6	24	32,5	52	74	95	25	24	13	11
EG5	36+150	Gauche	S7	19,5	26,5	43	64,5	91	20	21,5	11	10,5
EG5	36+150	Gauche	S8	22	28	42	62,5	88	20	25,5	16,5	9
EG5	36+150	Gauche	S9	19	24,5	35,5	64	95	16	19,5	10	9,5
EG5	36+150	Gauche	S12	27,5	34	50,5	68,5	89	16	24,5	11	13,5
EG5	36+150	Gauche	S13	27	33	46,5	66	92	20	21,5	11	10,5
EG5	36+150	Gauche	S15	24,5	29,5	39,5	61	93,5	16	20,5	10	10,5
EG5	36+150	Gauche	S16	24	30	38	54	80,5	20	24	10,5	13,5
EG5	36+150	Gauche	S17	24	29	37	54	87	25	22,5	13,5	8,5
EG5	36+150	Gauche	S18	16	23,5	38,5	53	80	25	17	12	5
EG5	36+150	Gauche	S19	16	22,5	33,5	58,5	90,5	16	20	11,5	8,5
EG5	36+150	Gauche	S20	13,5	20,5	33	51	75	25	19	11,5	7,5
Nombre de valeurs				16	16	16	16	16	16	16	16	16
Valeur minimale				13,5	20,5	33	51	75	16	17	10	5
Valeur maximale				31	36,5	54,5	78,5	96,5	25	32	17	18
Valeur moyenne				**22**	**28,4**	**42,2**	**63**	**89,1**	**20,1**	**22**	**12**	**10**
Ecart type estimé				4,7	4,4	6,6	8	6,1	3,8	3,3	1,9	3
Coefficient de variation (%=				21,2	15,4	15,7	12,7	6,8	19,1	14,8	15,4	30,6

N° d'ordre	PK	Position	Sondages	Analyse granulométrique						Limites d'Atterberg		
				0,08	0,4	2	5	10	D max	WL	Wp	IP
EG7	56+790	Gauche	S2	29	38	44	60	86	16	21,5	10	11,5
EG7	56+790	Gauche	S4	19	30,5	36,5	51	75	25	15	9	6
EG7	56+790	Gauche	S5	21	30,5	36	55	82	20	17,5	9	8,5
EG7	56+790	Gauche	S6	24	31,5	40	63,5	89	20	21,5	10,5	11
EG7	56+790	Gauche	S7	24,5	35	41,5	65,5	91	20	23	10,5	12,5
EG7	56+790	Gauche	S8	31	46	55	79	97,5	16	24	11,5	12,5
EG7	56+790	Gauche	S9	37,5	46,5	60	77	93,5	25	23,5	11,5	12
EG7	56+790	Gauche	S10	21	31	38	65	89,5	31,5	21	9,5	11,5
EG7	56+790	Gauche	S11	25	35	42	68,5	93	20	23	14	9
EG7	56+790	Gauche	S12	16	23,5	29,5	51,5	73,5	50	16,5	9,5	7
EG7	56+790	Gauche	S13	17,5	31	37	54	76,5	25	14	9	Imp
EG7	56+790	Gauche	S14	24,5	34	41	65,5	91	25	23	11	12
EG7	56+790	Gauche	S15	32	43	51,5	79	97,5	12,5	25	12	15
EG7	56+790	Gauche	S16	23,5	32,5	40	71	94,5	16	23	13,5	9,5
EG7	56+790	Gauche	S17	24,5	33	42	67	94,5	16	22,5	10,5	12
EG7	56+790	Gauche	S18	27,5	37	46	68,5	90	40	23,5	12	11,5
EG7	56+790	Gauche	S19	29	38	49,5	71,5	87	50	20,5	11	9,5
EG7	56+790	Gauche	S20	24	37	48	75	93,5	31,5	19	10,5	8,5
EG7	56+790	Gauche	S21	25	34,5	45	68,5	86,5	25	21,5	13,5	8
EG7	56+790	Gauche	S22	24	31,5	40	60,5	90	31,5	28	18	10
Nombre de valeurs				20	20	20	20	20	20	20	20	19
Valeur minimale				16	23,5	29,5	51	73,5	12,5	14	9	6
Valeur maximale				37,5	46,5	60	79	97, 5	50	28	18	15
Valeur moyenne				**25**	**35**	**43,1**	**65,8**	**88,6**	**25,8**	**21**	**11**	**10**
Ecart type estimé				5,1	5,5	7,1	8,5	7	10,7	3,4	2,2	2,2
Coefficient de variation (%=				20,3	15,9	16,4	13	7,9	41,4	16,1	19,2	21,4

