



Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
International Institute for Water and Environmental Engineering

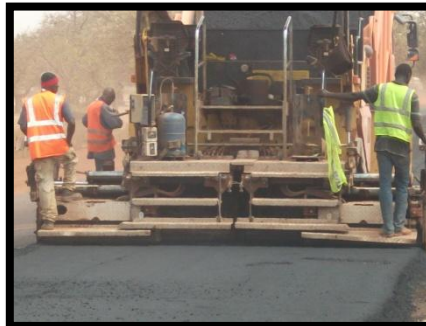


01 BP 594 Ouagadougou 01 Tel : (226) 50 30 71 16/17 – 50 30 20 53 Fax : (226) 31 27 24 Email : www.2ie-edu.org



THEME :

**Renforcement des routes bitumées au
Burkina-Faso : Cas de la RN1 entre
Ouagadougou et Sakoinsé**



MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER EN GENIE CIVIL

Présenté et soutenu publiquement le JUIN 2012 par :

THIERRY BAOWENDSOM OUEDRAOGO

Travaux dirigés par:

Jury d'évaluation du stage:

*Dr GUEYE ISMAÏLA
Enseignant Chercheur 2ie
UTER ISM*

*Mr SANA ALI
Ingénieur Géotechnicien LNBTP*

*PRESIDENT
Mr*

*MEMBRES ET CORRECTEURS
Mr
Mr
Mr*

DEDICACES

A L'ETERNEL, LE DIEU TRES SAINT

- ✓ *À mes parents OUEDRAOGO David et KABRE Ruth, pour le sacrifice énorme consenti à mes études ;*
- ✓ *À mes sœurs Nadège, Janine et Prisca pour les encouragements perpétuels, le soutien moral, la joie et la sécurité qu'elles m'apportent ;*
- ✓ *À tous mes amis et camarades pour leur soutien et leur générosité indéfectible ;*

A vous tous, je formule ma profonde gratitude pour les multiples peines que vous avez endurées et pour tout votre soutien. Que le Seigneur vous le rende au centuple.

« Je travaillerai avec enthousiasme, j'aurai une attitude joyeuse et je viserai toujours l'excellence. »

REMERCIEMENTS



Ce mémoire de fin de cycle n'aurait pas vu le jour sans le concours combien précieux et varié de tous ceux qui ont œuvré de près ou de loin à l'édification du jeune ingénieur que je suis. Que tous ceux qui, par l'intérêt qu'ils ont bien voulu accorder à ce mémoire trouvent ici l'expression de ma gratitude.

Je voudrais tout d'abord adresser mes remerciements les plus sincères à mes encadreurs :

- ✚ **M. GUEYE Ismaila**, Enseignant Chercheur au 2iE, pour son assistance, sa disponibilité et tous ses conseils prodigués tout au long du mémoire ;
- ✚ **M. SANA Ali**, Chef du département géotechnique routière du LNBTP, qui a proposé ce thème de mémoire, et pour m'avoir fourni toutes les données disponibles pour l'étude.

Mes remerciements vont également à l'endroit de :

- ✓ **M. KABORE Kalsibiri**, Directeur General par intérim du LNBTP pour m'avoir reçu, conduit et recommandé auprès du département géotechnique routière du LNBTP;
- ✓ **M. TRAORE**, pour n'avoir ménagé aucun effort dans la programmation et à la recherche d'une assistance au bon déroulement de ce mémoire ;
- ✓ **Mlle. KAFANDO P. Gertrude Eulola** chef de mission de contrôle du projet pour sa disponibilité à répondre à toutes les questions relatifs au bon déroulement de ce mémoire et pour m'avoir permis d'effectuer des visites sur le chantier ;

Enfin, je remercie :

- ➔ Mes parents, mes sœurs et toute la grande famille OUEDRAOGO ;
- ➔ Tous mes amis, et particulièrement, Armel P., Désire K., Thierry Fabrice O., Anderson S., Mathieu I., Jeremy V., Privilège G., et Boubacar M., pour leur soutien surtout moral et spirituel ;
- ➔ Mon inséparable Régis Félix Sidsom KOMPAORE avec qui je formais un « doublé dynamique ».
- ➔ Toute l'équipe pédagogique du 2iE ainsi que tous les étudiants du 2iE (promotion 2009-2012) pour l'ambiance, l'esprit de paix et d'harmonie qu'ils ont su préserver au sein de l'institut.

Toute ma reconnaissance à DIEU ; qu'il vous bénisse au-delà et par-dessus toutes vos attentes.

RESUME



Dans le cadre de la stratégie cohérente et dynamique du développement du secteur des transports initié par le gouvernement du **BURKINA FASO**, il a été confié au groupement d'entreprise **FADOUL-COGEB** l'exécution des travaux de renforcement de la Route Nationale N°1 entre Ouagadougou et Sakoinsé. C'est un tronçon long d'environ 51 Km allant du **Pk00+000** (en face du lycée Bethesda) jusqu'au **Pk50+286** (carrefour sakoinsé).

Au vu des nombreuses interventions menées sur ce tronçon depuis sa construction en 1978, un renforcement de la chaussée apparaissait comme une solution optimale. Le renforcement de ce tronçon va garantir une meilleure résistance aux surcharges à l'essieu et augmenter sa durée de vie. Afin d'atteindre ses objectifs des études préliminaires comme des campagnes de déflexion, des études de trafic et un dimensionnement de la nouvelle structure de chaussée ont été réalisés.

Ce projet, propose alors de rajouter à l'ancienne chaussée existante **32cm** de renforcement composé de **15 cm** de **GNT** en couche de fondation, **12 cm** de **GB** en couche de base et **5 cm** de **BB** en revêtement pour un coût de mise en œuvre total de **26.763.583.694 FCFA TTC**. C'est l'état de dégradation de la chaussée due à l'augmentation considérable du trafic de poids lourds qui a conduit au choix de renforcement de la Route Nationale N°1. Les déformations dans les couches, la mise en œuvre et surtout le coût ont été les critères de choix de la nouvelle structure.

Au cours de l'exécution des travaux, une mission de contrôle est chargée du suivi. Ainsi, des études de matériaux et de même que des essais in-situ sont réalisés pendant et après la mise en œuvre des différentes couches de la structure par l'équipe du **LNBTP**.

Mots Clés :

-
- 1 - travaux de renforcement**
 - 2 - Route Nationale N°1**
 - 3 - études de trafic**
 - 4 - dimensionnement**
 - 5 - études de matériaux**

ABSTRACT



Under the strategy of consistent and dynamic development of the transport sector initiated by the Government of BURKINA FASO, he was assigned to company group FADOUL-COGEB the execution work of strengthening of National Road No. 1 between Ouagadougou and Sakoinsé. It's a long section of about 51 Km from Pk00 000 (across from High School Bethesda) to PK50 286 (sakoinsé crossroads).

Given the number of interventions on this section since its construction in 1978, the strengthening of this roadway appeared to be an optimal solution. The strengthening of this section will ensure better resistance to axles overloads and increase its lifespan. To achieve its objectives, the preliminary studies like campaigns of deflection, traffic studies and sizing of new structure of roadway has been made.

This project proposes then to add to the old existing roadway a **32cm** of strengthening compound **15 cm** of **GNT** in subbase, **12 cm** of **GB** in base layer and **5 cm** of **BB** in coating for a total cost of implementation of **26,763,583,694 FCFA TTC**. It's the state of roadway degradation due to the considerable increase of heavy weight traffic which led to the choice of strengthening of National Road No. 1. The deformations in the layers, the implementation and above all the cost were the selection criteria of the new structure.

During the execution of works, a mission of control is responsible for monitoring. Thus, studies of materials as well as field tests are performed during and after the implementation of the different layers of the structure by the team of LNBTP.

Keywords:

-
- 1 - Works of strengthening
 - 2 - National Road No. 1
 - 3 - Traffic Studies
 - 4 - Sizing
 - 5 - materials studies

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

2ie : Institut Internationale de l'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

BB : Béton Bitumineux

CAM : Coefficient d'Agressivité Moyen

CEBTP : Centre Expérimental du Bâtiment et de Travaux Publics

DGR : Direction Générale des Routes

GB : Grave Bitume

GNT : Grave Non Traité

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

LNBT : Laboratoire National du Bâtiment et de Travaux Publics

NE : Nombres Equivalents

NPL : Nombre de Poids Lourds

PK : Point Kilométrique

RN1 : Route Nationale N°1

TdR : Termes de Référence

TJMA : Trafic Journalier Moyen Annuel

TABLE DES MATIERES



DEDICACES	ii
REMERCIEMENTS	iii
RESUME	iv
ABSTRACT	v
Liste des sigles et abréviations	vi
TABLE DES MATIERES	1
Liste des figures et tableaux	3
CHAPITRE 1 Introduction générale	4
1.1 Problématique.....	4
1.2 Objectifs.....	5
1.3 Méthodologie.....	5
CHAPITRE 2 Synthèse bibliographique	7
2.1 Présentation du projet.....	7
2.2 Les différents types de chaussées.....	9
2.2.1 Les chaussées souples ou flexibles.....	9
2.2.2 Les chaussées semi-rigides.....	9
2.2.3 Les chaussées rigides.....	9
2.3 Sollicitations des chaussées.....	10
2.3.1 Sollicitations mécaniques.....	10
2.3.2 Sollicitations thermiques.....	11
2.4 Renforcement des routes bitumées.....	11
Chapitre: 3 Etudes géotechniques	14
3.1 Reconnaissances préalables.....	14
3.1.1 Études préliminaires.....	14
3.1.2 Études détaillées.....	14
3.2 Essais sur les granulats.....	16
3.2.1 Echantillonnage.....	16
3.2.2 Analyse granulométrique.....	17
3.2.3 Mesure du coefficient d'aplatissement.....	19

3.2.4 Essai de propreté superficielle	20
3.3 Essais sur les enrobés bitumineux	20
3.3.1 Essai Duriez.....	21
3.3.2 Essai Marshall	21
3.3.3 Essai de détermination de la teneur en bitume (méthode Kumagawa)	21
Chapitre 4 : Proposition de la nouvelle structure de chaussée.....	23
4.1 Classe de trafic	25
4.2 La portance du sol support	27
4.3 Déroulement de calcul	28
4.3.1 Application de la méthode CEBTP	28
4.3.2 Calcul des contraintes et déformations admissibles	29
4.3.3 Vérifications par le logiciel Alizé.....	30
4.4 Conclusion	32
Chapitre : 5 Etude technico-économique	33
5.1 Diagnostique des différents types de renforcement	33
5.2 Coûts de mise en œuvre des variantes retenues	35
5.3 Proposition de choix	35
5.3.1 Au vue des déformations obtenues	36
5.3.2 Au vue des techniques de mise en œuvre	37
5.3.3 Au vue des différents coûts	37
5.4 Conclusion	37
Conclusion générale.....	38
Recommandations	39
Références Bibliographique.....	41
ANNEXES	42

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

- Figure 2.1.a : Présentation de la zone d'étude
- Figure 2.1.b: Carte de localisation du projet
- Figure 2.3: Les différents types de dégradations de la chaussée
- Figure 4: Schéma de fonctionnement d'une structure de chaussée sous l'application d'une charge roulante
- Figure 4.3.1.4: Moteur de calcul Alizé
-
- Tableau 3.2.2 : Analyse granulométrique par tamisage
- Tableau 3.2.3 : Mesure du coefficient d'aplatissement
- Tableau 3.2.3 Détermination de la propreté superficielle
- Tableau 4.1 : Classes de trafic définies par le CEBTP en Afrique francophone
- Tableau 4.2 : Classes des sols en fonction du CBR
- Tableau 4.3.1.2 Récapitulatifs des valeurs des paramètres
- Tableau 4.3.1.4 : Valeur des contraintes de ruptures
- Tableau 5.1.a : Proposition des nouvelles structures de chaussées choisies
- Tableau 5.1.b : Résumé des paramètres entrant dans le dimensionnement
- Tableau 5.2 : Coûts de réalisation en fonction des variantes
- Tableau 5.3.1 Vérification du modèle de structure (programme ALIZE)

CHAPITRE 1 Introduction générale

1.1 Problématique

«La route du développement passe nécessairement par le développement de la route », disait le professeur Prud'homme. C'est ainsi que les infrastructures routières jouent un rôle primordial dans le programme de développement d'un pays. De ce fait, pour désenclaver tous les grands centres du territoire national et pour assurer une continuité des transports, le BURKINA FASO a entrepris des travaux de renforcement du tronçon de la Route Nationale N°1 entre Ouagadougou et Sakoinsé.

Le tronçon Ouagadougou-Sakoinsé est une partie de la RN1 (Ouagadougou-Bobo-Dioulasso) qui représente l'un des principaux axes routiers du Burkina Faso. C'est la route bitumée la plus importante et la plus utilisée du pays. Dans le cadre des échanges économiques, la RN1 représente l'artère principale sur le plan national aussi bien que sur le plan du transit international car elle joue un rôle très important dans les échanges entre les pays de l'hinterland (Mali, Burkina Faso, Niger) et le littoral. L'intervention importante et majeure qui a été faite sur la RN1 était dans le cadre des Travaux d'entretien périodique et de resurfacement de la RN1 (Tronçon Ouagadougou – Boromo exécutés par le groupement d'entreprise RAZEL FRERES – BILFINGER– BERGER). Ces travaux ont consisté en une réhabilitation de la route existante sans toutefois modifier son tracé en plan afin d'obtenir le niveau de service imposé par le trafic constaté. Ces travaux ont été réalisés pour une durée de vie de l'ouvrage de 15 ans mais au bout de six (06) mois, le tronçon Ouagadougou - Sakoinsé a été dégradé due à la mauvaise mise en œuvre de la couche de roulement en BB par le groupement d'entreprise.

La RN1 est une route particulièrement importante pour les relations interrégionales et a une fonction essentielle pour le développement économique du Burkina Faso. Elle nécessite un renforcement de sa structure de chaussée afin de pouvoir satisfaire aux exigences des usagers automobiles car on y constate dernièrement, une importante augmentation du trafic, en particulier de poids lourds entraînant ainsi des dégradations précoces de la chaussée.

