

**ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DE LA ROUTE FÔ BOURE
SINENDE SECTION : FÔ BOURE VILLAGE MONSI-BENIN**

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

Présenté et soutenu publiquement le 26 Janvier 2016 par :

Mamadou Yaya DIALLO

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. Abdou LAWANE

Membres et correcteurs : M. Célestin OVONO

M. Césaire EMA

M. Moussa LO

Travaux dirigés par :

Dr. Ismaïla GUEYE

Enseignant Chercheur à 2iE

M. Jeannot AGBAHEY

Ingénieur en Génie Civil à CINTECH

Promotion 2014/2015

CITATIONS

« Pour longue qu'ait été ta route, Kala Jata, elle t'a conduit en un lieu habité. »

Masse Makan Diabaté

« Celui qui dissimule une partie quelconque de la charpente se prive du seul légitime et plus bel ornement de l'Architecture, celui qui dissimule un poteau commet une faute ; celui qui fait un faux poteau commet un crime ».

Auguste Perret

DEDICACES

Après avoir renouvelé notre dévouement au Créateur, pour l'immensité de sa providence qui guide et couvre tous les aspects de notre vie, je dédie ce mémoire à mes parents :

- ✓ Ma mère Hadja Aïssatou BAH, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis, les précieux conseils, pour toute son affection et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude. Aucune dédicace ne saurait combler tout ce que tu as fait pour moi que Dieu te protège et te donne longue vie.
- ✓ Mon père El hadj Mamadou Oury DIALLO, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit, merci pour les nobles valeurs enseignées, l'éducation et le soutien permanent que Dieu te comble comme tu ne l'as cessé d'être pour moi et qu'Il te donne longue vie.
- ✓ Mes frères et sœurs qui n'ont cessé d'être là pour moi, vous êtes des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

REMERCIEMENTS

Nulle œuvre n'est exaltante que celle réalisée avec le soutien moral et financier des personnes qui nous sont proches.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes remerciements à :

- M. Marius GAGRE**, Directeur Général CINTÉCH-Ingénieurs Conseils, pour m'avoir accueilli au sein de sa structure ;
- ✓ **M. Stalislav BERE**, Directeur de plateforme Infrastructures et Ouvrages d'Art,
- ✓ **M. Cherif Sidy BARRY**, Chef de Département Infrastructures et Ouvrages d'Art à CITECH-Ingénieurs Conseils, pour sa disponibilité, son assistance et ses conseils tout au long de ce travail ;
- ✓ Mes encadreurs **M. AGABHEY Jeannot**, Ingénieur Génie Civil, pour avoir accepté de m'encadrer, me fournir tous les documents et données disponibles et nécessaires pour l'étude, pour sa disponibilité, les conseils et le suivi qu'il m'a accordé durant ce travail ;
- ✓ **M. Ismaïla GUEYE**, Enseignant chercheur à la fondation 2ie, pour sa disponibilité, ses orientations, ses conseils et qui malgré ses multiples occupations a consacré son temps au suivi de ce travail,

Je remercie également :

- ✓ **Tout le personnel** à CINTÉCH-Ingénieurs Conseils durant la période de stage pour l'accueil chaleureux, le cadre de travail agréable, l'harmonie et les encouragements perpétuels dont ils ont été les auteurs ;
- ✓ Tout le corps professoral de la Fondation 2iE, pour tous les outils mis à notre disposition durant la formation, qui nous ont aidés à relever les défis rencontrés en phase terminale ;
- ✓ Mr et Mme DIALLO Algahassimou qui m'ont assisté dans ces moments difficiles et qui n'ont cessé de m'encourager durant ces années passées ensemble, vous êtes une référence pour moi ;
- ✓ Mr Bachir Alphadjo Barry pour son soutien inconditionnel et qui n'a cessé de me motiver à aller de l'avant ;
- ✓ Au secrétariat exécutif de WAQF – BID Guinée pour la bourse octroyée ;
- ✓ Mes amis et camarades de classe pour la convivialité prévalue au cours de notre formation ; ainsi qu'à tous ceux qui d'une manière ou d'une autre, ont contribué à ma formation.

Veillez trouver dans ce travail, le début des résultats de vos sacrifices et soyez en fiers.

RESUME

Ce travail intitulé « *Etudes techniques détaillées de l'aménagement et du bitumage de la route Fô Bouré Sinendé section Fô Bouré Village Monsi Bénin* » s'inscrit dans le cadre de la stratégie de développement du secteur des transports routiers élaboré par le gouvernement de la République du Bénin. La section de notre projet part du **Pk 0+000** au **Pk 09+ 000** soit une longueur totale de neuf kilomètres.

Cette étude a pour objectifs, la conception de la route et de ses aménagements annexes, le dimensionnement et le calcul des différents ouvrages ainsi que les procédures de réalisation.

A cet effet pour atteindre ces objectifs, il a été d'abord effectué la présentation et l'état de lieux de la zone d'étude. L'étude géométrique de la route a été faite à partir des données topographiques qui nous ont donné les caractéristiques géométriques de la route (tracé en plan, profil en long, calcul des cubatures...) par le logiciel Piste 5.06 avec une vitesse de référence de **80Km/h**. le profil en travers obtenu est constitué de 02 voies réservées aux véhicules d'une largeur de 7,00m et de deux accotements de 1,50m de largeur chacun, un profil en long de **24 droites** et **23 courbes**, ce qui correspond respectivement à **6582,751 mètres** d'alignements droits contre **2408,641 mètres** de courbes.

Les études du trafic ont donné une classe de trafic T4 avec un sol de classe S3, la méthode empirique du CEBTP a été utilisée pour déterminer la structure de la chaussée en fonction des matériaux disponibles. Cette structure est composée d'un revêtement de 4 cm à l'**enduit superficiel de type bicouche** pour la couche de roulement, **15 cm de grave naturelle amélioré au ciment** pour la couche de base et **15 cm de graveleux latéritique naturel** pour la couche de fondation, une vérification par la méthode rationnelle a été faite par le logiciel Alizé LCPC.

Afin de maintenir la chaussée hors d'eau un système d'assainissement constitué de caniveaux de 60 x 60 et de 120 x 120 a été proposé, des ouvrages transversaux en dalots cadre fermé de **(1 x1 x1)**, **(1 x2 x2)** et **(2 x2 x1)** ont été dimensionnés.