N° d'ordre	PK	Position	Sondages	Analyse granulométrique						Limites d'Atterberg		
				0,08	0,4	2	5	10	D max	WL	Wp	IP
EG9	76+780	Droite	S1	23	31,5	43	70	89	20	27,5	15	12,5
EG9	76+780	Droite	S2	27,5	32	40	65	95	25	39,5	20	19,5
EG9	76+780	Droite	S3	28	32,5	42,5	71	96	16	44,5	20	21,5
EG9	76+780	Droite	S4	28,5	33,5	45,5	77	97,5	16	41	18	23
EG9	76+780	Droite	S6	19,5	27,5	39,5	68	92	16	37,5	19,5	18
EG9	76+780	Droite	S8	24	29,5	37,5	60	84	25	34	16	18
EG9	76+780	Droite	S9	34,5	39	48,5	80	99	20	38	20	18
EG9	76+780	Droite	S10	24,5	29,5	37,5	65	93,5	20	34,5	18	16,5
EG9	76+780	Droite	S11	31,5	38	51	75,5	95	16	30	15,5	14,5
EG9	76+780	Droite	S12	18	25	40,5	79	95,5	20	25	12,5	12,5
EG9	76+780	Droite	S13	18	24,5	39,5	71,5	91	20	26	15,5	10,5
EG9	76+780	Droite	S14	12	17,5	29,5	72,5	98,5	16	28,5	15,5	13
EG9	76+780	Droite	S15	17	22	30	61	89	20	38,5	20	18,5
EG9	76+780	Droite	S16	21	25	30,5	73	95,5	20	38,5	19,5	19
EG9	76+780	Droite	S17	20,5	26	3,5	55,5	85,5	20	32	17,5	14,5
EG9	76+780	Droite	S18	21,5	26,5	32	54	84,5	20	36	17,5	18,5
EG9	76+780	Droite	S20	32	38	43,5	65,5	90	16	39,5	24	15,5
EG9	76+780	Droite	S21	16	22,5	28,5	49	72	40	32	21	11
EG9	76+780	Droite	S22	21	27,5	39	65	87,5	16	32	19,5	12,5
EG9	76+780	Droite	S23	14	19	29	64,5	95	16	30,5	18	12,5
EG9	76+780	Droite	S24	18	21	28	59	82,5	40	34	16	18
EG9	76+780	Droite	S25	18	23,5	30	65,5	92	50	33,5	15,5	18
EG9	76+780	Droite	S27	34,5	29,5	47	82,5	99	16	41,5	21,5	20
EG9	76+780	Droite	S28	15	20,5	25	47,5	70,5	63	30	15	15
Nombre de valeurs				24	24	24	24	24	24	24	24	24
Valeur minimale				12	17,5	25	47,5	70,5	16	25	13	11
Valeur maximale				34,5	39,5	51	82,5	99	63	45	24	23
Valeur moyenne				**22,4**	**28**	**37**	**66,5**	**90,4**	**23,6**	**34**	**18**	**16**
Ecart type estimé				6,5	6,4	7,4	9,3	7,6	12,2	5,2	2,7	3,4
Coefficient de variation (%=				29	23,1	20	14,1	8,4	51,7	15,1	14,8	20,9