Il a donc été confié, après appel d'offres internationales, au Groupement d'entreprises **FADOUL TECHNIBOIS / COGEB INTERNATIONAL S.A** la charge d'exécuter les Travaux de Renforcement du tronçon de la RN1 entre Ouagadougou et Sakoinsé après une

étude technico-économique, technique détaillée de sécurité routière, environnementale et sociale. L'ensemble du contrôle d'exécution et de réception des travaux est assuré par le **LNBTP**.

1.2 Objectifs

L'objectif général assigné à ce travail est de faire des propositions techniques en matière de renforcement des Routes au Burkina Faso avec l'étude de cas des travaux de renforcement du tronçon Ouagadougou-Sakoinsé. Cette étude débouchera sur des recommandations et des pistes de réflexion en vue de proposer des solutions techniques.

Le travail devra viser les objectifs spécifiques suivants :

- ✓ Analyser les principaux paramètres conduisant aux choix de renforcement des routes bitumées ;
- ✓ Définir les caractéristiques des matériaux de base entrant dans la composition des enrobés bitumineux ;
- ✓ Collecter et analyser les données géotechniques sur les travaux de renforcement des routes Ouagadougou-koupéla, Ouagadougou-Po-Frontière du Ghana et Ouagadougou-Sakoinsé ;
- ✓ Proposer le type de renforcement le mieux adapté aux conditions climatiques et aux surcharges à l'essieu.

1.3 Méthodologie

Pour atteindre les objectifs cités ci-dessus, notre travail a été hiérarchisé de la façon suivante :

- ❖ Etape préliminaire
 - ✚ Recherche documentaire
 - ✚ Elaboration du cadre logique
- ❖ Collecte des données
 - ✚ CPT
 - ✚ Données sur les matériaux
 - ✚ Données sur les renforcements antérieurs
- ❖ Travaux sur terrain
 - ✚ Visite de site d'emprunts
 - ✚ Visite de carrières
 - ✚ Visite du site d'exécution des travaux

- ✚ Diagnostiques visuels
- ❖ Travaux de laboratoire
 - ✚ Identification et caractérisation des matériaux
 - ✚ Essai de vérification
- ❖ Rédaction du rapport
- ❖ Recommandations finales

CHAPITRE 2 Synthèse bibliographique

2.1 Présentation du projet

Le présent projet consiste en la réalisation des travaux de renforcement de la Route Nationale N°1 entre Ouagadougou et Sakoinsé (jusqu'au carrefour de Koudougou).

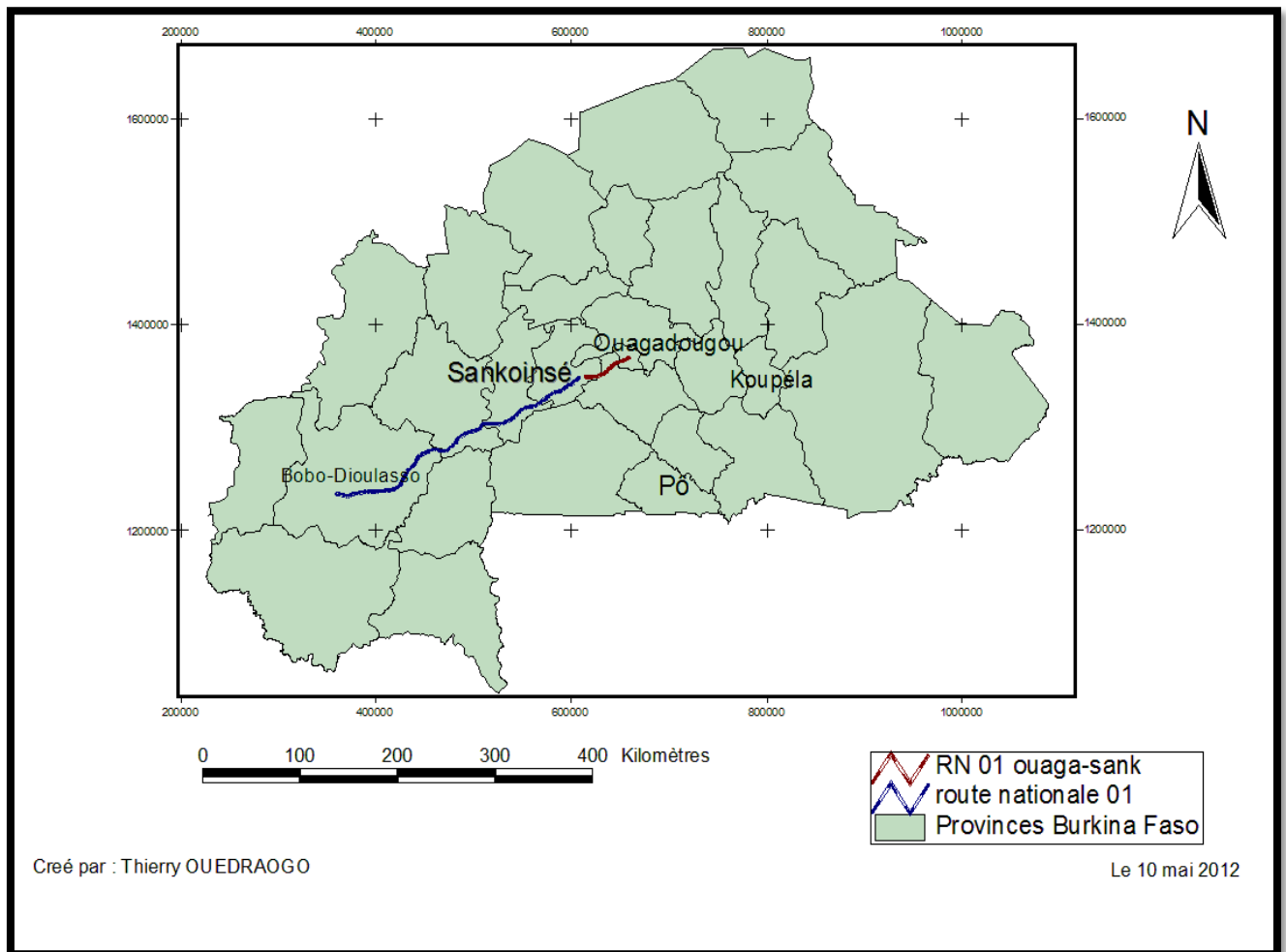


Figure 2.1.a : Présentation de la zone d'étude

Le tronçon est long de 51 km comme le montre la figure ci-dessus et l'ensemble des travaux comprend notamment :

- ✓ La réalisation des terrassements pour l'élargissement des routes et pour les variantes;
- ✓ L'aménagement des embranchements ;
- ✓ L'exécution du corps de chaussée ;
- ✓ La mise en œuvre d'une couche de renforcement en GB d'épaisseur 15/16 cm ;
- ✓ La mise en œuvre d'un revêtement en Béton-Bitumineux d'épaisseur 5 cm ;

Renforcement des routes bitumées au BURKINA-FASO : cas de la route nationale N°1 entre Ouagadougou et Sakoinsé

- ✓ La mise en œuvre du revêtement en enduits superficiels bicouche sur les accotements ;
- ✓ La réalisation de l'assainissement hydraulique longitudinal et transversal ;
- ✓ L'exécution des travaux d'aménagement (rallongement des cadres et aménagements des blocs techniques) des dalots existants pour leur adaptation à la chaussée du projet ;
- ✓ L'exécution d'un pont de 13,50 m de longueur en substitution du pont existant au Pk 5.3 ;
- ✓ La mise en place d'une signalisation et des équipements routiers.

Le projet traverse 3 grandes provinces à savoir : le bazega (kombissiri), le boulkienme (Koudougou), et le kadiogo (Ouagadougou).

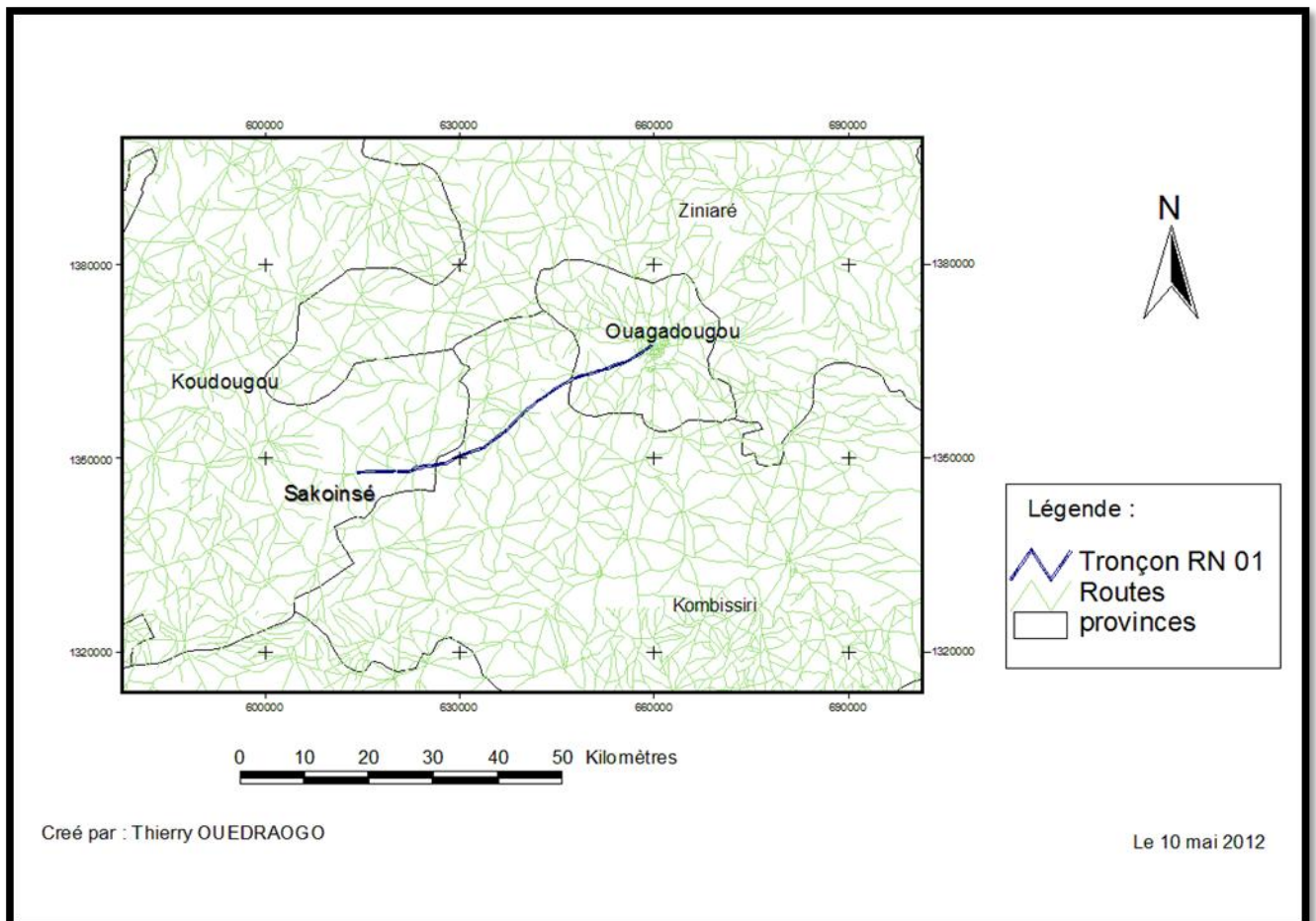


Figure 2.1.b: Carte de localisation du projet

Des pistes carrossables apparues depuis 3500 ans avant J.C l'homme a évolué vers les chaussées les plus complexes qui soient aujourd'hui. Une chaussée est une structure plane et imperméable, conçue et dimensionnée pour garantir l'écoulement du trafic dans de bonnes

conditions de sécurité et de confort pour les usagers et assurer sa fonction pour une période de service minimal fixée au stade de l'élaboration du projet. Le rôle du corps de chaussée est de ramener les contraintes exercées par les pneumatiques à un niveau compatible à la contrainte de rupture du sol support.

Sa réalisation fait appel à des critères économiques, techniques et écologiques. Les aspects techniques portent sur le choix de la structure et des matériaux (liants, granulats, etc.) des différentes couches constituant la chaussée. Les aspects économiques portent sur le coût de l'investissement mais aussi sur le coût d'usage et d'entretien pendant la période de service donnée. Les aspects écologiques sont relatifs à son impact sur l'environnement.

2.2 Les différents types de chaussées

Selon le mode de fonctionnement mécanique de la chaussée, on distingue généralement :

2.2.1 Les chaussées souples ou flexibles

Elles sont constituées d'une couche bitumineuse en surface et d'une assise en matériaux granulaire. Elles présentent l'aptitude de se déformer sans se fissurer. Une chaussée souple distribue les efforts de surface à travers les couches de base et de fondation. Cette distribution se faisant de façon à ce que l'effort sur la plate-forme soit compatible avec la résistance de l'infrastructure et du sol.

2.2.2 Les chaussées semi-rigides

Une chaussée semi-rigide est une chaussée avec une couche de surface en béton bitumineux, la couche de base étant améliorée au ciment et la couche de fondation granulaire.

Le dimensionnement des structures semi-rigides porte sur la rupture par fatigue à la base de la couche liée et l'orniérage du sol support. Il faut donc s'assurer que la contrainte de traction à la base de la couche traitée est inférieure à la contrainte de traction admissible du matériau et que la déformation verticale à la surface des couches non liées et du sol support est inférieure à une valeur limite admissible.