Une proposition de dimensionnement de l'éclairage public a été déterminée forfaitairement avec des luminaires pour lampe ballon et le réseau d'éclairage en candélabres simples crosses en acier galvanisé suivant l'emplacement des luminaires. Un volet signalisation routière a été abordé qui a donné **18 panneaux de signalisation verticale**. Enfin une étude d'impact environnemental liée aux différentes phases du projet a été abordée. Des mesures d'atténuations selon la nature de l'impact identifié sont proposées.

Enfin, une estimation financière a été faite et le coût global du projet s'élève à **3 348 874 267 FCFA** soit **372 097 141 FCFA** au Kilomètre.

Mots clés :

1. Aménagement;
2. Bitumage;
3. Route ;
4. Fô Bouré ;
5. Monsi

ABSTRACT

This study entitled «*Detailed technical studies of the layout and the asphaltting of the road Fô Bouré Sinendé section Fô Bouré Monsi Village -Bénin* » lies within the scope of the strategy of development of the road transport sector worked out by the government of the Republic of Benin. The section of our project starts from the *PK 0+000* to *PK 09+ 000*, an overall length of nine kilometers.

This study aims at, the design of the road and its additional installations, the dimensioning and the calculation of the various works as well as the procedures of realization. And a profile longitudinally of *24 lines* and *23 curves*, which corresponds respectively to *6582,751 meters of right alignments* against *2408,641 meters of curve*.

To achieve these goals, it was initially carried out the presentation and the state of the case study. The geometrical study of the road was made starting from the topographic data which gave us the geometrical characteristics of the road (alignment, longitudinal profile, earth works...) by the software Piste 5.06 with a design speed of *80Km/h*

The studies of the traffic gave a class of traffic T4 with a ground of class S3, the empirical method of the CEBTP was used to determine the structure of the roadway according to materials available. This structure is made up of a surface dressing coating of double-layered type for the wearing course, 15 cm of natural low register improved with cement for the base course and 15 cm gravelly lateritic naturalness for the sub-base, a checking by the rational method was made by the software Alizé LCPC.

In order to maintain the carriageway out of water, a system of drainage made up of gutters and side ditches of trapezoidal shape were proposed, of the transverse works in channel tallies closed (1 x1 x1), (1 x2 x2) and (2 x2 x1) were designed.

A proposal for a dimensioning of the street lighting was given contractually. A shutter road signs was approached. Finally an environmental impact study related to the various phases of the project was approached. Measures of attenuations according to the nature of the identified impact are proposed.

Lastly, a financial estimate was made and the total cost of the project rises to *3 348 874 267 FCFA* is *372 097 141 FCFA* with the Kilometer.

Key words:

1. Adjustement;
2. Asphaltting;

3. Fô Bouré ;
4. Monsi
5. Road ;

LISTE DES ABREVIATIONS

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

AASHTO: American Association of State Highway and transport Official

ARP : Aménagement de,s Routes Principales

BAEL : Béton Armé aux Etats limites

BB : Béton Bitumineux

BCEOM : Bureau Central d'Etudes d'Outre-Mer

BID : Banque Islamique de Développement

BV : Bassin Versant

CAM : Coefficient d'Agressivité Moyen

CBR : Californien Baring Ratio

CEBTP : Centre Expérimental des Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Public

CIEH : Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques

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

CNERTP : Centre National d'Essais et de Recherches de Travaux Publics

EIE : Etude d'Impact Environnemental

ELS : Etat limite de Service

ELU: Etat Limite Ultime

FAO: Food and Agriculture Organization

HA: Haute Adherence

KN: Kilo Newton

Km/h: Kilomètre/heure

MPa : Méga Pascal

NIE : Notice d'Impact Environnemental

PK : Point Kilométrique

PL : Poids Lourds

RDM : Résistance des Matériaux

RN : Route Nationale

SETRA : Service d'Etudes Techniques des Routes et d'Autoroutes

TC : Trafic cumulé

TDR : Terme Des Références

TPL : Trafic Poids Lourds

TN : Terrain Naturel

UEMOA: Union Economique Monétaire Ouest Africaine.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Coordonnées géographiques de la zone du projet	4
Tableau 2: Ouvrages hydrauliques identifiés sur le tronçon	8
Tableau 3: Paramètres fondamentaux de la route.....	10
Tableau 4: paramètres cinématiques	10
Tableau 5: Paramètres fondamentaux du profil en long.....	11
Tableau 6: Paramètres du carrefour.....	13
Tableau 7: caractéristique des matériaux de la plateforme.....	15
Tableau 8: caractéristique des sols types.....	16
Tableau 9: classe de portance des sols	17
Tableau 10: résultats d'essai sur matériaux d'emprunt	17
Tableau 11: Données du trafic.....	20
Tableau 12: Classe du trafic en nombre de poids lourds équivalent	21
Tableau 13: Prédimensionnement de la structure de chaussée.....	21
Tableau 14 : caractéristiques physiques des bassins versants	25
Tableau 15 : Récapitulatif des débits d'apport par la méthode rationnelle	26
Tableau 16: Récapitulatif de calcul du débit d'apport par la méthode ORSTOM	27
Tableau 17: Récapitulatif des débits de crue.....	28
Tableau 18: Récapitulatif des sections de dalots retenues.....	30
Tableau 19: Récapitulatif du ferrailage du dalot 2x2x1	33
Tableau 20: ferrailage caniveaux	34

LISTE DES FIGURES

Figure 1:carte de localisation de la zone du projet.....	4
Figure 2: etat actuel de la route	6
Figure 3: ravinement latéral sur la route	7
Figure 4: ouvrage pk 7+900 dalot a piédroit en maçonnerie de moellons	7
Figure 5: ouvrage pk 2+400 talus et ouvrage de tête jonchés d'herbes	7
Figure 6: amorce perpendiculaire à la chaussée principale.....	14
Figure 7 : amorce en biais a la chaussée principale	14