N° d'ordre	PK	Position	Sondages	Analyse granulométrique						Limites d'Atterberg		
				0,08	0,4	2	5	10	D max	WL	Wp	IP
EG11	97+700	Droite	S1	15,5	30	35	58,5	85	50	22,5	13	9,5
EG11	97+700	Droite	S2	17	25,5	32	60	89	50	27,5	17	10,5
EG11	97+700	Droite	S3	15	23,5	29	60	88	50	30	16	14
EG11	97+700	Droite	S5	18,5	32	40	62,5	82	50	28,5	13,5	15
EG11	97+700	Droite	S6	14,5	24,5	29,5	53,5	86,5	40	23,5	12,5	11
EG11	97+700	Droite	S7	16	24	28	56,5	88	31,5	25,5	13,5	12
EG11	97+700	Droite	S8	19	28	33,5	69	97	16	30,5	19	11,5
EG11	97+700	Droite	S9	18,5	26,5	31,5	64	92,5	40	34,5	19,5	15
EG11	97+700	Droite	S10	16,5	24	31,5	64	90,5	31,5	40,5	19	21,5
EG11	97+700	Droite	S11	16	23,5	29,5	70,5	98	16	31	15,5	15,5
EG11	97+700	Droite	S12	23,5	31,5	41	70	93	31,5	28	16	12
EG11	97+700	Droite	S13	14,5	24	29,5	59,5	89	31,5	23	2,5	10,5
EG11	97+700	Droite	S14	16	22,5	25,5	46	80,5	31,5	27,5	16,5	11
EG11	97+700	Droite	S15	15	18	23	70,5	98	12,5	42	18	24
EG11	97+700	Droite	S16	11,5	17	21,5	69	95,5	31,5	24	13	11
EG11	97+700	Droite	S17	9	17	22	50,5	78,5	40	24	14	10
EG11	97+700	Droite	S18	10	14,5	20	50	81	31,5	25	12	13
Nombre de valeurs				17	17	17	17	17	17	17	17	17
Valeur minimale				9	14,5	20	46	78,5	12,5	23	12	10
Valeur maximale				23,5	32	41	70,5	98	50	42	20	24
Valeur moyenne				**15,6**	**23,9**	**29,5**	**60,8**	**88,9**	**34,4**	**29**	**15**	**13**
Ecart type estimé				3,4	5	6	7,7	6,2	11,9	5,8	2,5	4
Coefficient de variation (%=				22	21,1	20,3	12,7	7	34,7	20,1	16,6	30

N° d'ordre	PK	Position	Sondages	Analyse granulométrique						Limites d'Atterberg		
				0,08	0,4	2	5	10	D max	WL	Wp	IP
EG13	110+650	Droite	S1	36,5	40,5	44	70	94,5	16	37	19,5	17,5
EG13	110+650	Droite	S2	35,5	42,5	48,5	64	84,5	31,5	29	14	15
EG13	110+650	Droite	S3	17	23,5	29	53,5	76	25	23,5	12,5	11
EG13	110+650	Droite	S4	33,5	40	46,5	66,5	81	40	26	14	12
EG13	110+650	Droite	S5	19,5	27	33	57	73,5	40	20,5	12	8,5
EG13	110+650	Droite	S6	17,5	23	30	55	76,5	40	25	13,5	11,5
EG13	110+650	Droite	S7	19,5	26	33	58	90	16	22	11,5	10,5
EG13	110+650	Droite	S8	29	35,5	42,5	78,5	97	12,5	36	17,5	18,5
EG13	110+650	Droite	S9	26	31	37,5	62,5	89,5	20	32	14,5	17,5
EG13	110+650	Droite	S10	24	30	34,5	61	81	31,5	24	12,5	11,5
EG13	110+650	Droite	S11	27	32	37	69	92	25	29	16	13
EG13	110+650	Droite	S12	32	40	49	69,5	89	16	28,5	12,5	16
EG13	110+650	Droite	S13	16,5	22	28,5	48,5	73	40	26,5	15,5	11
EG13	110+650	Droite	S14	24	31	37	60	91	25	26	13	13
EG13	110+650	Droite	S15	37,5	46	54,5	90	99	16	32	18	14
Nombre de valeurs				15	15	15	15	15	15	15	15	15
Valeur minimale				16,5	22	28,5	48,5	73	12,5	21	12	9
Valeur maximale				37,5	46	54,5	90	99	40	37	20	19
Valeur moyenne				**26,3**	**32,7**	**39**	**64,2**	**85,8**	**26,3**	**28**	**14**	**13**
Ecart type estimé				7,4	7,7	8,1	10,4	8,6	10,2	4,8	2,4	3
Coefficient de variation (%=				28,2	23,6	20,8	16,3	10	38,9	17,4	16,6	22,2