2.2.3 Les chaussées rigides

Une chaussée rigide est comme une dalle de béton. Elle est peu déformable, elle absorbe la charge afin d'éviter une déformation, sur la fondation ou l'infrastructure, susceptible de causer la rupture. De telles structures mobilisent des efforts notables de traction par flexion très importants par rapport à ceux subis par les structures semi-rigides et se déforment

essentiellement par fissuration. Par contre les contraintes et déformations verticales sont très faibles. Le principe de dimensionnement des chaussées rigides consiste à limiter les efforts de traction par flexion du béton sous l'effet des charges.

2.3 Sollicitations des chaussées

Les chaussées routières sont en permanence soumises à des sollicitations mécaniques et thermiques combinées avec des phénomènes chimiques qui vont participer, plus ou moins rapidement selon leurs niveaux de sollicitation, à la dégradation du revêtement. Ces éléments, responsables des dégradations, ont pour origine:

- **les sollicitations du trafic** : principalement les effets dynamiques dus aux passages répétés des poids lourds, les effets statiques lors du ralentissement du trafic et les frottements de surface pneu-chaussée,
- **les sollicitations climatiques**: entraînant des variations de température au sein des enrobés bitumineux. Ces variations sont soit de courte durée (journalière) ou soit de longue durée (saisonnière),
- **les phénomènes chimiques** : dus à l'oxydation naturelle des liants hydrocarbonés, et aux dégradations de surface de la chaussée par le rayonnement solaire.

Ces actions diverses, agissant simultanément sur le revêtement bitumineux conduisent aux dégradations couramment observées, notamment:

- ✓ les fissurations de surface sous la forme de fissures isolées ou, dans les cas les plus graves, sous la forme de faïençage généralisé,
- ✓ les déformations permanentes (ou orniérage) suite à l'accumulation de déformations irréversibles,
- ✓ les dégradations de surface sous la forme de polissage des granulats, les désenrobages et perte de gravillons, les pelades et les nids de poule.

2.3.1 Sollicitations mécaniques

En première approximation, chaque couche de chaussée est assimilée à une poutre qui subit des flexions sous l'effet du trafic. Le calcul des efforts et des déformations qui apparaissent nécessite, en premier lieu, la connaissance du module complexe et éventuellement du coefficient de Poisson. Soulignons qu'en raison des propriétés particulières apportées par le bitume (viscoélastique), les enrobés bitumineux ont un comportement (donc un module) fortement dépendant de la température et de la vitesse de chargement. Les tractions répétées à la base des couches sous l'effet du passage des véhicules créent des micros dégradations qui

s'accumulent et peuvent entraîner la ruine du matériau. Ce phénomène est la fatigue qui s'observe pour de nombreux matériaux. Les chaussées sont, en général, dimensionnées pour que la ruine ne se produise pas avant une période comprise entre 15 et 20 ans par le trafic. Les effets du trafic ont été abondamment étudiés de par le monde et les publications relatives y sont abondantes. Les compressions répétées sous le passage des véhicules peuvent induire des déformations permanentes qui, si elles sont trop importantes, se traduisent par un orniérage à la surface de la chaussée.

2.3.2 Sollicitations thermiques

Mis à part l'accélération du vieillissement du matériau et les pertes de portance des chaussées en période de dégel dues à la présence de sols gélifs dans les couches d'infrastructure, les variations de la température ont deux effets mécaniques principaux :

- variation du module de l'enrobé bitumineux,
- création de contraintes et déformations au sein du matériau en raison des dilatations-contractions thermiques lors des changements de température (couplage thermomécanique).

2.4 Renforcement des routes bitumées

Le renforcement d'une chaussée devra être envisagé lorsque l'une des deux conditions suivantes est rencontrée :

- la densité de ses dégradations relevant d'un défaut structurel sera devenue trop importante pour que celle-ci relève encore du domaine des réparations,
- la charge admissible est insuffisante pour permettre une évolution souhaitée du trafic.

Le renforcement n'est utilisé que sur les routes ayant une énorme fréquentation. En effet, devant l'augmentation considérable du trafic sur une route bitumée, on peut constater que le sol n'est plus assez porteur. La route n'arrive plus à supporter les charges des véhicules qui passent et les déficiences de la structure conduisent à terme à des dégradations visibles à la surface de la chaussée. Ces dégradations peuvent se classer en 4 grandes familles :

- **déformations et fissures** dont les causes sont en général une déficience des couches inférieures (sol support, couche de fondation et de base),
- **arrachements et remontés** caractérisant en général un défaut dans les couches supérieures (couche de roulement, haut de la couche de base).

(Voir en ANNEXE 1, la signification pathologique des dégradations)

Renforcement des routes bitumées au BURKINA-FASO : cas de la route nationale N°1 entre Ouagadougou et Sakoinsé

Le renforcement d'une route intervient alors dans les cas où les couches inférieures de la structure sont endommagées. C'est le cas des affaissements (flaches), des ornières, des déformations (transversale et longitudinale : bourrelets), des fissures (transversales et longitudinales) et des faïençages.



Figure 2.3.: Les différents types de dégradations de la chaussée

Alors, face à de telles situations il est recommandable de renforcer ces routes ayant un trafic intense. Cela afin d'éviter de revenir à chaque 2 ou 5 ans pour reconstruire une route qui a été construite pour une durée de vie allant de 15 à 20 ans. La chaussée une fois renforcé, résistera mieux aux surcharges à l'essieu et aura une durée de vie plus élevée.

Le renforcement de la RN1 entre Ouagadougou et Sakoinsé se compose essentiellement de plusieurs couches à savoir:

- une plateforme recyclée de la couche de revêtement en BB de la chaussée existante plus la couche de base, mais dans les zones où la chaussée n'est plus en bon état (présente des déflexions élevées), alors il faut une remise en état des couches de la structure routière.
- une couche de fondation en GNT: c'est du grave concassé non traité de 15cm d'épaisseur composés de granulats 0/31;5mm.
- une couche de base en GB: c'est de la grave bitume de 12cm d'épaisseur composés de granulats 0/14mm.

- une couche de roulement en BB: c'est du béton bitumineux de 5cm d'épaisseur composés de granulats 0/10mm.

Il y a toutefois lieu de noter que c'est grâce à l'action combinée de la solidité de son assise, de la qualité, de l'harmonie et de l'épaisseur des matériaux la constituant, puis de l'efficacité des systèmes de drainage et d'entretien périodique que la chaussée résistera mieux aux sollicitations extérieures.

Ainsi, une étude intégrant toutes considérations techniques et économiques utiles permettra d'opter pour une solution optimale.

Chapitre: 3 Etudes géotechniques

Une étude géotechnique routière de façon générale permet :

- ✓ d'identifier et de définir les caractéristiques de portance de sol d'assise de la chaussée;
- ✓ de rechercher des sites d'emprunts des matériaux de viabilité ;
- ✓ d'identifier les sites de carrière pour granulats ;
- ✓ de caractériser les roches ;
- ✓ d'évaluer autant que possible la puissance de la carrière ;
- ✓ d'étudier les caractéristiques et conditions d'utilisation des matériaux rencontrés.

Chaque étude de projet de renforcement des chaussées revêtues nécessite obligatoirement l'intervention d'un laboratoire de sol spécialisé pour en déterminer au préalable le déroulement et le coût.

3.1 Reconnaissances préalables

On procèdera aux études et reconnaissances suivantes :

3.1.1 Études préliminaires

Ces études préliminaires comportent deux aspects :

- ✓ l'analyse en bureau d'études de tous les documents et données disponibles existantes en vue de reconstituer l'historique de la chaussée : âge, constitution, renforcements éventuellement réalisés, trafic déjà supporté, importance et variation des déflexions à partir des campagnes déjà effectuées ;
- ✓ la reconnaissance visuelle du site au cours de laquelle on fera une appréciation globale de l'état de la route à renforcer.

Les résultats de ces études permettront au projecteur d'aboutir à une esquisse du profil en long géologique et géotechnique, puis à un premier découpage de l'itinéraire considéré en tronçon présumés homogènes. Chacun de ses tronçons sera ensuite soumis à des études détaillées ou on ne manquera pas d'appliquer les plus fortes cadences d'essais et de mesures aux sections jugées les plus mauvaises et douteuses.

3.1.2 Études détaillées

Une étude détaillée consiste entre autre à faire une :

3.1.2.1 Reconnaissance détaillée du corps de chaussée

Cette reconnaissance détaillée du corps de chaussée permettra de connaître :

- **son aspect superficiel** : on effectuera des relevés de profils en travers, des mesures de flèches d'affaissement et on indiquera l'importance des surfaces fissurées, faïencées ou réparées ;
- **sa constitution** : on procèdera à l'ouverture de tranchées et à la réalisation de sondages complémentaires en petit diamètre. Les tranchées seront ouvertes sur une largeur de 50 cm, une profondeur de 75 cm et sur le quart ou toute une moitié de la voie. On effectuera sur chaque couche du corps de chaussée et de préférence au droit de passage des roues, des essais de densité in-situ. On prélèvera une quantité suffisante (50 à 100 kg) d'échantillons représentatifs de chaque couche y compris la plateforme. On effectuera au laboratoire une étude complète d'identification sur chacun de ces échantillons ;
- **sa déformabilité** : on réalisera une campagne de mesures de déflexion à la poutre de BENKELMAN à l'aide d'un camion dont l'essieu arrière est chargé à 13 tonnes et dont les pneus sont gonflés à 7 bars. On effectuera les campagnes pendant la saison la plus défavorable de l'année, c'est-à-dire, immédiatement après la saison des pluies lorsque les sols sont à leur teneur en eau maximum.

Pour chaque tronçon, on prendra comme déflexion représentative la valeur de D_{90} . Cette valeur sera obtenue soit à partir de la courbe de fréquences cumulées, soit à l'aide de la relation :

$$D_{90} = D_m + 1,3 \sigma \quad (D_m \text{ étant la déflexion moyenne et } \sigma \text{ l'écart type})$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{(D_m - D)^2}}{n-1} \quad (n \text{ nombre de points de mesures}).$$

3.1.2.2 Reconnaissance détaillée des accessoires et de l'environnement de la chaussée

Cette reconnaissance revient à faire un :

- ✚ Examen du drainage : on notera l'état des fossés, des buses et des saignées ;
- ✚ Examen des accotements : on notera la nature, la compacité et l'épaisseur des matériaux la constituant ;
- ✚ Examen des talus : on notera les désordres dus à l'érosion ou à l'instabilité même des masses ;

- ✚ Examen du niveau de la ligne rouge : on notera les passages en remblai, en déblai, ou en profil mixte (zones inondables).

3.1.2.3 Etude des ressources en matériaux

Cette étude sera menée en vue de localiser un nombre suffisant de gites à matériaux pouvant convenir pour la réalisation des travaux de renforcement. Elle définira l'étendue ou la quantité des matériaux en même temps que leurs qualités géotechniques. Elle définira au besoin, les techniques d'amélioration nécessaires.

Pour le renforcement du tronçon de la RN1 entre Ouagadougou et Sakoinsé, la reconnaissance géotechnique du tracé a consisté à réaliser d'abord des sondages ou puits manuels à intervalle régulier, ensuite à prélever des échantillons remaniés pour les essais de laboratoire. Ensuite, pour les matériaux de chaussées, des sites d'emprunts ont été recherchés le long de la RN1 hors agglomération. Comme site d'emprunt nous avons la carrière de bazoulé pour l'entreprise Fadoul Technibois et celle de Ramongo pour COGEB. Il est important de noter que pour une bonne réalisation des travaux de renforcement, il faut identifier les propriétés physiques et mécaniques des matériaux. Les paramètres d'identification d'un matériau restent classiques. On procède généralement à différents types d'essai d'identification qui se font sur un échantillon représentatif du matériau à identifier. Cette étude géotechnique menée par le LNBTP en tant que laboratoire de la mission de contrôle, à la demande du groupement d'entreprises permettra d'apprécier les principales caractéristiques des matériaux qui seront utilisés dans l'exécution des travaux. Par conséquent, plusieurs types d'essais sont réalisés sur les granulats et les enrobés bitumineux avant et pendant la mise en œuvre de la GNT, du GB, et du BB. Ces résultats seront comparés aux exigences du cahier des prescriptions techniques (Voir **Annexe 2**).

3.2 Essais sur les granulats

3.2.1 Echantillonnage

C'est l'opération qui a pour but de prélever une fraction de matériau de telle sorte que la partie prélevée soit représentative de l'ensemble de l'échantillon. Tous les essais à réaliser dépendent du soin apporté à la réalisation de l'échantillonnage. Il peut s'effectuer de deux manières différentes :

- Par quartage lorsque la quantité de matériau est importante

➤ Au moyen d'échantillonneurs lorsque la quantité du matériau est peu importante
La norme de référence est la norme française **NF P 18-553**.

3.2.2 Analyse granulométrique

La granulométrie est la distribution dimensionnelle d'un matériau donné. La méthode utilisée est celle par tamisage à sec après lavage de la norme française **NF P 94-056**.

L'essai consiste à tamiser au moyen d'une série de tamis normalisés à mailles carrées, un échantillon représentatif d'un matériau donné. Les masses des différents refus ou celles des différents tamisât sont rapportées à la masse initiale du matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique).