TABLE DE MATIERES

CITATIONS	i
DEDICACES	ii
REMERCIEMENTS	iii
RESUME	iv
ABSTRACT	vi
LISTE DES ABREVIATIONS	viii
LISTE DES TABLEAUX	x
LISTE DES FIGURES	xi
INTRODUCTION	1
I PRESENTATION GENERALE DU PROJET	3
I.1 Problématique	3
I.1.2 Objectif global de l'étude	3
I.1.3 Objectifs spécifiques de l'étude	3
I.1.4 Localisation de la zone du projet	4
I.2 CADRE PHYSIQUE ET ECONOMIQUE DE LA ZONE D'ETUDE	5
I.2.1 Climat	5
I.2.2 Végétation	5
I.2.3 Sols	5
I.2.4 Hydrographie	5
I.2.5 Relief	5
I.2.6 Activités économiques	6
I.3 DESCRIPTION DE L'ETAT DES LIEUX	6
II. CONCEPTION GEOMETRIQUE DE LA ROUTE	9
II.1 ETUDE DU TRACE EN PLAN	9
II.1.1 Vitesse de référence et paramètres de projet	9
II.1.2 Paramètres cinématiques	10
II.1.3 PROFIL EN LONG	11
II.1.4 PROFIL EN TRAVERS ET PROFILS EN TRAVERS TYPES	12
II.2 AMENAGEMENT DU CARREFOUR	12
II.3 AMENAGEMENT DES AMORCES	13
III DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL DE LA CHAUSSE	15

III.1	ETUDES GEOTECHNIQUES.....	15
III.1.1	Classe de la plateforme support de la chaussée.....	17
III.1.2	Etude geotechnique des zones d'emprunt.....	17
III.2	DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE DE CHAUSSEE.....	18
III.2.1	Méthodes de dimensionnement.....	18
III.2.2	Méthodes empiriques.....	18
IV.2.3	Méthodes rationnelles ou théoriques.....	18
III.3	PARAMETRES DU DIMENSIONNEMENT :.....	19
III.3.1	Durée de vie :.....	19
IV.3.2	Taux de croissance.....	19
III.3.3	Etude du trafic.....	19
–	Classes de trafic.....	19
III.3.4	Trafic en nombre de poids lourds.....	20
III.3.5	Structure de chaussée.....	21
III.4	SIMULATION DU LOGICIEL ALIZE III.....	22
–	Résultats de la simulation par Alizé.....	23
IV.	ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE.....	25
IV.1	Etudes hydrologiques.....	25
IV.1.1	Caractéristiques physiques des bassins versants.....	25
IV.1.2	Choix de la période de retour :.....	26
IV.1.3	Méthode rationnelle :.....	26
IV.1.4	Méthode ORSTOM ou Rodier :.....	27
IV.1.5	Débit de dimensionnement des dalots.....	28
IV.2	ETUDES HYDRAULIQUES.....	29
IV.2.1	Hypothèses :.....	29
IV.3	DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL EN BETON ARME DES OUVRAGES.....	31
IV.3.1	PREDIMENSIONNEMENT DES DALOTS.....	31
IV.3.2	Hypothèses de calcul.....	31
IV.3.3	Règlements et instructions.....	32
IV.3.4	Caractéristiques des matériaux.....	32
IV.4	DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE DES OUVRAGES LONGITUDINAUX.....	33
V	SIGNALISATION, SECURITE ROUTIERE ET ECLAIRAGE PUBLIC.....	35

V.1	SIGNALISATION ROUTIERE.....	35
V.1.1	Signalisation temporaire.....	35
V.1.2	Signalisation permanente.....	35
V.2	SECURITE ROUTIERE	38
V.3	ECLAIRAGE PUBLIC.....	39
V.3.1	Types de luminaires	39
V.3.3	Hauteur du dispositif d'éclairage.....	40
V.3.4	Distance entre équipements.....	40
V.4	ENTRETIEN ROUTIER.....	41
V.4.1	Les différents types d'entretiens routiers :	41
VI.	ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL	42
VI.1	La méthodologie utilisée.....	42
VI.2.1	Le milieu physique.....	43
a)	Mesures d'atténuation et de bonification pour la végétation.....	43
b)	Mesures d'atténuation et de bonification pour le sol.....	43
c)	Mesures d'atténuation et de bonification des ressources en eau	43
VI.2.2	Milieu humain.....	44
a)	Mesures d'atténuation et de bonification pour la santé	44
b)	Mesure d'atténuation et de bonification pour l'économie et l'emploi	44
c)	Mesures d'atténuation et de bonification socioculturelles	44
VII.	CONCLUSION ET RRECOMMANDATIONS	45
ANNEXES.....		48

INTRODUCTION

Le Bénin, pays de l'Afrique occidentale situé entre les parallèles 6° et 12° de l'altitude NORD et les méridiens 0° et 4° de longitude EST, bénéficiant de 150 Km d'ouverture sur l'océan atlantique.

Cette situation géographique lui offre une position stratégique parmi les pays côtiers d'Afrique de l'ouest. Il constitue un couloir de transit pour le trafic au départ et à destination du port autonome de Cotonou (PAC) vers les pays frontaliers n'ayant pas une ouverture à la mer notamment le Niger, le Burkina Faso et le Mali.

Pour faire face à cette demande de transport une stratégie de développement du réseau routier a été mise en place notamment la préservation, le relèvement progressif du niveau d'aménagement, le renforcement des capacités au regard du flux de trafic et l'extension de l'ensemble des routes du pays. C'est dans ce contexte qu'un projet intitulé: *«Réalisation des études technico-économiques, d'impact environnemental, social et de sécurité routière de réhabilitation ou d'aménagement et de bitumage d'environ 700 kilomètres de routes du réseau national»* a été initiée par le Gouvernement.

Le présent mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de **Master en Ingénierie de l'eau et de l'environnement, option Génie Civil**, dont le thème est : « ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DE L'AMENAGEMENT ET DU BITUMAGE DE LA ROUTE FO BOURE-SINENDE : SECTION FO BOURE - VILLAGE MONSI-BENIN» s'inscrit dans le cadre de la réalisation du lot 2 reparté en trois tronçons qui sont : Guéné-Karimama, Tamarou-Ouénou et Fô Bouré-Sinendé. Notre étude portera sur une section du tronçon (Fô Bouré-Sinendé long de 27,5 Km) qui va du pk 0+000 au pk 9+000 soit 9 Km.

Ainsi pour mener à bien cette étude, ce mémoire sera structuré comme suit :

- ❖ Introduction
- ❖ Présentation générale du projet ;
- ❖ Conception géométrique de la route ;
- ❖ Dimensionnement structural de la chaussée ;
- ❖ Etudes hydrologique et hydraulique de la route ;
- ❖ Signalisation et sécurité routière ;
- ❖ Etude d'impact environnemental ;
- ❖ Conclusion et recommandations.