Annexes 7 Note de calcul de dimensionnement obtenu par le logiciel Alize-LCPC

Alizé-Lcpc - Dimensionnement des structures de chaussées
selon la méthode rationnelle Lcpc-Sétra

Signalement du calcul :
- données Structure : saisie écran, sans nom
- titre de l'étude : sans titre

données Chargement :
- jumelage standard de 65 kN
- pression verticale : 0,6620 MPa
- rayon de contact : 0,1250 m
- entraxe jumelage : 0,3750 m

unités : m, MN et MPa ; déformations en µdéf ; déflexions en mm/100
notations :
X=axe tranversal Y=axe longitudinal Z=axe vertical
R=axe vertical roue J=axe vertical entre-jumelage

Tableau 1+2 (synthèse) :
tractions principales majeures dans le plan horizontal XoY et
compressions principales majeures selon la verticale ZZ ; déflexion maximale

	niveau calcul	EpsilonT horizontale	SigmaT horizontale	EpsilonZ verticale	SigmaZ verticale
			surface (z=0.000)		
h= 0,050 m E= 1300,0 MPa nu= 0,350	0,000m 0,050m	-10,2 X-J -21,7 X-R	0,010 X-J 0,033 Y-J	297,8 Z-R 332,4 Z-R	0,660 Z-R 0,645 Z-R
			collé (z=0,050m)		
h= 0,080 m E= 2700,0 MPa nu= 0,350	0,050m 0,130m	-21,7 X-R -18,4 Y-R	0,049 Y-J 0,070 Y-J	172,0 Z-R 126,5 Z-R	0,645 Z-R 0,468 Z-R
			collé (z=0,130m)		
h= 25,000 m E= 5000,0 MPa nu= 0,250	0,130m 25,130m	-18,4 Y-R 0,0 Y-J	0,017 Y-J 0,000 Y-J	89,5 Z-R 0,0 Z-J	0,468 Z-R 0,000 Z-R
			collé (z=25,130m)		
h= 10,000 m E= 200,0 MPa nu= 0,350	25,130m 35,130m	0,0 Y-J 0,0 Y-J	0,000 Y-J 0,000 Y-J	0,0 Z-J 0,0 Z-J	0,000 Z-J 0,000 Z-J
			collé (z=35,130m)		
h= 30,000 m E= 90,0 MPa nu= 0,350	35,130m 65,130m	0,0 Y-J 0,0 Y-J	0,000 Y-J 0,000 Y-J	0,0 Z-J 0,0 Z-J	0,000 Z-J 0,000 Z-J
			collé (z=65,130m)		
h infini E= 45,0 MPa nu= 0,350	65,130m	0,0 Y-J	0,000 Y-J	0,0 Z-J	0,000 Z-J