**Renforcement des routes bitumées au BURKINA-FASO : cas de la route nationale N°1
entre Ouagadougou et Sakoinsé**

Tableau 3.2.2 : Fiche d'analyse granulométrique par tamisage (NF P 94-056)

tamis (mm)	Module AFNOR	Masse des refus cumulés R, (g)	Pourcentage	
			Refus cumulés 100(R / Ms)	Tamisât cumulés 100(1-R / Ms)
80	50	0	0	0
63	49	0	0	0
50	48	0	0	0
40	47	0	0	0
31,5	46	0	0	0
25	45	0	0	100
20	44	2848	44,5	55,5
15	43	4070	64	36
12,5	42	4889	76,5	23,5
10	41	5261	82,5	17,5
8	40	5489	86	14
6,3	39	5679	89	11
5	38	5811	91	9
4	37	5883	92	8
3,15	36	5978	93,5	6,5
2,5	35	6012	94	6
2	34	6039	94,5	5,5
1,6	33	6068	95	5
1,25	32	6101	95,5	4,5
1	31	6125	96	4
0,8	30	6149	96,5	3,5
0,63	29	6172	97	3
0,5	28	6192	97	3
0,4	27	6222	97,5	2,5
0,315	26	6235	98	2
0,25	25	6254	98	2
0,2	24	6270	98	2
0,16	23	6282	98,5	1,5
0,125	22	6302	99	1
0,1	21	6315	99	1
0,08*(Rn)	20	6326	99	1
Tn		6		
Rn + Tn		6332		
100[(Ms1-(Rn + Tn)) / Ms1] <2%		0%		

3.2.3 Mesure du coefficient d'aplatissement

Le coefficient d'aplatissement caractérise la forme du granulat à partir de sa plus grande dimension et de son épaisseur. L'essai consiste à effectuer un double tamisage effectué selon la norme française **NF P 18-561**:

- Tamisage par voie sèche sur tamis à mailles carrées pour la détermination des classes granulaires du matériau à travers l'échantillon représentatif
- Tamisage des différentes classes granulaires sur grilles à fentes parallèles normalisées.

Tableau 3.2.3 : Fiche d'essai de mesure du coefficient d'aplatissement (NF P 18-561)

Tamisage sur tamis à mailles carrées		Tamisage sur grilles à fentes		Coefficient d'aplatissement 100(Me /Mg)
Classes granulaires (mm)	Masse de la classe granulaire Mg (g)	Ecartement des grilles E (mm)	Masse du passant Me (g)	
63/80	-	40	-	-
50/63	-	31,5	-	-
40/50	-	25	-	-
31,5/40	-	20	-	-
25/31,5	968	16	56	5,78
20/25	1947	12,5	179	9,19
16/20	1162	10	115	9,89
12,5/16	1031	8	134	12,99
10/12,5	354	6,3	68	19,2
08/10/	291	5	51	17,52
6,3/8	192	4	45	23,43
5/6,3	166	3,15	38	22,89
04/05/	70	2,5	14	20
M = Σ Mg, M ne doit pas d'écarter de Mo de plus de 2%	6181	Σ Me	700	
Coefficient d'aplatissement global A = 100(Σme /M)				11,32%

3.2.4 Essai de propreté superficielle

C'est le coefficient pondéral de particules inférieures à 0,5 mm contenues dans un échantillon de matériau. Il s'agit donc, pour ce qui est du principe de l'essai, de séparer par lavage sur tamis de 0,5mm les particules inférieures à cette dimension. La norme de référence est la norme française **NF P18-591**.

Tableau 3.2.3 Détermination de la propreté superficielle (NF P 18-591)

Masse de l'échantillon soumis à l'essai	6634
Masse M1h (g) du premier échantillon	340
Masse Mh (g) du deuxième échantillon	6294
Masse sèche M1s (g) du premier échantillon	339
Masse sèche Ms (g) de l'échantillon soumis à l'essai de propreté Ms(g) = Mh(M1s /M1h)	6275
Masse sèche m' (g) du refus séché et tamisé	6178
Masse sèche m (g) des éléments inférieurs à 0,5 mm m (g) = Ms - m'	97
Propreté superficielle P = 100(m / Ms)	1,54%

N-B : L'identification des caractéristiques des granulats, permet de s'assurer de la qualité du concassé qui seront utilisés dans la formulation des enrobés bitumineux à savoir le BB et la GB. Il s'agira donc d'identifier les différentes classes granulaires (0/4, 4/6, 6/10 et 10/14) afin de procéder à un mélange adéquat entrant dans le fuseau de référence.

3.3 Essais sur les enrobés bitumineux

La formulation d'un enrobé bitumineux pour couche de roulement et de base consiste en la détermination du meilleur mélange de granulats de diverses dimensions et du bitume pur permettant l'obtention d'un matériau possédant des caractéristiques d'imperméabilité, de rugosité et de résistance mécanique à l'orniérage et à la fatigue.

Après réalisation des mélanges dans les proportions bien définies de granulats et du bitume, on procède aux essais Duriez et Marshall afin de vérifier les propriétés présentées par chaque mélange.

3.3.1 Essai Duriez

Cet essai a pour but de déterminer, pour une température et pour un compactage donnés, la tenue à l'eau d'un mélange hydrocarboné à chaud à partir du rapport des résistances à la compression avec et sans immersion des éprouvettes. Sa norme de référence est la norme française **NF P 98-251-1**.

Les éprouvettes nécessaires à la réalisation de l'essai sont fabriquées par compactage statique à double effet. Deux éprouvettes sont destinées à la mesure de la masse volumique par pesée hydrostatique pour calculer le pourcentage de vides. Les autres éprouvettes sont soumises à l'essai de compression après conservation dans des conditions définies : à l'air pour certaines éprouvettes, en immersion pour d'autres.

Pour chaque éprouvette testée, on calcule la résistance à la compression simple (rapport de la charge de rupture à la section circulaire de l'éprouvette) ; la résistance à la compression simple (en MPa) à une température donnée, sans immersion (**R**) ou avec immersion (**r**) est la moyenne des valeurs obtenues sur le lot de cinq ou quatre éprouvettes considéré. Le rapport immersion/compression pour une température donnée est égal à **r/R**.

3.3.2 Essai Marshall

Le principe de cet essai consiste à compacter des éprouvettes de mélange hydrocarboné par damage selon un processus normalisé analogue à celui de l'essai Proctor, puis à les soumettre à des essais physiques et mécaniques Marshall (mesures géométriques, pesée hydrostatique, compression diamétrale). Sa norme de référence est la norme française **NF P-98-251-2**.

La stabilité Marshall (charge maximale de rupture de l'éprouvette) et le fluage Marshall (valeur de l'affaissement de l'éprouvette, selon son diamètre vertical au moment de la rupture ou à l'instant où on atteint le maximum de charge) sont enregistrés au moment de l'écrasement à la presse Marshall.

3.3.3 Essai de détermination de la teneur en bitume (méthode Kumagawa)

Cet essai consiste à déterminer simultanément des teneurs en liant et en eau contenues dans un enrobé par extraction à chaud à l'aide d'un solvant approprié. Le bitume contenu dans le mélange bitumineux est extrait par dissolution à chaud dans du solvant au cours d'une distillation sous reflux. Le solvant formant avec l'eau en produisant sous une pression donnée une vapeur de composition fixe), cette dernière est entraînée et retenue dans un décanteur.

Le poids du liant est alors obtenu par différence entre le poids initial du matériau et le poids des granulats extraits, compte tenu de la teneur en eau du matériau et des particules minérales entraînées dans la solution.

Un exemplaire de ces différents essais réalisés sur les enrobés bitumineux sont consignés en **ANNEXE 3**.

La mise en œuvre de toute cette infrastructure après identification des matériaux à utiliser passe au préalable par un dimensionnement des différentes couches qui la composent afin qu'elle puisse résister aux différentes sollicitations citées plus haut.

Chapitre 4 : Proposition de la nouvelle structure de chaussée

Le dimensionnement d'une structure de chaussée routière consiste à déterminer le nombre et l'épaisseur des différentes couches constituant la surface et le corps de chaussée, pour le niveau de trafic attendu. Ceci en tenant compte, entre autres, de la nature et des caractéristiques des matériaux de viabilité disponibles dans la zone de projet afin de permettre à la chaussée de pouvoir résister aux diverses agressions auxquelles elle sera soumise tout au long de sa vie.

La structure d'une chaussée routière doit résister à diverses sollicitations, notamment celles dues au trafic et elle doit assurer la diffusion des efforts induits par ce même trafic dans le sol de fondation. L'application d'une charge roulante induit ainsi une déformation en flexion des couches de la structure. Cette flexion entraîne des sollicitations en compression au droit de la charge et des sollicitations en traction à la base des couches d'enrobés.

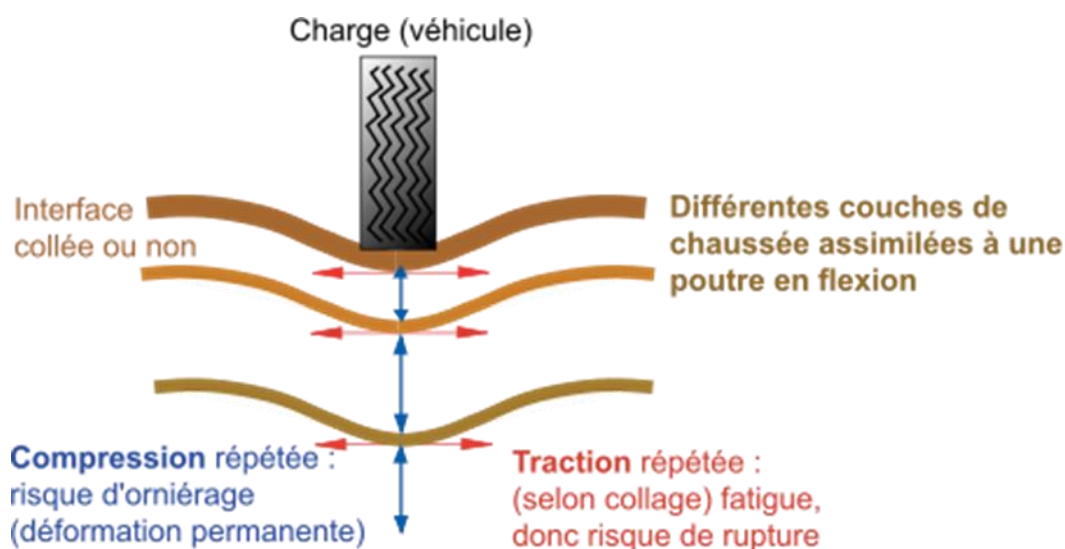


Figure 4: Schéma de fonctionnement d'une structure de chaussée sous l'application d'une charge roulante

Ainsi, il existe différentes méthodes pour bien appréhender cette déformation. Elles donnent lieu ensuite à différents modèles de dimensionnement. Donc pour dimensionner une chaussée,

Renforcement des routes bitumées au BURKINA-FASO : cas de la route nationale N°1 entre Ouagadougou et Sakoinsé

il s'agit surtout de déterminer la structure optimale de la chaussée pour la durée de vie projetée.

De façon générale, on distingue deux voies d'approche principale pour le dimensionnement des chaussées à savoir les méthodes empiriques et les méthodes rationnelles ou théoriques.

❖ Les méthodes empiriques :

Ce sont des méthodes basées, pour la plupart, sur des essais accélérés et les observations effectuées sur des routes expérimentales. Leur principal désavantage est qu'elles ne peuvent être appliquées que pour les conditions climatiques et de trafic pour lesquelles elles ont été établies.

Ces méthodes peuvent se regrouper en deux types :

- Les méthodes qui à partir d'une formule mathématique ou d'un graphique permettent de calculer, en fonction des matériaux (sol et matériaux de viabilité) et du trafic, les épaisseurs des différentes couches : **méthodes CBR, abaques TRRL, méthodes dérivées des essais AASHO, méthodes SHELL...**
- Les méthodes catalogues de structures : l'utilisation du catalogue est pratique. Le catalogue libère le concepteur des calculs numériques et le met à l'abri de l'illusion d'un résultat rigoureux du fait de l'application d'une formule mathématique alors que les paramètres d'entrée sont imprécis.

On peut citer :

- ✚ Le **catalogue français des structures types des chaussées neuves** établi en 1971, révisé en 1977 et 1994 ;
- ✚ Le **manuel de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux en voie de développement** (CEBTP 1971) révisé en 1984 et intitulé « **guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux** ».

❖ Les méthodes rationnelles ou théoriques

Les méthodes rationnelles sont basées sur la mécanique des milieux continus et sur la résistance des matériaux. Ces dernières présentent l'avantage de pouvoir être appliquées à des structures sous différents types de climat et pour divers chargements de trafic.

Le développement de l'outil informatique a permis que les méthodes de dimensionnement rationnelles soient devenues plus accessibles. Avec la facilité de résolution des équations multiples à dérivées partielles, des logiciels comme Alizé ont été développés.

Renforcement des routes bitumées au BURKINA-FASO : cas de la route nationale N°1 entre Ouagadougou et Sakoinsé

Ce sont des logiciels qui modélisent les structures multicouches et calculent les contraintes transversales et radiales ainsi que les déformations à travers les couches de chaussées.

4.1 Classe de trafic

La détermination de la classe de trafic se fait à partir des études statistiques de la demande actuelle et passée. Ces études permettront de déterminer le taux de croissance et de faire la prédiction des trafics futurs. Le trafic considéré dans les études de dimensionnement est le trafic cumulé poids lourds sur la durée de vie escomptée. Le poids lourd est le véhicule dont la charge utile dépasse 3,5 tonnes. Ce trafic est constitué dans la plupart du temps de camions, de semi-remorques et de bus. Dans les pays tropicaux on distingue cinq classes de trafics (tableau 2): l'essieu équivalent est celui de 13 tonnes et la durée de vie est de quinze (15 ans).

Tableau 4.1 : Classes de trafic définies par le CEBTP en Afrique francophone

N équivalent PL	Classe de Trafic	N équivalent Véhicule/j
$< 5 \cdot 10^5$	T1	< 300
De $5 \cdot 10^5$ à $1.5 \cdot 10^6$	T2	De 300 à 1000
De $1.5 \cdot 10^6$ à $4 \cdot 10^6$	T3	De 1000 à 3000
De $4 \cdot 10^6$ à 10^7	T4	De 3000 à 6000
De 10^7 à $2 \cdot 10^7$	T5	De 6000 à 12000

Une étude détaillée du trafic comporte donc un comptage des véhicules (Voir Annexe 2) circulant en différents points de l'itinéraire considéré. On notera le pourcentage et si possible la répartition des poids lourds. A défaut des postes de pesage, on relèvera la marque et l'état de chargement d'échantillons représentatifs des poids lourds pour en déduire le poids total ou la charge utile probables. A partir de ces données, on estimera les charges sur essieu correspondantes et cette étude sera complétée par une estimation du taux probable d'accroissement annuel.