Pour ce faire une méthodologie a été adoptée pour l'atteinte de nos objectifs qui s'articulent de la façon suivante :

A/ Collecte des données :

A1. Recherches documentaires (bibliothèque- Internet)

A2. Collecte physique des données du projet

- Levés topographiques en coordonnées (X Y Z)
- Rapports géotechniques
- Plans topographiques de la zone du projet

B/ Réalisation des études :

- Dimensionnement géométrique de la route
- Dimensionnement structural de la chaussée
- Etude de l'assainissement de la route
- Dimensionnement et notes de calcul des ouvrages de dalot et établissement des plans de ferrailage

Ajoutées à ces rubriques, les études sur la signalisation, l'éclairage ainsi que les études d'impact environnemental et les Devis quantitatif et estimatif de construction de la route.

I PRESENTATION GENERALE DU PROJET

I.1 Problématique

Dans le cadre de la mise en œuvre de la stratégie de développement du réseau routier, le gouvernement du Bénin s'est engagé à se servir de la route mieux que par le passé non seulement comme facteur de création de richesse, mais aussi et surtout comme un patrimoine à préserver, un capital accumulé et un outil collectif qui doit contribuer au relèvement du produit intérieur brut du pays.

La section de route objet de notre étude fait partie de l'axe Fô Bouré-Sinendé tronçon de la RN 14 qui est une route en terre nouvellement classée. Cet axe relie les deux arrondissements les plus peuplés de la commune de Sinendé. Il s'agit d'une zone de grandes productions animales et agricoles.

Malgré les efforts du Ministère des Travaux Publics et des Transports dans le sens des entretiens sur financement du budget national, du fond routier et de certains bailleurs de fonds, ce tronçon demeure dans un état de praticabilité non adéquat au présent trafic surtout en saison des pluies occasionnant de ce fait de longues périodes de désagrément aux usagers.

Il est donc question de proposer une étude technique détaillée d'une route bitumée aux normes de l'UEMOA avec un système d'assainissement capable de mettre hors d'eau la chaussée, de rendre le trafic continu en toute saison, d'assurer la sécurité et le confort des usagers et enfin assurer le développement de la zone du dit projet.

I.1.2 Objectif global de l'étude

L'objectif de ce projet a pour but essentiel les études techniques détaillées d'une section de la route Fô Bouré Sinendé allant du Pk0+000 au Pk 09+000 en vue de l'aménagement et du bitumage de ce tronçon de route qui permettront de satisfaire aux besoins utiles au développement de la zone.

I.1.3 Objectifs spécifiques de l'étude

Les objectifs spécifiques de ce projet sont entre autres :

- ✓ Faire la conception de la route ;
- ✓ Aménager un carrefour en tenant compte de la sécurité routière et de la traversée d'agglomération ;

- ✓ Faire une vérification hydraulique et dimensionner les ouvrages d'assainissement ;

I.1.4 Localisation de la zone du projet

La zone du projet se situe dans le département de Borgou plus précisément dans la commune de Sinendé chef-lieu du même nom. La section de route objet de l'étude part du Pk0+000 à l'entrée du village de Fô Bouré jusqu'au Pk 9+000 du village de Monsi, les coordonnées géographiques sont données dans le tableau 1 et la localisation dans la figure 1 :

Tableau 1 : Coordonnées géographiques de la zone du projet

Désignations	Longitudes	Latitudes
Pk 0+000 Fô Bouré	10°06'47,48''NORD	2°23'30,49''EST
Pk 9+000 Village Monsi	10°11'29,37''NORD	2°24'02,55''EST