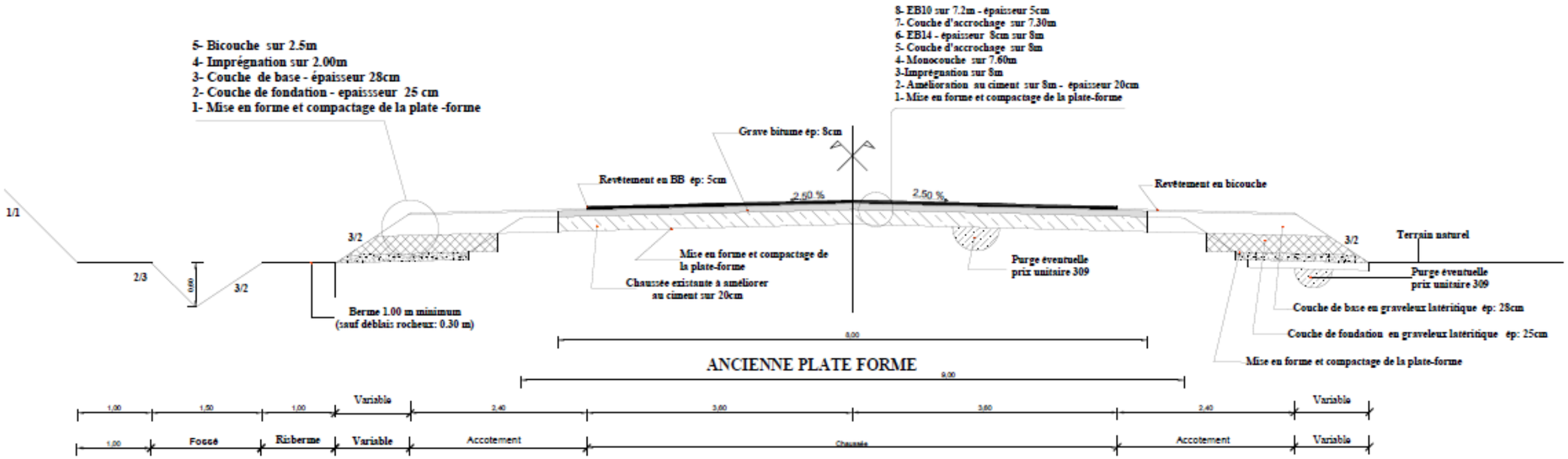
Déflexion maximale = 2,7 mm/100 (entre-jumelage)
Rayon de courbure = 1425,9 m (entre-jumelage)

Calcul de Valeur admissible - matériau : traité aux liants hydraulique - sc1
données de trafic :
MJA = 270 pl/j/sens/voie
accroisst arith. = 5,00%

période de calcul = 15,0 années
trafic cumulé NPL = 1 995 600 PL
donnée déduite :
accroisst géom. = 4,15%
trafic cumulé équivalent NE :
coefficient CAM = 1,30
trafic cumulé NE = 2 594 300 essieux standard
données sur le matériau :
Sigma6 = 0,210 MPa
pente inverse 1/b = -12,00
écart type Sh = 0,025 m
écart type SN = 0,800
risque = 5,0%
coefficient Kr = 0,7290
coefficient 1/Kd = 1,0000
coefficient 1/Ks = 1/1,2
coefficient Kc = 1,5
SigmaT admissible = 0,177 MPa