Pour l'estimation du trafic de dimensionnement, il a été considéré l'étude de trafic de l'APD de 2007 et de la campagne de comptage de trafic effectuée du 30 juin au 29 juillet 2010.

Pour le calcul des structures de chaussées, le trafic à prendre en compte doit être exprimé par le nombre cumulé d'essieux standards qui sont passé ou qui passeront sur la voie la plus sollicitée de la chaussée. D'après les différentes campagnes de Trafic effectuées afin de déterminer le nombre de poids lourds (PL) Journaliers Moyens Annuel (TMJA), nous avons les résultats suivants de trafic poids lourds :

Renforcement des routes bitumées au BURKINA-FASO : cas de la route nationale N°1 entre Ouagadougou et Sakoinsé

- ✓ 720 et 566 pour les 2 sens d'après l'APD de 2007,
- ✓ 737 et 484 pour les 2 sens d'après [DGR/DPE/BDR] de 2008,
- ✓ 839 et 603 pour les 2 sens d'après [BDR/DPES/DGR] de 2009,
- ✓ 973 et 767 pour les 2 sens le plus chargé d'après le groupement d'entreprises du 30 juin au 29 juillet 2010.

Comme la campagne du 30 juin au 29 juillet 2010 mené par le groupement d'entreprise confirme bien l'évolution du trafic, donné par l'APD de 2007, nous utiliserons le résultat de cette dernière tout en considérant le trafic du sens le plus chargé : **TMJA = 497**.

➔ Calcul des poids cumulés (TC)

Pour la détermination des TC, il est nécessaire de connaître le TMJA. Il a été précédemment déterminé et est égal à 497 PL.

➔ La durée de vie (n)

La durée de vie est égale à 15 ans selon les données du DAO.

➔ Le taux de croissance (i)

Nous allons considérer un taux de croissance arithmétique de 4 %.

$$TC = TMJA \times 365 \times \frac{n+i \cdot n + (n-1)}{2} = 497 \times 365 \times \frac{15+4\% \cdot 15 + (15-1)}{2} = 3,48.10^6$$

➔ Le nombre d'essieux équivalents

Le trafic cumulé NE est le trafic à prendre en compte dans le calcul du dimensionnement, il correspond au nombre cumulé d'essieux équivalents de 13 tonnes sur la durée de vie considérée. Le calcul de NE qui fait intervenir l'agressivité (CAM) des PL, est donné par la formule : **NE = TC x CAM**

Le coefficient d'agressivité moyen (CAM) du poids lourd dépend :

- ~ De la composition du trafic
- ~ De la configuration des essieux
- ~ Du type de roues (simples/jumelées)
- ~ De la charge des essieux
- ~ De la structure de la chaussée

D'après la classification Française, avec le catalogue 1998 de setra-LCPC avec un trafic de $3,48.10^6$ PL notre trafic appartient à la classe T4 et avec le GNT comme matériau de chaussée le CAM = 1.

Renforcement des routes bitumées au BURKINA-FASO : cas de la route nationale N°1 entre Ouagadougou et Sakoinsé

Mais dans le contexte de la zone UEMOA ou c'est maintenant que les postes de contrôle du respect de charge à l'essieu sont d'être mise en place pour pouvoir diminuer considérablement le CAM jusqu'à atteindre à 1 nous allons adopter un coefficient de sécurité de 50 %. Par conséquent le CAM adopté sera = 1,5. Le trafic cumulé équivalent est donc : $NE = 3,48.10^6 \times 1,5 = 5,22.10^6$.

NE = 5,22.10⁶ essieux équivalents de 13 tonnes

4.2 La portance du sol support

La portance du sol support est un facteur très important dans la pérennité de la route car quelle que soit la qualité des matériaux d'apport, le sol support constitue un vecteur de ruine de la route s'il est d'une très mauvaise qualité. L'étude du comportement de sols d'assise permet au niveau de matériaux de constructions de choisir le type de sol d'apport qui convient et éventuellement de prévoir un traitement du sol d'assise. Elle permet aussi le choix du type de fondations des ouvrages à réaliser. Au niveau des travaux d'excavations des profils de la surface libre, elle permet également de calculer la hauteur des tranchées possible sans soutènement et de concevoir les soutènements puis les pentes des talus. Selon le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, il existe cinq classes de sols qui ont été retenues et correspondent à une répartition assez constante des divers sols rencontrés en pays tropicaux.

Tableau 4.2 : Classes des sols en fonction du CBR

S1	C.B.R<5
S2	5<C.B.R<10
S3	10<C.B.R<15
S4	15<C.B.R<30
S5	C.B.R>30

Le choix du CBR se fera d'après les résultats des campagnes de reconnaissance et des essais au laboratoire. On ne prendra pas systématiquement en compte pour le dimensionnement la plus faible valeur obtenue sur une section considérée homogène, mais celle se rapprochant le plus de la valeur la plus fréquente. L'exploitation des données existantes et des investigations géotechniques nous conduisent à retenir les caractéristiques suivantes pour le sol support :

Renforcement des routes bitumées au BURKINA-FASO : cas de la route nationale N°1 entre Ouagadougou et Sakoinsé

- ✚ Module d'élasticité : $E = 500$ à 800 bars au moins correspondants à un CBR entre 10 et 16 ; c'est un sol qui peut être **classé en S3**.
- ✚ Coefficient de poisson : $\nu = 0,35$.

4.3 Déroulement de calcul

Les calculs se feront en deux étapes :

- D'abord par la méthode empirique en utilisant la méthode CEBTP : pour pré-dimensionner à l'aide des tableaux fournis par le Guide Pratique de Dimensionnement des Chaussées pour les pays tropicaux de 1984 ;
- Ensuite faire une vérification par la méthode rationnelle en utilisant le logiciel Alizé III du LCPC.

4.3.1 Application de la méthode CEBTP

4.3.1.1 Les hypothèses

- Portance du sol Support : S3
- Classe du trafic pour le tronçon : T4 ;
- Durée de vie de la chaussée 15 ans

4.3.1.2 Les résultats du pré-dimensionnement

Le pré-dimensionnement a été fait à l'aide du tableau pour trafic T4 fourni par le guide CEBTP. Compte tenu de la disponibilité des matériaux de viabilité dans la zone du projet et de l'état de la chaussée existante :

- Après analyse des mesures de déflexion, il a été ressorti que plus de 45% de la chaussée existante présente des déflexions inacceptables et quand on pousse un peu plus les analyses ses résultats peuvent avoisiner les 60% du linéaire total.
- Ces analyses ont sérieusement attiré l'attention concernant la durée de vie projetée et nous ont amenés à prendre des mesures sécuritaires. Ainsi cette structure a été proposée et retenu parmi tant d'autres pour le pré-dimensionnement.

**Renforcement des routes bitumées au BURKINA-FASO : cas de la route nationale N°1
entre Ouagadougou et Sakoinsé**

Structure proposé et retenu :

Variante d'aménagement	Structure de la chaussée	Couche de roulement	Couche de base	Couche de fondation	Couche de forme	Couche de remblai	
Structure retenue	matériaux	(BB)	(GB)	(GNT)	Couche existante recyclée	Couche de fondation existante	Couche de forme existante
	Epaisseur (cm)	5	12	25	20	20	25

Coefficient de poisson : $\nu = 0.35$ pour tous les matériaux.

Conditions aux interfaces : toutes les **interfaces seront collées** pour tous les matériaux.

4.3.2 Calcul des contraintes et déformations admissibles

➤ **Contrainte admissible:**

$$\sigma_{z,adm} = \frac{0.3 \times CBR}{1 + 0.7 \times \log(NE)}$$

avec un CBR = 10(sol support) et $NE = 5,22 \cdot 10^6$ on a numériquement :

$$\sigma_{z,adm} = \frac{0.3 \times 10}{1 + 0.7 \times \log(5220000)} \quad \longrightarrow \quad \sigma_{z,adm} = 0,52 \text{ MPa}$$

➤ **Déformation admissible:**

Nous utilisons la formule de SHELL pour déterminer :

$$\epsilon_{z,adm} = 0.028 \times (NE)^{-0.25}$$

$$\epsilon_{z,adm} = 0.028 \times (5220000)^{-0.25}$$

$$\epsilon_{z,adm} = 585,7 \text{ }\mu\text{def}$$

Pour les matériaux bitumineux, les déformations admissibles en traction sont calculées par la relation suivante :

$$\epsilon_{t,adm} = \epsilon_6 (10^\circ\text{C} ; 25\text{Hz}) \cdot \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b \cdot \sqrt{\frac{E(10^\circ\text{C})}{E(\theta_{eq})}} \cdot kc \cdot Kr \cdot ks$$

Tableau 4.3.1.2 Récapitulatifs des valeurs des paramètres

Matériau	ϵ_6 (10°C; 25 Hz)	E(10°C) MPa	E(40°C) MPa	1/b	Sh(cm)	SN	kc	1/ks	r(%)	kr
BB	100	7200	1000	5	1	1.6	1.1	1	10	0.799
GB	90	12300	2700	5	1	1.6	1.3	1	10	0.773

$\epsilon_{t,adm}$ (BB)= 164.4 μ def

$\epsilon_{t,adm}$ (GB)= 133.4 μ def

✚ Paramètres de correction

Ils sont liés à l'aspect probabiliste du dimensionnement. En effet l'utilisation d'un modèle mathématique des structures de chaussées, les essais réalisés sur les matériaux sont basés sur des hypothèses probabilistes.

Pour en tenir compte, des coefficients sont utilisés dans le calcul des contraintes admissibles.

Le coefficient de calage kc : permet de corriger l'écart entre les prédictions de la démarche de calcul (modèle mathématique) et l'observation du comportement de chaussées par rapport aux résultats des essais de laboratoire.

Le coefficient de risque kr : il est lié à l'aspect aléatoire de la durée de vie d'une route déterminée à partir d'essais à chargement cyclique. Ce coefficient permet d'ajuster la déformation admissible au risque de calcul retenu en fonction des facteurs de dispersion sur l'épaisseur (écart type sh) et sur les résultats des essais de fatigue (écart type sn).

Le risque de calcul est défini par le Guide technique du LCPC comme suit :

Un risque de x% sur une période de p années pris pour le dimensionnement de la chaussée, c'est la probabilité pour qu'apparaissent au cours de ces p années des désordres qui impliqueraient des travaux de renforcement assimilable à une reconstruction de la chaussée, en l'absence de toute intervention d'entretien structural dans l'intervalle.

Le coefficient de rigidité ks : pour tenir compte de l'hétérogénéité de la portance de la couche de faible rigidité devant supporter les couches liées;

4.3.3 Vérifications par le logiciel Alizé

Le programme Alizé est très largement utilisé pour le dimensionnement et la vérification des structures de chaussées et de renforcement. Il permet de calculer les contraintes et les déformations induites dans les différentes couches de la chaussée choisie. La charge prise en

Renforcement des routes bitumées au BURKINA-FASO : cas de la route nationale N°1 entre Ouagadougou et Sakoinsé

compte est une charge unitaire correspondant à un demi-essieu de 13 tonnes représenté par une empreinte circulaire.

Les données à rentrer dans le modèle pour les différentes simulations sont :

- Les épaisseurs de chaque couche ;
- Les modules d'Young (E) et les coefficients de poisson (ν) de chaque couche y compris le sol support ;
- Les types d'interface entre les couches (conditions de collage).

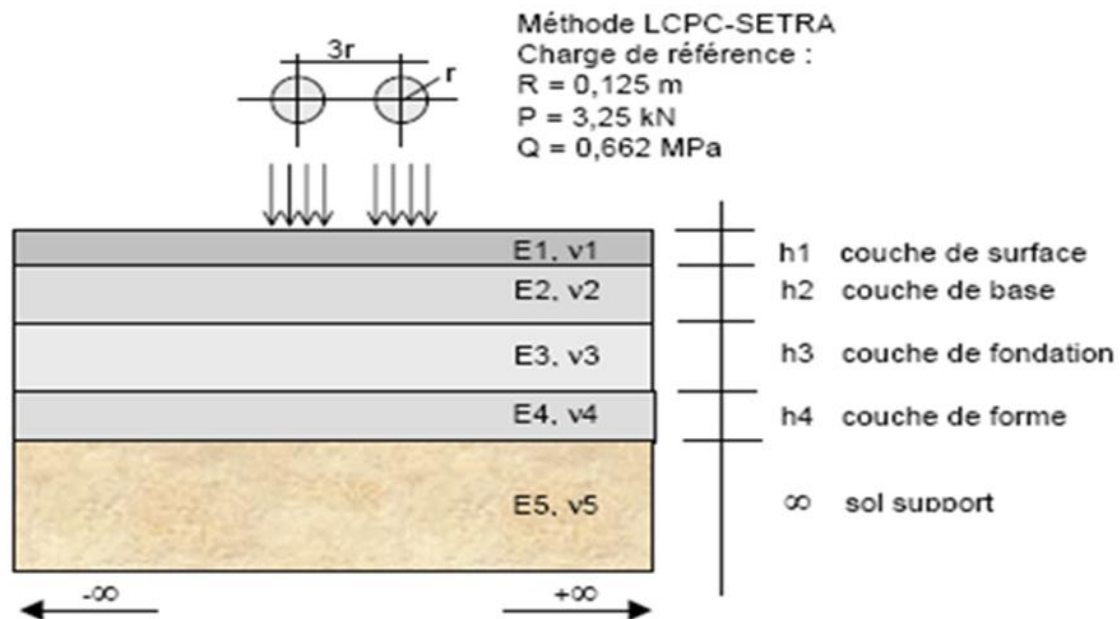


Figure 4.3.1.4: Moteur de calcul Alizé

Pour valider la structure de chaussée choisie, la vérification de la résistance au poinçonnement et de l'élongation du sol de plateforme sur lequel s'exerce la contrainte (σ_z) et la déformation (ϵ_z) s'avèrent nécessaires.