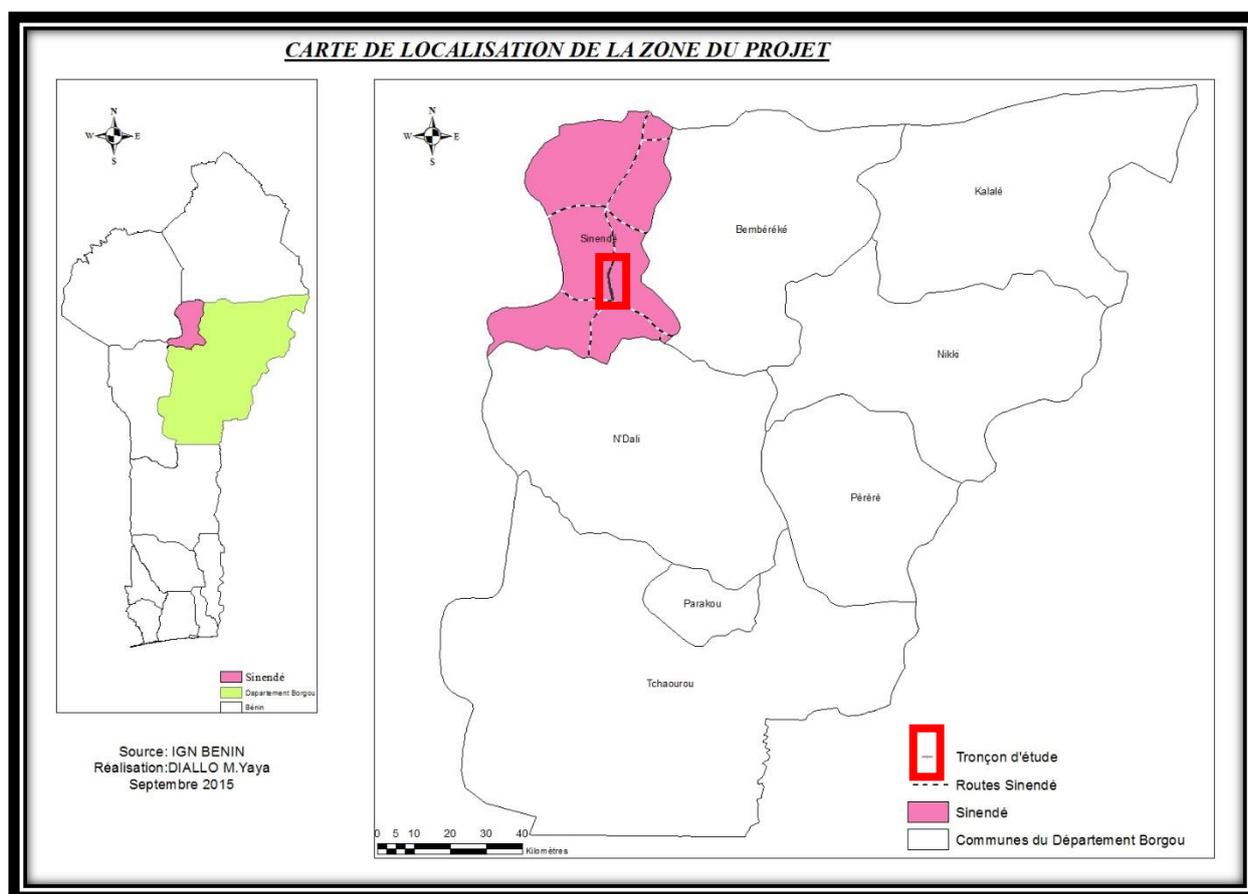


FIGURE 1: CARTE DE LOCALISATION DE LA ZONE DU PROJET

I.2 CADRE PHYSIQUE ET ECONOMIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

I.2.1 Climat

Le climat de zone du projet est de type Souda-guinéen avec deux saisons, une saison des pluies qui commence en Avril et dure sept (7) mois environ et une saison sèche qui s'étend de fin Novembre à fin Mars. La pluviométrie annuelle est de 1200 mm en moyenne.

La température annuelle s'établit au tour de 26°C avec un maximum de 32°C en Mars et redescend aux environs de 23°C en Décembre et Janvier. (Rapport annuel 2009, CeRPA Borgou/Alibori).

I.2.2 Végétation

La végétation joue un rôle important dans la construction routière aux stades des études, de la construction et de la vie de la chaussée en particulier. (BCEOM 1979) ;Bibliographie.

La végétation de notre zone de projet est de type savane arborée, caractérisée par la présence d'acajou, de bois d'ébène, du karité et du néré.

I.2.3 Sols

Le sol de la zone traversée par la route Fô Bouré-Sinendé est en majorité du type ferrugineux tropical, peu lessivé en argile et lessivé en sesquioxyde. Il existe cependant le long du tronçon de la route quelques enclaves ferralitiques.

Les sols rencontrés sont des sols sablo argileux. On retiendra que les sols en présence ont une relative aptitude pour les infiltrations, D'où leur classification à la catégorie RI selon les classes de perméabilité faites par (ORSTOM 1996 ; Bibliographie).

I.2.4 Hydrographie

Le réseau hydrographique de la commune de Sinendé est marqué principalement par la traversé de l'Alibori avec des affluents qui sont des cours d'eau saisonniers qui tarissent pendant la saison sèche.

I.2.5 Relief

Le relief de la zone de Borgou est constitué de plateaux et de collines. Dans la commune de N'Dali, une série de collines orientées Nord-Sud s'observe notamment dans les régions de Témé et Kori. Dans la commune de Sinendé, les collines sont situées à l'est et au nord (Kossia, Niaro). Cette pénéplaine se rattache à une vaste surface d'aplanissement dont les témoins traduisent un aplanissement poussé de roches anciennes et présentent une légère inclinaison vers le Nord. Les hauteurs varient entre 0 et 400 m à N'Dali.

Sur le tronçon Fô Bouré-Sinendé les dénivellations ne sont pas également importantes. Les hauteurs varient entre 357 m et 397 m avec une moyenne de 382 m.

I.2.6 Activités économiques

L'activité agro-pastorale est prédominante. Du point de vue agricole, il ressort que les cultures d'igname et du maïs ont les productions les plus élevées chaque année. En matière de cultures de rente, l'anacarde et surtout le coton occupe une grande partie de la population. Au niveau de l'élevage, le cheptel (ovin, caprin et bovin) de la commune est passé de 96 500 en 2007 à 160 000 têtes de bétail. Ce Cheptel bien qu'en chute relativement à la période antérieure enregistre tout de même une croissance de l'ordre de 7,5% par an sur la période 2007-2014. La mise en rapport de ces têtes de bétail avec l'effectif de la population permet de se rassurer que la zone d'influence du projet est excédentaire en viande et qu'elle exporte du bétail.

I.3 DESCRIPTION DE L'ETAT DES LIEUX

Actuellement la liaison entre Fô Bouré – Sinendé est assurée par une route en terre ; la chaussée est de 6 à 7 mètres et constituée d'une mince couche latéritique sur tout le tronçon (*fig.2*), comportant des ravinements latéraux par endroit (*fig.3*). Cette route comporte quelques ouvrages de traversée en dalot cadre fermé qui fonctionnent relativement bien. Le système de drainage est constitué par les fossés trapézoïdaux en perrés maçonnés et en béton armé et les caniveaux en U. les ouvrages sont pour la plupart en très mauvais état et sous dimensionnés (*fig.4*), très ensablé et envahis par la végétation (*fig. 5*). Après l'étude hydrologique et la vérification hydraulique des ouvrages, ils seront soit conservés soit remplacés et mis au gabarit de la nouvelle route afin de minimiser le coût du projet.



FIGURE 2: ETAT ACTUEL DE LA ROUTE



FIGURE 3: RAVINEMENT LATERAL SUR LA ROUTE



FIGURE 4: OUVRAGE PK 7+900 DALOT A PIEDROIT EN MAÇONNERIE DE MOELLONS



FIGURE 5: OUVRAGE PK 2+400 TALUS ET OUVRAGE DE TETE JONCHES D'HERBES

Il existe six (6) ouvrages dont les caractéristiques et localisation sont données dans le tableau 2 ci-après :

Tableau 2: Ouvrages hydrauliques identifiés sur le tronçon

Numéro	Pk	Type d'ouvrages	Section	Etat fonctionnel	Sens des écoulements
1	0+700	DCF	1x1x1	Bon état	D/G
2	1+500	DCF	1x1x1	Bon état	D/G
3	2+400	DCF	1x1x1	Bon état	D/G
4	2+800	DCF	1x1x1	Bon état	D/G
5	6+400	DCF	1x2x2	Bon état/bêche érodée	D/G
6	7+900	DCF	1x3, 5x1	Mauvais état	D/G

II. CONCEPTION GEOMETRIQUE DE LA ROUTE

L'étude géométrique est l'ensemble des techniques mathématiques permettant de définir les caractéristiques d'un projet routier.