Annexes 8 Profils en travers types

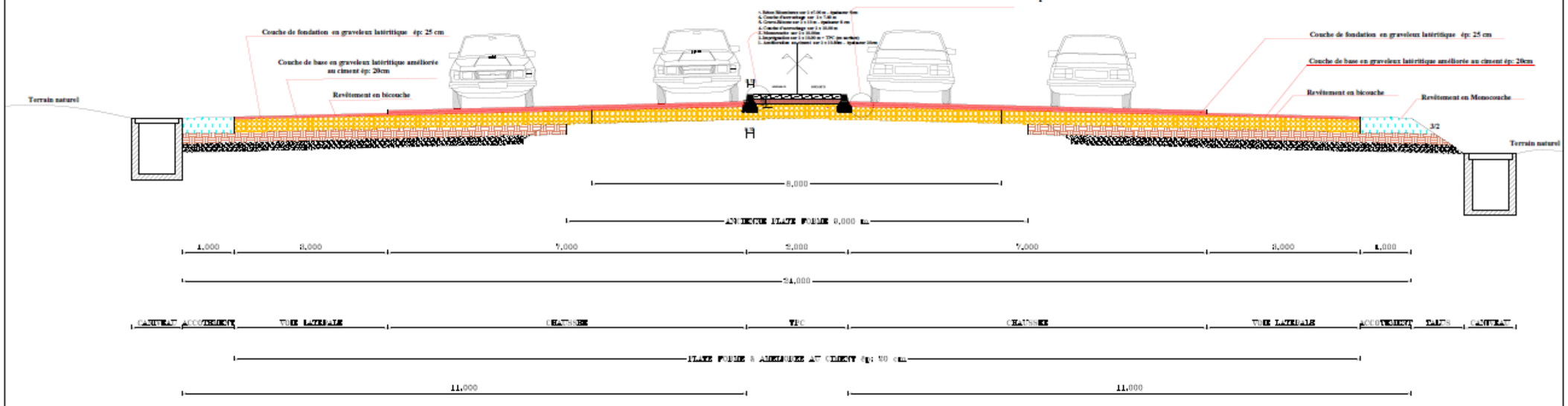
PROFIL EN TRAVERS RASE CAMPAGNE TYPE 1 BIS



INSTITUT INTERNATIONAL D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT	MEMOIRE DE FIN D'ETUDE THEME: ETUDE DE RENFORCEMENT DE LA RN1 ENTRE SAKOINSE ET BOROMO **PLANS TYPES** **PROFIL EN TRAVERS TYPE 2 BIS**	BABA DAYA William 2014-2015 ECHELLE : 1/50 PLAN N° III.1.1

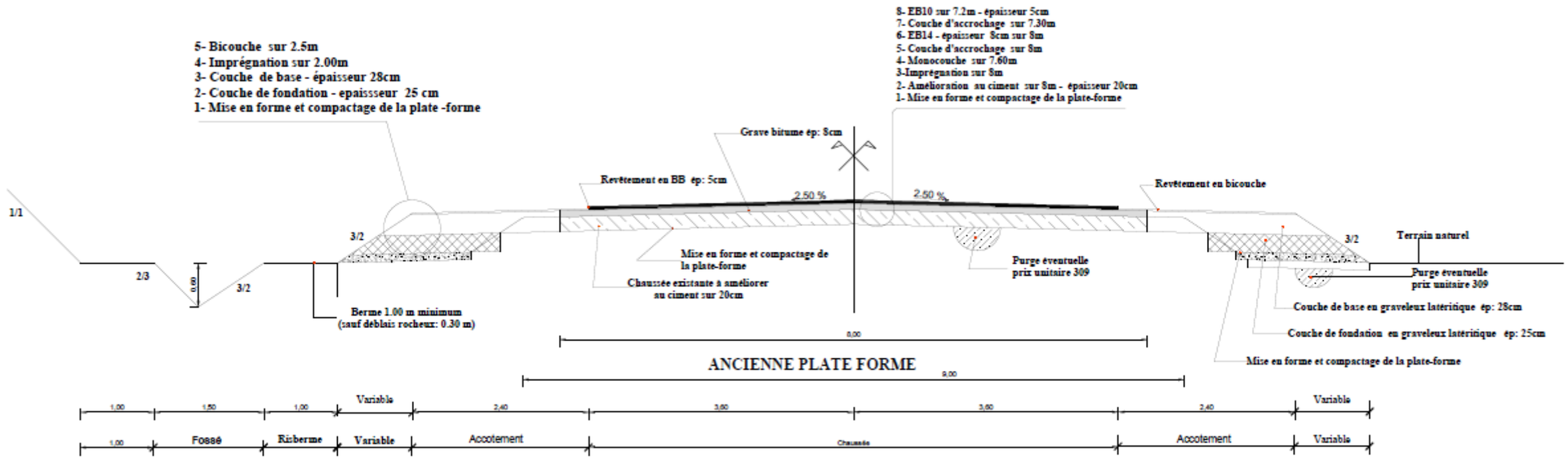
PROFIL EN TRAVERS TYPE 6 BIS BOROMO

7- Béton Bitumineux sur 2 x7.00 m - épaisseur 5cm
6- Couche d'accrochage sur 2 x 7.00 m
5- Grave-Bitume sur 2 x 10 m - épaisseur 8 cm
4- Couche d'accrochage sur 2 x 10.00 m
3- Monocouche sur 2 x 10.00m
2-Imprégnation sur 2 x 10.00 m + TPC (en surface)
1- Amélioration au ciment sur 2 x 10.80m - épaisseur 20cm