Ces vérifications concernent surtout les critères de ruptures qui sont :

- ✓ La déformation verticale ϵ_z à la surface du sol support doit être inférieure à la déformation admissible $\epsilon_{z,adm}$: $\epsilon_z \leq \epsilon_{z,adm}$;
- ✓ La déformation tangentielle ϵ_t doit être inférieure à la déformation admissible $\epsilon_{t,adm}$: $\epsilon_t \leq \epsilon_{t,adm}$;
- ✓ La contrainte verticale σ_z à la surface du sol support doit être inférieure à la contrainte admissible $\sigma_{z,adm}$: $\sigma_z \leq \sigma_{z,adm}$.

Avec les données et hypothèses ci-dessus, le logiciel Alizé donne les résultats suivants :

**Renforcement des routes bitumées au BURKINA-FASO : cas de la route nationale N°1
entre Ouagadougou et Sakoiné**

Tableau 4.3.1.4 : Valeur des contraintes de ruptures

	ϵ_z ($\mu\text{d}\acute{e}\text{f}$)	ϵ_t ($\mu\text{d}\acute{e}\text{f}$)	σ_z (MPa)
Valeurs calculés	460	48.5 (BB) 130.9 (GB)	0.009
Valeurs admissibles	585.7	164.4 (BB) 133.4 (GB)	0.52
structure	460 < 585.7 ok.	48.5 < 164.4 (BB) ok. 130.9 < 133.4 (GB) ok.	0.009 < 0.52 ok.

4.4 Conclusion

C'est sur la base de l'étude du trafic et en fonction des matériaux disponibles, que les différentes structures de chaussées proposées ont été déterminées à partir du "Guide Pratique de Dimensionnement des Chaussées pour les Pays Tropicaux" du CEBTP, édition 1980 Ministère de la Coopération Française (page 44 et 45).

Le chiffrage de cette solution proposée lors de l'exécution rentre bien dans les objectifs.

C'est une solution qui complète le double objectif :

- Satisfaire les enjeux techniques et financiers,
- Répondre au besoin d'une infrastructure correcte à un coût réfléchi.

Chapitre : 5 Etude technico-économique

La résistance des chaussées est une grande préoccupation des ingénieurs. En effet, le but recherché est d'obtenir une chaussée qui soit utilisable dans de long terme. Pour renforcer la résistance des chaussées, les ingénieurs doivent prendre en compte:

- ✚ la stabilité mécanique des terres qui la supportent.
- ✚ la portance des différentes couches depuis le fond de forme jusqu'au revêtement.
- ✚ l'intensité du trafic présent et futur.
- ✚ les intempéries (gel-dégel, pluies,...).

Concernant les revêtements de sol, ceux-ci jouent un rôle majeur dans la résistance d'une route. Donc, un bon renforcement doit tenir compte des techniques de mise en œuvre mais aussi du coût de mise en œuvre de la variante choisie.

Après avoir analysé les principaux paramètres conduisant aux choix de renforcement des routes bitumées, nous allons analyser les données sur les travaux de renforcement des routes Ouaga-koupéla, Ouaga-Po-Frontière du Ghana et Ouaga-Sakoiné afin de proposer un type de renforcement qui s'adapte mieux aux conditions climatiques et aux surcharges à l'essieu au Burkina-Faso.

5.1 Diagnostic des différents types de renforcement

Les structures de chaussées proposées et réalisées sur les travaux de renforcement des tronçons Ouagadougou-Koupéla, Ouagadougou-Pô-Frontière du Ghana et Ouagadougou-Sakoiné ont les constitutions suivantes :

**Renforcement des routes bitumées au BURKINA-FASO : cas de la route nationale N°1
entre Ouagadougou et Sakoinsé**

Tableau 5.1.a : Proposition des nouvelles structures de chaussées choisies

Couches	Ouagadougou-Koupéla (variante 1)		Ouagadougou-Pô- Frontière du Ghana (variante 2)		Ouagadougou- Sakoinsé (variante 3)	
	Matériaux	Epaisseur (cm)	Matériaux	Epaisseur (cm)	Matériaux	Epaisseur (cm)
Couche de roulement	Béton bitumineux	5	Béton bitumineux	5	Béton bitumineux	5
Couche de base	Grave bitume	10-11	Grave non traité	15-16	Grave bitume	12
Couche de fondation	Litho stabilisation	20	Recyclage couche de base existante + Litho stabilisation améliorée à 30 % de GNT 0/31,5	15	Grave non traité	15

Pour résumé, la mise en œuvre des différentes variantes dans le cadre général se présente comme suit :

Variante 1

- Recyclage de la chaussée existante sur une épaisseur de 20 cm tout en l'améliorant avec du concassé (litho stabilisation) en couche de fondation,
- Apport de 10-11 cm d'épaisseur de GNT en couche de base,
- Apport de 5 cm d'épaisseur de BB en couche de roulement.

Variante 2

- Recyclage de la chaussée existante sur une épaisseur de 15 cm tout en l'améliorant avec du concassé à 30% (litho stabilisation) en couche de fondation,

Renforcement des routes bitumées au BURKINA-FASO : cas de la route nationale N°1 entre Ouagadougou et Sakoinsé

- Apport de 15-16 cm d'épaisseur de GNT en couche de base,
- Apport de 5 cm d'épaisseur de BB en couche de roulement.

Variante 3

- Recyclage du BB + couche de couche base existante de 20 cm d'épaisseur en couche de forme,
- Apport de 15 cm d'épaisseur de GNT en couche de fondation,
- Apport de 12 cm d'épaisseur de GB en couche de base,
- Apport de 5 cm d'épaisseur de BB en couche de roulement.

La constitution du renforcement de chaque chaussée est fonction des trafics attendus.

Tableau 5.1.b : Résumé des paramètres entrant dans le dimensionnement

Variantes	NE (essieux équivalents de 13 tonnes)	TMJA (véhicules)
1	-	-
2	$2,12.10^6$	214,6
3	$5,22.10^6$	497

5.2 Coûts de mise en œuvre des variantes retenues

Le bilan des coûts par variantes de projet de structures proposées est consigné dans le tableau suivant :

Tableau 5.2 : Coûts de réalisation en fonction des variantes

Projet	Longueur (km)	Durée exécution (mois)	Total TTC F CFA	Total TTC F CFA / Km
Variante 1	140	30	28 845 853 307	206 041 810
Variante 2	165	20	40 000 000 000	242 424 243
Variante 3	51	18	26 763 583 694	524 776 151

5.3 Proposition de choix

Afin de faire un choix optimal, notre analyse sera axée principalement sur les aspects suivants:

Renforcement des routes bitumées au BURKINA-FASO : cas de la route nationale N°1 entre Ouagadougou et Sakoinsé

5.3.1 Au vue des déformations obtenues

La structure de la variante 2 présente les déformations les plus importantes. Les résultats obtenus en termes de déformation verticale ϵ_z à la surface des couches non liées et du sol support, puis d'allongement ϵ_t à la base de la couche bitumineuse sont les suivantes :

Tableau 5.3.1 Vérification du modèle de structure (programme ALIZE)

Résultats de vérification sous ALIZE		Nombre d'Essieux Equivalents Admissibles
Déflexion (1/100mm)	52.9	
ϵ_t BB	-118.3	$> 2.12 \times 10^6$ EE13t
ϵ_z GNT	877.6	0.3×10^6 EE13t
ϵ_z Base existante	365	
ϵ_z Fondation	384	
ϵ_z PTF	393	$\triangleright 2.12 \times 10^6$ EE13t

Dans ce modèle de renforcement la déformation verticale maximum intervient au niveau de la couche de GNT. La déformation verticale ϵ_{zgNT} calculée (877,6 $\mu\text{déf}$, Voir **Tableau** ci-dessus) montre que la couche de base en GNT est beaucoup trop sollicitée pour que l'on puisse l'ignorer. Même avec la correction de 1,2 apportée à la loi de fatigue des sols, elle supporte un nombre d'essieux équivalents cumulés EE13t maximum égal à $0,3 \cdot 10^6$. Cette structure de renforcement de la variante 2 BB/GNT n'est donc pas adaptée aux trafics constatés ($2,12 \times 10^6$ EE13t).

La structure de la variante 3 présente les déformations les non moins importantes mais elle est réponde aux exigences attendus (Voir **Tableau** 4.3.1.4). Par conséquent, les dégradations superficielles et structurelles apparaîtront les plus tardivement possibles par rapport à variante 2.

Mais par contre, la variante 1 ayant une constitution moins importante que celle de la variante 3 et une constitution plus intéressante que celle de la variante 2 (BB/GB) est acceptable. Elle présente des déformations moins importantes et est adaptée aux trafics constatés.

Par conséquent, le choix sera la variante 1 comme solution au point de vue déformation.

5.3.2 Au vue des techniques de mise en œuvre

Au vue des différentes variantes choisies:

- La variante 2 semble la plus facile à mettre en œuvre car elle mobilise pour cela un minimum de matériaux et matériels, nécessite moins de techniques pour sa mise en œuvre avec un minimum de terrassements par rapport aux deux autres variantes. Il n'y a que la couche de revêtement qui nécessitera un minimum d'attention pour sa mise en œuvre.
- La variante 3 par contre est très intéressante, surtout qu'elle rajoute une couche de fondation en GNT au-dessus du recyclage de l'ancienne chaussée existante considéré là, comme couche de forme. Elle mobilise beaucoup plus de moyens humains et de temps pour sa mise en œuvre. En plus de la couche de revêtement en BB, il y'a une couche de base en GB et une couche de fondation en GNT à mettre en place, tandis que la couche de fondation des variantes 1 et 2 n'est constituée que de leur ancienne chaussée existante recyclée et améliorée (litho stabilisation). Elles n'engendrent donc pas la mise en œuvre d'une nouvelle couche de fondation.
- La variante 1 quant à elle, est au juste milieu des variantes 2 et 3. Elle a une couche de fondation qui est améliorée à partir de l'ancienne chaussée existante, mais aussi elle comporte la mise en œuvre d'une couche de base en GB.

En conclusion, le choix par rapport à la mise en œuvre se portera sur la variante 2 car elle est plus aisée à réaliser par rapport aux deux autres.

5.3.3 Au vue des différents coûts

Au vue des différents coûts d'exécution des travaux, le choix se portera évidemment sur la variante 2 car elle est la moins couteuse. Elle présente pour une mise en œuvre de renforcement sur 1 km de route, un écart d'environ 36 millions sur la variante 1 et plus de 282 millions sur la variante 3.

5.4 Conclusion

Pour conclure, au vue de tout ce qui précède, la variante 1 est la solution optimale. A part une longue durée d'exécution des travaux due à une première expérience de réalisation de renforcement au Burkina Faso, cette variante semble mieux adapter par rapport aux deux autres. Elle est facile à mettre en œuvre et surtout tient compte du trafic attendu. Du point de vue du coût, elle est abordable car elle prend en compte les faiblesses de la variante 2 (sous-dimensionnement) et le surdimensionnement de la variante 3.

Conclusion générale

Au terme de cette étude d'ingénierie, il en ressort que le renforcement d'une route bitumée n'est pas une tâche aisée. Des études préliminaires, en passant par les propositions de choix de la nouvelle structure de chaussée jusqu'à la mise en œuvre des différentes couches de la chaussée, il faut une compétence humaine et une disponibilité des engins adéquats pour l'exécution. Une bonne coordination est alors indispensable pour une bonne mise en œuvre continue. Aucun arrêt, ni long temps de latence ne devrait être constaté depuis la centrale de fabrication jusqu'au compactage du matériau.

Le renforcement d'une structures de chaussée a pour objectifs d'amortir le coût d'exploitation des véhicules, d'augmenter la sécurité des passagers, de maintenir le trafic, de conserver le patrimoine, d'assurer un confort aux usagers et aussi de les permettre d'atteindre une certaine vitesse de parcours.

Cependant, après un dimensionnement adéquat et une bonne mise en œuvre de la structure de chaussée, il est recommandable pour un rendement optimal de l'usage de la route de surveiller l'évolution des chaussées renforcées.

Ainsi, au terme de cette étude réalisée l'attention se porte sur l'importance de réalisation des travaux de renforcements au Burkina Faso mais surtout sur les difficultés liées d'une façon générale aux études d'aménagements routiers.

Recommandations

En termes de recommandations, nous pouvons faire ressortir certains points sur lesquels les ingénieurs et décideurs doivent se focaliser pour un développement durable des infrastructures routières à savoir :

➤ **Réaliser un catalogue de dimensionnement de chaussée pour le Burkina Faso :**

La plupart des routes subissent des déformations intenses ou sont en état de dégradation accrue et atteignent une phase de rupture prématurée. Ceci remet en cause le dimensionnement, les normes de construction, les spécifications sur les matériaux à utiliser. Le LNBTP est un laboratoire qui regorge de beaucoup de potentialité tant sur le point de la compétence que sur le point du matériel. Cependant le laboratoire ne dispose pas de cellule de recherche dans son système de fonctionnement. Cela se constate par l'absence de publication ; ce qui nous entraîne à utiliser certains coefficients qui ne sont pas appropriés à notre pays. Une mise en place d'une cellule de recherche s'avère donc nécessaire. Par conséquent, il serait souhaitable voire nécessaire :

- ✚ De faire une caractérisation des matériaux utilisés en technique routière au Burkina Faso afin de reformuler les spécifications sur ces matériaux et de vérifier les hypothèses de dimensionnement;
- ✚ De redéfinir les techniques de caractérisation des sols de plate-forme;
- ✚ De déterminer le trafic et les coefficients d'agressivité du trafic sur les différents tronçons routiers du pays.

➤ **Surveiller les chaussées renforcées :**

Ceci consiste à suivre l'évolution dans le temps des différents facteurs qui influent sur la tenue des chaussées. Elle est indispensable puisqu'elle permet d'intervenir à point nommé lorsque les observations effectuées indiquent pour l'un ou plusieurs de ces facteurs une évolution dans un sens qui peut être préjudiciable au comportement de la chaussée. Cette campagne d'observation comprendra :

- ✚ L'étude de l'évolution du trafic ;
- ✚ L'étude de la variation des teneurs en eau sous chaussée ;
- ✚ L'étude de l'altération des profils en travers ;
- ✚ L'étude de l'évolution des déflexions ;
- ✚ L'étude par carottage de l'évolution des matériaux du corps de chaussée.