Il s'agira ici de faire: le choix du type de route, de la catégorie, ensuite faire le tracé en plan, la conception des profils en long et en travers tout en respectant les normes de l'ICTARN devenu l'ARP (l'aménagement des routes principales) du guide des carrefours urbains réalisés et diffusés par le SETRA et du BCEOM ; (Bibliographie).

II.1 ETUDE DU TRACE EN PLAN

Le tracé en plan est une projection verticale de la route sur un plan horizontal, il est constitué d'une succession d'alignements droits intercalés par des courbes.

Selon (l'ARP ; 1994, bibliographie) le tracé en plan d'une route doit permettre :

- ✚ D'assurer la sécurité et le confort des usagers ;
- ✚ D'obtenir un réseau cohérent ;
- ✚ D'adopter la route au contexte environnemental, socio-économique et financier.

Par ailleurs, dans la conception du tracé en plan, nous avons recherché les conditions optimales suivantes :

- ❖ Adopter au mieux le rayon minimal normal ;
- ❖ Eviter les sections de tracé en plan rectiligne de trop grande longueur, car elles sont monotones le jour et gênantes la nuit à cause de l'éblouissement des phares. Ainsi une alternance harmonieuse entre les alignements droits et les courbes a été recherché ;
- ❖ Ne pas placer les courbes aux abords des OA ;
- ❖ Raccorder les sections circulaires et rectilignes par des éléments à courbe progressive (clothoïdes).

II.1.1 Vitesse de référence et paramètres de projet

La vitesse de référence est le principal critère dans la conception géométrique d'une route, pour notre cas la route objet de notre étude est une voie principale de type R80 avec une vitesse de référence $V_R=80km/h$ dont les paramètres sont consignés dans le tableau 3 ci-après :

TABLEAU 3:PARAMETRES FONDAMENTAUX DE LA ROUTE

DESIGNATION DU PARAMETRE		Symbole et unité	Catégorie de Route					
			4e	3e	2e	1e	Except.	
Vitesse de référence		Vr (Km/h)	40	60	80	100	120	
Tracé en plan	Dévers maximal		M (%)	7	7	7	7	
	Rayon en plan RH(m)	Minimal absolu (dévers M)	RHm	40	120	240	425	665
		Minimal normal (dévers)	RHN (%)	120 (5%)	240 (5%)	425 (5%)	665 (4%)	1000 (4%)
		Au dévers minimal (*)	RH'' (2.5%)	250	450	650	900	1500
			RH'' (2%)	300	500	700	1000	1600
Non déversé		RH'	400	600	900	1300	1800	

Source : (ARP, 1994)

II.1.2 Paramètres cinématiques

Pour l'aménagement des points particuliers ou la signalisation horizontale, les valeurs des paramètres sont obtenues à partir des paramètres cinématiques qui sont consignés dans le tableau 4 ci-dessous.

TABLEAU 4: PARAMETRES CINEMATQUES

Vitesse du véhicule	V (km / h)	40	60	80	100	120
Longueur de freinage	d_0 (m)	15	35	60	105	170
Distance d'arrêt en alignement	d_1 (m)	40	70	100	150	200
Distance d'arrêt en courbe	d_2 (m)	45	80	120	180	280
Distance de visibilité de dépassement	d_d (m)	150	250	325	400	500
Distance de visibilité de manœuvre de dépassement	dMd (m)	70	120	200	300	400

Source : (ARP, 1994)

Du pk 0+000 au pk 09+000 il a été trouvé une longueur totale de 8991,392 mètres dont 6582,751 mètres soit 73,21% d'alignements droits contre 2408,641 mètres soit 26,79% de courbes.

Le tracé reprend en grande partie le tracé de la route existante qui a l'avantage de conserver certains ouvrages existant avec pour simple opération de les mettre au gabarit de la nouvelle route. Les caractéristiques de l'axe en plan sont dans un tableau en *annexe V.I.1.*

II.1.3 PROFIL EN LONG

Le profil en long est la représentation sur le plan vertical des différents points en coordonnées (X, Y) du terrain naturel suivant l'axe du tracé en plan choisi.

Il est l'un des facteurs principaux intervenant dans l'économie de l'ouvrage, de la détermination des caractéristiques du profil en long dépendra la plus ou moins grande importance des terrassements, et par suite du coût de construction. Toutefois un dispositif en léger remblai est préférable au léger déblai qui complique l'évacuation des eaux et isole la route du paysage. (BCEOM, P111).

Les caractéristiques du profil en long sont définies par la vitesse de référence et sont consignées dans le tableau 5 ci-dessous.

TABLEAU 5: PARAMETRES FONDAMENTAUX DU PROFIL EN LONG

DESIGNATION DU PARAMETRE			Symbole et unité	Catégorie de Route				
				4e	3e	2e	1e	Except.
Vitesse de référence			Vr (Km/h)	40	60	80	100	120
Déclivité maximale en rampe			m (%)	8	7	6	5	4
Profil en long	Rayon avec angle saillant Rv(m)	Chaussée unidirectionnelle. (Route à 4 voies ou à 2 chaussées)	Minimal absolu RVm1	500	1500	3000	6000	12000
			Minimal normal RVN1	1500	3000	6000	12000	12000
	Chaussée bidirectionnelle. (Route à 2 ou 3voies)	Minimal absolu RVm2	500	1600	4500	10000		
		minimal normal RVN2	1600	4500	10000	17000		
Rayon en angle rentrant RV' (m)	Minimal absolu		RVm'	700	1500	2200	3000	4200
	Minimal normal		RVN'	1500	2200	3000	4200	6000
Rayon assurant la distance de visibilité de dépassement minimale sur route à 2 ou 3 voies			RVD (m)	2500	6500	11000	17000	28000

Les résultats des paramètres du profil en long sont en *annexe V.1. 3*.

Le tracé montre que le profil en long de la route est en mixte c'est à dire en déblai et en remblai et la ligne rouge a été calée pour tenir compte de la mise hors d'eau de la chaussée mais aussi du calage des différents ouvrages prenant en compte les études hydrologiques.

Les profils en long sont présentés en *annexe V.2*.

II.1.4 PROFIL EN TRAVERS ET PROFILS EN TRAVERS TYPES

Le profil en travers est la représentation de la coupe transversale de la route, Il fait ressortir l'assiette, l'emprise de la route ainsi que les différentes pentes.