INSTITUT INTERNATIONAL D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT	MEMOIRE DE FIN D'ETUDE THEME: ETUDE DE RENFORCEMENT DE LA RN1 ENTRE SAKOINSE ET BOROMO **PLANS TYPES** **PROFIL EN TRAVERS TYPE 6 BIS**	BABA DAYA William 2014-2015 ECHELLE : 1/50 PLAN N° III.1.4

PROFIL EN TRAVERS RASE CAMPAGNE TYPE 1 BIS



INSTITUT INTERNATIONAL D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT	MEMOIRE DE FIN D'ETUDE THEME: ETUDE DE RENFORCEMENT DE LA RN1 ENTRE SAKOINSE ET BOROMO PLANS TYPES PROFIL EN TRAVERS TYPE 2 BIS	BABA DAYA William 2014-2015 ECHELLE : 1/50 PLAN N° III.1.1

Annexes 9 Devis quantitatif et estimatif de la solution proposée

N°	DESIGNATION	UNITE	PRIX UNITAIRE	QUANTITE	TOTAL
300	**Terrassements généraux**	m^3	5 500	81 000	445 500 000
301	Déblai mis en dépôt	m3	6 000	101 000	606 000 000
302	Déblai mis en remblai	m3	8 500	41 000	348 500 000
303	Géotextile	m²	1 500	42 000	63 000 000
304	PV transport supérieur à 5 km	m3.km	375	1 400 000	525 000 000
305	Mise en forme plateforme	m²	350	651 035	227 862 250
306	Fourniture et mise en œuvre de grille en verre	m²	2 475	1 018 000	2 519 550 000
307	Déblai Rocheux	m3	15 000	500	7 500 000
	Sous total				**4 742 912 250**
400	**Chaussée**				
401	Couche de fondation	m3	8 000	103 500	828 000 000
402	Couche de base	m3	8 500	100 200	851 700 000
402a	Fourniture et transport de GNT 0/20	m3	34 000	28	952 000
403	Rechargement des accotements en latérite	m3	9 000	21 000	189 000 000
405	Amélioration au ciment	m3	4 000	269 000	1 076 000 000
406	fourniture ciment	T	160 000	18 000	2 880 000 000
407	Bitume	T	625 000	5 800	3 625 000 000
408	Mise en œuvre de l'imprégnation	m²	75	1 650 035	123 752 625
409	Fourniture gravillon du bicouche	m3	41 000	25 000	1 025 000 000
409a	Mise en œuvre du bicouche	m²	900	777 000	699 300 000
410	Mise en œuvre du monocouche	m²	600	1 020 000	612 000 000
411	Mise en œuvre de la couche d'accrochage	m²	60	3 000 070	180 004 200
412	Fourniture et mise en œuvre de la grave bitume	m3	130 000	27 705	3 601 650 000
413	Fourniture et mise en œuvre du béton bitumineux roulement	m3	150 000	45 202	6 780 300 000
414	Fourniture et mise en œuvre du béton bitumineux liaison	m3	150 000	32 800	4 920 000 000
					27 392 658 825
	Total général hors TVA				**32 135 571 075**
	TVA 18%				5 784 402 794
	Droit d'enregistrement 3%				964 067 132
	Patente 2%				642 711 422
	Montant total TTC provisions				39 526 752 422
	Révisions de prix 10%				395 267 524
	Montant total TTC après révision				**39 922 019 946**