Renforcement des routes bitumées au BURKINA-FASO : cas de la route nationale N°1 entre Ouagadougou et Sakoiné

➤ Augmenter l'épaisseur du BB :

Les problèmes de fuite de gasoil laissée sur la chaussée par les véhicules endommagent rapidement la couche de roulement, car la réaction de deux produits pétroliers entraîne la ruine rapide de la chaussée,

➤ Eviter les charges lentes ou stationnée :

Quand un mobile circule à grande vitesse, sur un revêtement, les déformations qu'il produit sont moins importantes que s'il était arrêté ou circulait lentement.

➤ Contrôler les pneumatiques des véhicules :

Les véhicules ayant des pneus crevés ou dégonflés doivent être sanctionnés. Lorsqu'il y'a crevaison le frottement entre la jante et le pneu entraîne sa fonte et endommage rapidement la route,

Références Bibliographique

1. **Cours de pathologie et entretien des chaussées**, Dramane COULIBALY, 2011 - Institut internationale de l'ingénierie de l'eau et de l'environnement ;
2. **Cours de Géotechnique Routière**, Dr Ismaïla GUEYE, 2011 - Institut internationale de l'ingénierie de l'eau et de l'environnement ;
3. **Dimensionnement et renforcement des chaussées**, Direction générale des autoroutes et routes (MET) - Belgique, Bruxelles, 2001, 60 p ;
4. **Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux**, Ministère des relations extérieures coopération et développement, Centre Expérimentale de Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics, novembre 1970, Mise à jour 1984 ;
5. **Les routes dans les zones tropicales et désertiques** ; BCEOM et CEBTP Tome II (Etudes techniques et constructions) ; France ; Ministère de la Coopération et du développement, Janvier 1992;
6. **Manuel de recommandations pratiques pour l'étude des renforcements des chaussées revêtues en Afrique tropicale et à Madagascar**; Centre Expérimentale de Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics, novembre 1970 ;
7. **Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux**, Centre Expérimentale de Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics, novembre 1970.- LCPC (Mai 1985) ;
8. **[PDF] Dimensionnement structurel des chaussées en Belgique**, Université Libre de Bruxelles, coll. « Cours de routes – chapitre 6 » ;
9. www.google.fr
10. www.wikipedia.fr

ANNEXES



Annexe 1: Signification pathologique des dégradations

Annexe 2 : Exemplaies des essais sur les enrobes bitumineux

2.3 Fiche de détermination de la teneur en bitume par la méthode KUMAGAWA

2.2 Fiche d'essai Marshall

2.1 Fiche d'essai DURIEZ

Annexe 3: Cahier des prescriptions techniques

Annexe 4: Résultats du comptage du trafic routier effectuée sur la rn1 (tronçon ouagadougou-sakoinsé) du 30 juin au 29 juillet 2010

ANNEXE 1: SIGNIFICATION PATHOLOGIQUE DES DEGRADATIONS

Famille de dégradation	Type de dégradation	Diverses causes possibles
Déformations	Du profil en long	<ul style="list-style-type: none"> - tassements des couches de chaussées - consolidation du sol de fondation - affaissement du sol de fondation - gonflement au gel - instabilité de la couche de roulement - défaut initial de mise en œuvre
	Du profil en travers : <ul style="list-style-type: none"> - affaissements localisés flaches, - affaissements des rives 	<ul style="list-style-type: none"> - pollution des couches inférieures, drainage - sous dimensionnement d'un élargissement, défaut de butée, drainage, défaut de mise en œuvre, élargissement
	Orniérage	<ul style="list-style-type: none"> - tassement des couches inférieures, fluage de l'enrobé de surface
	Transversale et longitudinale : bourrelets	Fluage de l'enrobé
Fissures	Longitudinales	<ul style="list-style-type: none"> - joint de deux bandes d'épandage - dégradation, tassements des couches inférieures - gélivité du corps de chaussée - élargissement sommaire - chaussée non calée en rive
	Transversales	<ul style="list-style-type: none"> - reprises de travail de « finisseur » - retrait des assises traitées en liant hydraulique
	Faiçonnage	<ul style="list-style-type: none"> - sous dimensionnement, dégradations des couches inférieures - mouvement de pavés

**Renforcement des routes bitumées au BURKINA-FASO : cas de la route nationale N°1
entre Ouagadougou et Sakoinsé**

		<ul style="list-style-type: none"> - non accrochage de couche de roulement - sous dimensionnement couche de roulement - perméabilité de la couche de roulement
Arrachements	Désenrobage - arrachement du joint pelade – plumage – nid de poule	<ul style="list-style-type: none"> - rupture du liant sous effet chimique ou mécanique - ségrégation de granulat à la mise en œuvre - enrobés surchauffés - compacité insuffisante - non accrochage à la couche sous-jacente faible épaisseur de la couche de roulement
	Glaçage (polissage des granulats)	roche trop tendre
Remontées	De boue	Dégradation couche de base et remontée par les fissures de la couche de roulement
	D'eau	<ul style="list-style-type: none"> - source ou infiltration dans le corps de la chaussée - perméabilité de la couche de surface (résurgence après les pluies)
	De liant de mortier	<ul style="list-style-type: none"> - excès de liant ou de mortier (ressuage) - liant trop mou

ANNEXE 2 : EXEMPLAIRES DES ESSAIS SUR LES ENROBES BITUMINEUX

2.1 Fiche d'essai DURIEZ

Identification des constituants		
Granulats	Liant	Mélange hydrocarboné
Nature	Nature	Teneur en liant PI =
Provenance		
Granularité		
Masse volumique réelle MVRG (g/cm ³) = 2,652	Masse volumique réelle MVRL 5g/cm ³) = 1,026	Masse volumique réelle MVRE (g/cm ³) = 2,446

Essais

Caractéristiques	Eprouvette 1	Eprouvette 2	Eprouvette 3	Eprouvette 4	Eprouvette 5	Eprouvette 6	Eprouvette 7	Eprouvette 8	Eprouvette 9	Eprouvette 10	Eprouvette 11	Eprouvette 12	Eprouvette 13																										
Masse (g)	999,9																																						
h (cm)	9,26	9,3	9,3	9,31	9,34	9,34	9,34	9,33	9,3	9,3	9,34	9,3	9,3	9,33	9,3	9,38	9,34	9,3	9,34	9,33	9,33	9,3	9,33	9,33	9,33	9,32	9,34	9,34	9,33	9,32	9,32	9,32	9,34	9,3	9,34	9,33	9,3	9,31	9,34
H cm = $\Sigma H/3$	9,29			9,33			9,32			9,31			9,31			9,34			9,33			9,32			9,33			9,33			9,32			9,32					
d (cm)																																							
Dm (cm)	8																																						
V (cm ³) = $(\pi \times Dm^2 / 4) \times H$	466,4	468,9	468,4	467,9	467,9	468,4	468,9	468,4	468,9	468,9	468,9	468,4	468,4	467,9																									
Mva (g/cm ³) = Masse / V	2,143	2,132	2,134	2,137	2,137	2,135	2,132	2,134	2,132	2,133	2,135	2,134	2,137																										
MVam (g/cm ³)	2,135																																						
Mva - MVam / MVam (< 1%)	0,42%	0,09%	0,00%	0,14%	0,14%	0,04%	0,09%	0,00%	0,09%	0,04%	0,04%	0,00%	0,14%																										

Renforcement des routes bitumées au BURKINA-FASO : cas de la route nationale N°1 entre Ouagadougou et Sakoinsé

Température Essai												
	LOT 1		LOT 2					LOT 3				
Numéros des éprouvettes	D	I	-	K	L	E	G	-	J	C	F	H
Détermination de la masse volumique apparente par pesée hydrostatique												
MVA (g/cm ³) = Masse / V hydrostatique	2,21	2,193										
	2,2015											
Pourcentage d'imbibition												
									1000,2	1000	1000,2	1000
								M _{j+1} 07/04/2012	1039	1039,2	1039,2	1038,7
								W _{j+1} = 100 x (M _{j+1} - M) / M	3,87%	3,92%	3,89%	3,87%
								M _{j+3} 09/04/2012	1043	1043,7	1043,3	1042,5
								W _{j+3} = 100 x (M _{j+3} - M) / M	4,27%	4,37%	4,30%	4,25%
								M _{j+6} 12/04/2012	1046	1046,6	1046,1	1043,5
								W _{j+6} = 100 x (M _{j+6} - M) / M	4,57%	4,66%	4,58%	4,35%
								M _{j+9} 15/04/2012	1046	1047,3	1046,2	1043,9
								W _{j+9} = 100 x (M _{j+9} - M) / M	4,57%	4,73%	4,59%	4,39%
								Pourcentage de vide				
V% = 100x(1-MVA/MVRE)	9,64%	10,34%										
MVAG = MVA x (1-PI/(100+PI))	2,092	2,076										
Vo% = 100x(MVRG - MVAG) / MVRG	21,11%	21,71%										
VI% = 100x(Vo% - V%) / Vo	54,33%	52,37%										
Essais de compression simple DURIEZ												
Avec immersion ri (Mpa)								-	5,18	5,26	5,37	5,21
Avec immersion r (Mpa)								5,255				
Sans immersion Ri (Mpa)								-	4,53	4,45	4,42	4,33
Sans immersion R (Mpa)								4,43				
r/R								1,186				

2.2 Fiche d'essai Marshall

Identification des constituants		
Granulats	Liant	Mélange hydrocarboné
Nature	Nature	Teneur en liant PI =
Provenance		
Granularité		
Masse volumique réelle MVRG (g/cm ³) = 2,652	Masse volumique réelle MVRL 5g/cm ³) = 1,026	Masse volumique réelle MVRE (g/cm ³) = 2,446

Essais

Caractéristiques	Eprouvette 1			Eprouvette 2			Eprouvette 3			Eprouvette 4			Eprouvette 5			Eprouvette 6			Eprouvette 7			Eprouvette 8			Eprouvette 9			Eprouvette 10			Eprouvette 11			Eprouvette 12			Eprouvette 13					
Masse (g)	999,9																																									
h (cm)	9,26	9,3	9,3	9,31	9,34	9,34	9,34	9,33	9,3	9,3	9,34	9,3	9,3	9,33	9,3	9,38	9,34	9,3	9,34	9,33	9,33	9,3	9,33	9,33	9,33	9,32	9,34	9,34	9,33	9,32	9,32	9,32	9,34	9,3	9,34	9,33	9,3	9,31	9,34			
H cm = $\Sigma H/3$	9,29			9,33			9,32			9,31			9,31			9,34			9,33			9,32			9,33			9,33			9,33			9,32			9,32					
d (cm)																																										
Dm (cm)	8			8			8			8			8			8			8			8			8			8			8			8			8					
V (cm ³) = $(\pi \times Dm^2 / 4) \times H$	466,4			468,9			468,4			467,9			467,9			468,4			468,9			468,4			468,9			468,9			468,9			468,4			468,4			467,9		
Mva (g/cm ³) = Masse / V	2,143			2,132			2,134			2,137			2,137			2,135			2,132			2,134			2,132			2,133			2,135			2,134			2,137					
MVam (g/cm ³)	2,135																																									
Mva - MVam / MVam (< 1%)	0,42%			0,09%			0,00%			0,14%			0,14%			0,04%			0,09%			0,00%			0,09%			0,04%			0,04%			0,00%			0,14%					

Renforcement des routes bitumées au BURKINA-FASO : cas de la route nationale N°1 entre Ouagadougou et Sakoinsé

Température Essai													
	LOT 1		LOT 2				LOT 3						
Numéros des éprouvettes	D	I	.	K	L	E	G	.	J	C	F	H	
Détermination de la masse volumique apparente par pesée hydrostatique													
MVA (g/cm ³) = Masse / V hydrostatique	2,21	2,193											
	2,2015												
Pourcentage d'imbibition													
									1000,2	1000	1000,2	1000	
								Mj+1 07/04/2012		1039	1039,2	1039,2	1038,7
								Wj+1 = 100 x (Mj+1 - M) / M		3,87%	3,92%	3,89%	3,87%
								Mj+3 09/04/2012		1043	1043,7	1043,3	1042,5
								Wj+3 = 100 x (Mj+3 - M) / M		4,27%	4,37%	4,30%	4,25%
								Mj+6 12/04/2012		1046	1046,6	1046,1	1043,5
								Wj+6 = 100 x (Mj+6 - M) / M		4,57%	4,66%	4,58%	4,35%
								Mj+9 15/04/2012		1046	1047,3	1046,2	1043,9
								Wj+9 = 100 x (Mj+9 - M) / M		4,57%	4,73%	4,59%	4,39%
Pourcentage de vide													
V% = 100x(1-MVA/MVRE)	9,64%	10,34%											
MVAG = MVA x (1-PI)/(100+PI)	2,092	2,076											
Vo% = 100x(MVRG - MVAG) / MVRG	21,11%	21,71%											
Vl% = 100x(Vo% - V%) / Vo	54,33%	52,37%											
Essais de compression simple DURIEZ													
Avec immersion ri (Mpa)							.	5,18	5,26	5,37	5,21		
Avec immersion r (Mpa)												5,255	
Sans immersion Ri (Mpa)			.	4,53	4,45	4,42	4,33						
Sans immersion R (Mpa)							4,43						
r/R							1,186						

2.3 Fiche de détermination de la teneur en bitume par la méthode KUMAGAWA

Poids en Grammes	Essai
Avant extraction	
Poids filtre P1	1,6
Poids cartouche P2	40,8
Poids enrobés PE	1024,7
Après extraction et filtration	
Poids Peau	0
Poids cartouche et granulats P3	1028
Poids granulats extraits PG = P3 - P2	987,2
Poids filtre et fines P4	1,8
Poids fines Pf = P4 - P1	0,2
Poids total granulats extraits (Granulats + fines) PGT = PG + Pf	987,4
Poids du bitume Pb = PE - (PGT + Peau)	37,3
Teneur en bitume	
Par rapport à l'enrobé 100x Pb / PE	3,64
Par rapport aux granulats 100x Pb / PGT	3,77

ANNEXE 3: CAHIER DES PRESCRIPTIONS TECHNIQUES

➤ Provenance et qualité des matériaux

La fourniture de tous les matériaux incombe à l'entrepreneur. Il devra soumettre la provenance de tous les matériaux destinés à l'exécution du présent marché à l'agrément de l'ingénieur avant leur mise en œuvre et en temps utile pour respecter le Programme d'exécution des travaux.