Les profils en travers courants auront les caractéristiques suivantes :

- Largeur de la plate-forme 10,00m
- Largeur de la chaussée revêtue 7,00m
- Largeur des accotements 2 x 1,500m
- Devers de la chaussée 2,5%
- Devers des accotements 4%
- Pente des talus du remblai 3/2

Les profils en travers types retenues sont en *annexe V.3*.

II.2 AMENAGEMENT DU CARREFOUR

L'intersection de plusieurs voies routières peut être une source grave de sécurité. Le tiers des accidents et 40% des décès sur les routes nationales se produisent au niveau des carrefours. L'aménagement des carrefours a pour but de réduire cette insécurité (ARP 1994, bibliographie).

Un carrefour est un point d'intersection de deux ou plusieurs routes Le bon fonctionnement d'une route dépend essentiellement de la performance des carrefours car ceux-ci présentent des lieux d'échanges et de conflits où la fluidité de la circulation et la sécurité du trafic sont indispensables.

Les carrefours représentent une partie importante d'une route, la fluidité, la sécurité et l'intégration aux sites sont les buts recherchés, les aspects essentiels de la conception sont : la lisibilité, la visibilité, la capacité, la sécurité et enfin l'esthétique.

L'aménagement d'un carrefour demeure étroitement lié au type de route que nous avons, dans notre cas nous avons une route de type R80. Les routes de type R supportent un trafic de longue distance, de ce fait les aménagements les mieux adaptés sont les carrefours plans, giratoires ou non (croix, té).

Dans le cadre de ce présent projet nous avons opté pour un carrefour giratoire à trois (03) branches afin de faciliter la circulation et améliorer la sécurité au niveau des points d'intersections. Ce carrefour est composé d'un îlot central aménagé, d'une chaussée annulaire, d'îlots séparateurs en saillie délimités par des bordures basses et de différentes voies d'entrées et sorties.

Les différents paramètres utilisés pour la projection du carrefour sont consignés dans le tableau 6 ci-après :

TABLEAU 6: PARAMETRES DU CARREFOUR

	Notations	Paramétrage	Valeurs courantes (en m)			
			$R_g = 12$	$R_g = 15$	$R_g = 20$	$R_g = 25$
Rayon du giratoire	R_g	$12 \text{ m} \leq R_g \leq 25 \text{ m}$	$R_g = 12$	$R_g = 15$	$R_g = 20$	$R_g = 25$
Largeur de l'anneau	r_a	$6 \text{ m} \leq r_a \leq 9 \text{ m}$	7	7	7	8
Surlargeur franchissable	sl_f	$1,5 \text{ m si } R_g \leq 15 \text{ m}$	1,5	1,5	—	—
Rayon intérieur	R_i	$R_g - r_a - sl_f$	3,5	6,5	13	18
Rayon d'entrée*	R_e	$10 \text{ m} \leq R_e \leq 15 \text{ m et } \leq R_g$	12	15	15	15
Largeur de la voie entrante	r_e	$r_e = 4 \text{ m}$	4	4	4	4
Rayon de sortie*	R_s	$15 \text{ m} \leq R_s \leq 30 \text{ m et } > R_i$	15	20	20	20
Largeur de la voie sortante	r_s	$4 \text{ m} \leq r_s \leq 5 \text{ m}$	4	4	4,5	5
Rayon de raccordement	R_r	$R_r = 4 R_g$	48	60	80	100

II.3 AMENAGEMENT DES AMORCES

Les amorces routières sont des aménagements qui raccordent les branches secondaires à la route principale permettant aux véhicules d'accéder sans difficultés à la route. Il y a deux types d'amorces à aménager à savoir :

- ✚ Amorces perpendiculaire à la chaussée principale
- ✚ Amorces en biais à la chaussée principale

Dans ce projet les deux types ont été utilisés à l'entrée du Camp peuhl (Pk 2+950), Village de Sikki (Pk 4+850), CEG 5Pk 5+150) amorces perpendiculaires voir la figure 6 ci- après et à l'entrée du village Monsi (Pk 9+000) amorces en biais voir la figure 6 ci-dessous.