Les matériaux pour remblais et couche de forme proviendront de déblais ou d'emprunts proposés par l'entrepreneur, après agrément de l'ingénieur. Celui-ci pourra refuser son agrément s'il estime que la zone d'emprunt ou la carrière ne donne pas de matériaux de la qualité requise.

Les matériaux à utiliser pour les remblais proviendront soit d'emprunts, soit de déblais.

Les caractéristiques de ces matériaux seront les suivantes :

- ✓ Limite de liquidité $\leq 60\%$
- ✓ Indice de plasticité < 25
- ✓ Dimension des plus gros éléments $< 100\text{ mm}$
- ✓ Indice portant CBR à 90% de l'OPM et à 4 jours d'imbibition $\geq 7\%$
- ✓ Gonflement linéaire dans le module CBR $< 2\%$
- ✓ Teneur en matières organiques $< 1\%$

Les sols classifiés A7-5 et A7-6, selon la classification AASTHO, ne sont pas utilisables pour les remblais.

Le remplacement des sols impropres sera assuré par un matériau de qualité remblai, compacté à 90% de l'OPM au moins, jusqu'à rétablir la côte du terrain décapé. Le comblement des vides, caves, puits, puisards et excavations de toute nature sera réalisée dans les mêmes conditions.

➤ Couche de forme

Les matériaux pour couche de forme devront répondre aux spécifications suivantes :

- Taille maximum des éléments 100mm
- Passant au tamis de 2mm 30 à 80%
- Passant au tamis de 80 μ (F) $< 35\%$
- Indice de plasticité (IP) < 20

Renforcement des routes bitumées au BURKINA-FASO : cas de la route nationale N°1 entre Ouagadougou et Sakoinzé

- $F \times IP < 650$
- CBR après 4 jours d'imbibition à 95% de l'OPM $> 20\%$

Ces matériaux pourront être extraits des zones d'emprunt ou de carrières dans les conditions définies ci-dessus.

Les matériaux seront portés à une teneur en eau proche de la teneur en eau optimale, puis compactés jusqu'à atteindre 95% de la densité sèche maximum de l'OPM.

Les contrôles des matériaux effectués à la charge de l'entrepreneur comportent les opérations suivantes :

- | | |
|--|-------------------------------|
| ➔ Teneur en eau | tous les 250 m ³ |
| ➔ Limites d'atterberg | tous les 500 m ³ |
| ➔ Analyse granulométrique | tous les 500 m ³ |
| ➔ Essai Proctor Modifié | tous les 2000 m ³ |
| ➔ Essai CBR | tous les 3000 m ³ |
| ➔ Densité in situ
quinconce | tous les 50 m en
quinconce |
| ➔ Essai à la plaque (SNV 670317 a) $M_d > 500\text{Kg/cm}^2$ | tous les 100 m. |

➤ Couche de fondation

Les matériaux utilisés proviennent du recyclage de la couche de base en GL existante le long des tronçons.

Ces graveleux devront répondre aux spécifications suivantes :

- Limite de liquidité $< 40\%$
- $IP < 20$
- $F \times IP < 650$
- Valeur au bleu de méthylène $< 2.5\text{g}$
- Densité sèche à 100% de l'OPM $> 20.0\text{ kN/m}^3$
- CBR à 95% de l'OPM après 4 jours d'imbibition $\geq 30\%$
- Gonflement linéaire $< 0.5\%$
- Taux de matériaux organiques $< 0.5\%$

Les graveleux latéritiques doivent présenter le fuseau suivant :

Renforcement des routes bitumées au BURKINA-FASO : cas de la route nationale N°1 entre Ouagadougou et Sakoinsé

<i>Tamis (mm)</i>	<i>Passant (%)</i>
10.0	< 80
2.0	< 40
0.08	< 35

Ces matériaux compactés doivent être supérieure à 95% de l'OPM.

Les contrôles des matériaux à la charge de l'entrepreneur à effectuer comportent les opérations suivantes :

- ➔ Teneur en eau et densité in situ tous les 50 m en quinconce
- ➔ Granulométrie et limites d'atterberg tous les 500 m³
- ➔ Proctor Modifié tous les 2000 m³
- ➔ CBR à 3 énergies de compactage (90, 95, 100% OPM) tous les 3000 m³
- ➔ Déflexion caractéristique (essieu de 13t) $D_{90} \leq 60/100$ tous les 25m en quinconce à exécuter 24h après compactage)

➤ Couche de base

- Couche de base et accotements en graveleux latéritiques :

Les matériaux utilisés pour la couche de base des élargissements de la plateforme et des accotements dans le renforcement sont des graveleux latéritiques naturels.

Ces graveleux devront répondre aux spécifications suivantes :

- Limite de liquidité < 40%
- IP < 15
- $F \times IP < 350$
- Valeur au bleu de méthylène < 2.5g
- Densité sèche à 100% de l'OPM > 20.0 kn/m³
- Gonflement linéaire < 0.5%
- Taux de matériaux organiques < 0.5%

Les graveleux latéritiques doivent présenter le fuseau suivant :

<i>Tamis (mm)</i>	<i>Passant (100%)</i>
40	95-100
31.5	90-100

Renforcement des routes bitumées au BURKINA-FASO : cas de la route nationale N°1 entre Ouagadougou et Sakoinsé

20.0	75-100
10.0	58-100
5.0	40-78
2.0	28-65
1.0	22-56
0.5	18-50
0.08	5-35

Les contrôles des matériaux à la charge de l'entrepreneur à effectuer comportent les opérations suivantes :

- ➔ Teneur en eau tous les 200 m³ à la mise en œuvre
- ➔ Granulométrie et limites d'atterberg tous les 500 m³
- ➔ Proctor Modifié tous les 2000 m³
- ➔ CBR à 3 énergies de compactage (90, 95, 100% OPM) tous les 3000 m³
- ➔ Densité in situ tous les 50 m en quinconce
- ➔ Essai de plaque (SNV 670317 a) $M_d \geq 1000 \text{Kg/cm}^2$ tous les 100 m sur l'axe et à 4m de part et d'autre de l'axe
- ➔ Déflexion caractéristique (essieu de 13t) $D_{90} \leq 60/100$ tous les 25m en quinconce à exécuter 24h après compactage)

Les contrôles à la charge de l'administration comportent :

Tous les 200m environ après compactage :

- ✓ Teneur en eau et densité sèche(ou mesure au gamma-densimètre) exécutées alternativement à gauche et à droite de l'axe de la chaussée ;
- ✓ Essai de plaque (SNV 670317 a) $M_d \geq 1000 \text{Kg/cm}^2$ sur l'axe et à 4m de part et d'autre de l'axe.

Tous les 50m environ 24h après compactage :

- ✚ Déflexion caractéristique (essieu de 13t) $D_{90} \leq 60/100$

- Couche de base en grave concassé 0/20

Renforcement des routes bitumées au BURKINA-FASO : cas de la route nationale N°1 entre Ouagadougou et Sakoinsé

Les granulats proviennent de carrières de roches massives dures situés dans la région du projet. Les matériaux seront exploités en carrières dans une centrale de concassage.

Les matériaux devront présenter un fuseau granulométrique 0/20 :

<i>Tamis (mm)</i>	<i>Passant (%)</i>	<i>Ouverture du fuseau de régularité (passant)</i>
31.5	100	
20.0	85-100	
10	55-82	± 10 %
6.3	42-70	± 8%
4	32-60	± 7%
2.0	22-49	± 6%
0.5	11-30	± 4%
0.2	7-20	± 3%
0.08	4-10	± 2%

Autres caractéristiques :

- Indice de concassage > 100%
- Indice de plasticité (IP) 0
- Taux de compactage à l'OPM > 98%
- Résistance à l'abrasion (Los Angeles) < 35%

Les contrôles à la charge de l'entrepreneur :

Tous les 1000m³ mise en œuvre :

- ✚ Essai Proctor Modifié

Tous les 500m³ mise en œuvre :

- ✚ Granulométrie et limites d'atterberg ou équivalent de sable

Tous les 50m (sur l'axe et à 4m de part et d'autre de l'axe) :

- ✚ Essai à la plaque (SNV 670317a) : $Me \geq 1200 \text{Kg/cm}^2$

Tous les 25m (sur l'axe et à 4m de part et d'autre de l'axe) :

- ✚ Déflexion sous essieu de 13t D90 ≤ 80/100mm (à exécuter 24h après compactage)

Tous les 50m alternativement à gauche et à droite de l'axe

Renforcement des routes bitumées au BURKINA-FASO : cas de la route nationale N°1 entre Ouagadougou et Sakoinsé

- ✚ Teneur en eau et densité en place

L'entreprise remettra l'ensemble des essais au contrôle (administration) pour une vérification éventuelle.

Les contrôles à la charge de l'administration comportent :

Tous les 200m environ après compactage :

- ✚ Teneur en eau et densité sèche(ou mesure au gamma-densimètre) exécutées alternativement à gauche et à droite de l'axe de la chaussée.

➤ Couche d'imprégnation

La couche de base sera imprégnée sur toute sa largeur en accord avec le profil en travers type au bitume fluidifié. Le type de bitume utilisé est du bitume fluidifié 0/1 ou cut-back obtenus par un mélange de bitume pur avec un diluant provenant de la distillation du pétrole (à l'exécution du gazole).

Le dosage du liant doit être de 1kg/m^2 .

Un balayage préalable énergétique avec une balayeuse mécanique et un soufflage à air haute pression seront effectués sur la couche de base, avant la mise en œuvre de la couche d'imprégnation de façon à éliminer tout matériau roulant et toute poussière résiduelle.

L'épandage du bitume fluidifié sera exécuté à la température normale de répandage (120° - 130°).

Un sablage éventuel sera exécuté sur les surfaces imprégnées à raison de sept à huit litres de sable 2/4 par m^2 qui devra présenter une propreté telle que $\text{ESV} > 60$. Un compactage léger pourra être prescrit après exécution du sablage. Le sablage sera obligatoire en cas d'excès de liant ou en cas de passage de circulation lourde sur la couche de base sans frais supplémentaires.

Fiche de contrôle de la couche d'imprégnation

Pk	position	Tare		Poids		Dosage kg/m^2	observations
		numéro	poids	Tare + liant	liant		
642		B	309	362	53	1.060	Ok
646		Z	317	371	54	1.080	Ok
650		B	309	360	51	1.020	Ok
657		A	308	358	50	1.000	Ok

Renforcement des routes bitumées au BURKINA-FASO : cas de la route nationale N°1 entre Ouagadougou et Sakoinsé

664		B	308	360	52	1.040	Ok
672		Z	317	368	51	1.020	Ok
681		B	309	361	52	1.040	Ok
690		A	308	358	50	1.000	Ok

Calcul du dosage :

$$D = \frac{\text{poids liant}}{\text{surface plaque}} \longrightarrow \text{A.N} \quad D = \frac{53}{0,25 \times 0,20} = 1060 \text{ g/m}^2 = 1.060 \text{ kg/m}^2$$

➤ Couche d'accrochage

Préalablement à la mise en œuvre de la GB et du BB, une couche d'accrochage sera répandue sur la chaussée déjà imprégnée. Un balayage énergétique sera effectué avec une balayeuse mécanique avant la mise en œuvre de la couche d'accrochage de façon à éliminer tous les matériaux et toutes poussières résiduels.

Le liant sera un bitume fluidifié 400/600, ou une émulsion cationique de bitume ECR 69, ou un bitume pur.

Le dosage sera tel que la quantité minimale de bitume résiduel restant sur la chaussée sera en moyenne de 0,4/0,5 kilogrammes par mètre carré, au moins. Si un sablage après imprégnation a été effectué, le dosage sera augmenté à 0,6 kg par mètre carré en moyenne.

La circulation de tous les véhicules sera rigoureusement interdite sur la couche d'accrochage jusqu'à la mise œuvre de la grave bitume ou du béton bitumineux. En cas de pollution ou de dégradation de la couche d'accrochage, sa réfection sera à la charge de l'entreprise.

***ANNEXE 4: RESULTATS DU COMPTAGE DU TRAFIC ROUTIER
EFFECTUE SUR LA RN1 (TRONÇON OUAGADOUGOU-SAKOINSE) DU
30 JUIN AU 29 JUILLET 2010***

Année de référence	2010			
	Entrée Tanghin-Dassouri		Entrée Sakoinsé	
Types de véhicules	Sens 1 (vers BOBO)	Sens 2 (vers OUAGA)	Sens 1 (vers BOBO)	Sens 2 (vers OUAGA)
Véhicules Particuliers (VP)	8923	8542	7526	6455
Camionnettes (CAMNTTES)	2012	1912	1172	1288
Véhicules tous terrains (VTT)	7516	7295	6581	6076
CAMNTTES + VP + VTT	18451	17749	15279	13819
Véhicules toutes catégories (VTC)	33340	32015	27407	24653
Poids Lourds (PL) = VTC – (VP + CAMNTTES + VTT)	14889	14266	12128	10834
Trafic Moyen Journalier Annuel PL (TMJA)	497	476	405	362
Total de Poids Lourds de 2 sens	973		767	
Taux de progression linéaire (t)	4 %			
Durée de service (n)	20 ans			