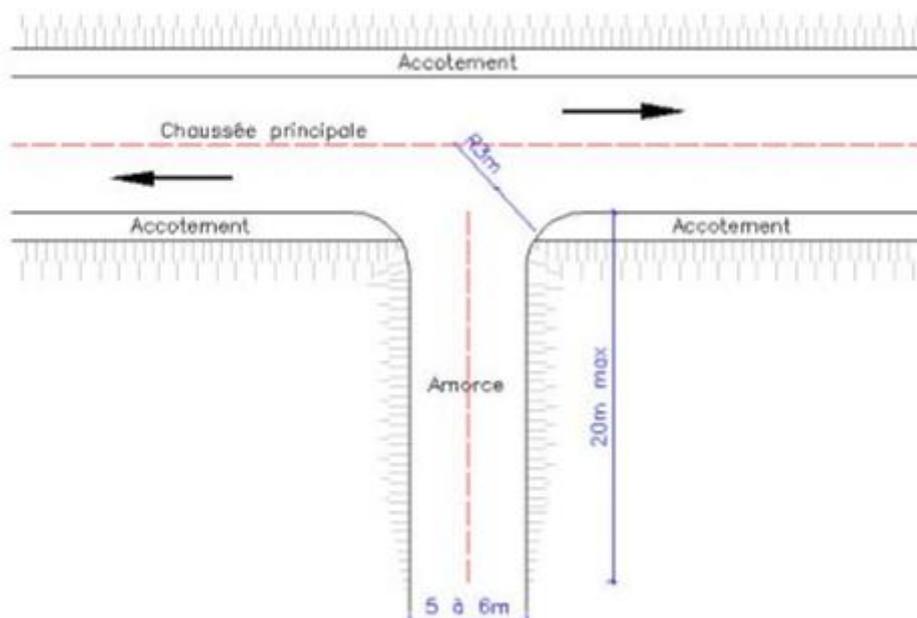


FIGURE 6: AMORCE PERPENDICULAIRE A LA CHAUSSEE PRINCIPALE

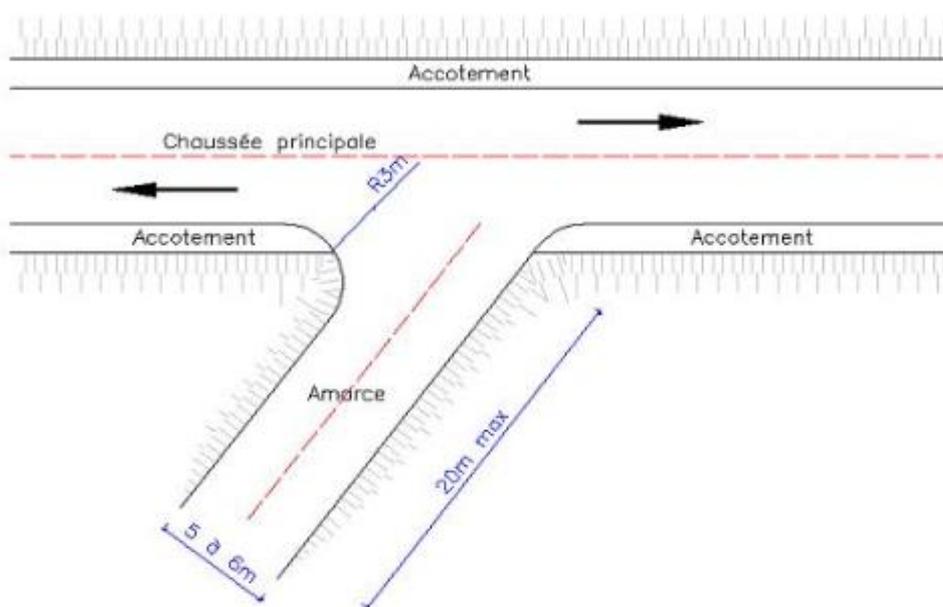


FIGURE 7 : AMORCE EN BIAIS A LA CHAUSSEE PRINCIPALE

III DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL DE LA CHAUSSE

III.1 ETUDES GEOTECHNIQUES

Dans le cadre de ce projet, les études géotechniques ont été réalisées par le laboratoire du centre national d'essai et de recherche en travaux publics (CNERTP) et ont consisté à faire la :

- ✚ Reconnaissance des sols de plate-forme ;
- ✚ Prospection et étude de matériaux de viabilité pour corps de chaussée ;

Les essais géotechniques réalisés sont l'analyse granulométrique (texture du sol), les limites d'Atterberg (consistance du sol), le Proctor modifié (teneur en eau optimale des sols) et la portance CBR (poinçonnement des sols).

Les caractéristiques des matériaux de la plateforme sont résumées dans le tableau 7 ci- après :

TABEAU 7: CARACTERISTIQUE DES MATERIAUX DE LA PATEFORME

Sondage N°	Profil	AG		LA	
	PK	%<2mm	%<0.080 mm	WL	Ip
1	2+400 C/D	93	44.5	24.20	9.5
2	3+800 C/G	52	25	22	8.0
3	5+800 C/D	62	34.5	29	13.5
4	7+800 C/G	79	52	46	20
5	9+800 C/D	93	41.5	32	15
6	11+800 C/G	95	45	29.25	10.25
7	13+800 C/D	83	31	26	10
8	15+800 C/G	91	63	36.75	16
9	18+800 C/D	88.5	34	21.5	8
10	19+500 C/G	73	29	36.75	15
11	21+800 C/D	55	13.5	29	11.5
12	25+800 C/G	83	20.5	21	10

Source : Rapport d'essais géotechniques du laboratoire CNERTP.

Les résultats enregistrés ont permis de grouper les matériaux de la plateforme en familles de sols types et sur chaque groupe, des essais d'identification complète ont été effectués. La portance du sol a été déterminée par zone de plateforme récapitulée dans le tableau 8 ci-dessous :

TABEAU 8: CARACTERISTIQUE DES SOLS TYPES

Familie N°	Sondage des puits	Profil	AG		LA		Proctor		CBR
		Pk	% < 2 mm	% < 0.080 mm	WL	Ip	Yd max T/m ³	W%	95%
1	1	2+400 C/D	92	49	40	17	1.965	9.5	20
	5	9+800 C/D							
	6	11+800 C/G							
	8	15+800 C/G							
2	2	3+800C/G	67.5	37	33.25	11.25	1.965	11.2	34
	3	5+800 C/D							
	4	7+800 C/D							
3	7	13+800 C/D	85	31	26.75	12	2.075	8.5	45
	9	17+800 C/D							
4	10	19+800 C/G	67.5	19	33.5	12	2.095	7.9	42.5
	11	21+800 C/D							
	12	25+800 C/G							

Source : Rapport d'essais géotechniques du laboratoire CNERTP.

L'analyse des résultats enregistrés montre que les matériaux de la plateforme sont constitués essentiellement de sable argileux mais présentent des portances variant d'une zone à une autre.

Ainsi, on distingue deux sections : dont l'une avec un CBR moyen admis est de 27 soit une classe de portance S4 et l'autre section avec un CBR moyen de 43,5 soit une classe de portance S5.

III.1.1 Classe de la plateforme support de la chaussée

Les données des études géotechniques, ont conduit à un CBR compris entre 15 et 30 ce qui correspond à classe de portance de **S4**, comme nous le montre le tableau 9 ci-dessous.

TABLEAU 9: CLASSE DE PORTANCE DES SOLS

classe de portance	Valeur CBR
S1	CBR < 5
S2	5 < CBR < 10
S3	10 < CBR < 15
S4	15 < CBR < 30
S5	CBR > 30

Source : Guide de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux

III.1.2 Etude géotechnique des zones d'emprunt

Au total trois (03) zones d'emprunt ont été localisées par le laboratoire CNERTP, avec un volume global exploitable de 55,680 m³ dont les résultats d'essai sur matériaux d'emprunt sont dans le tableau 10 ci-dessous.

TABLEAU 10: RESULTATS D'ESSAI SUR MATERIAUX D'EMPRUNT

Emprunt	Pk	AG		LA		Proctor		CBR
		% < 2 mm	% < 0.080 mm	WL	lp	Yd max(T/m ³)	W%	
Emprunt EG1	Pk 5+150 C/D	32	19	40	16	2.05	9.3	51
Emprunt EG2	Pk 15+600 C/D	49	16	44	13	2.01	8.9	48
Emprunt EG3	Pk 23+600 C/D	53	16	39	14	1.965	10.2	48

Source : Rapport d'essais géotechniques du laboratoire CNERTP

Ces résultats montrent que les matériaux trouvés sur ce tronçon peuvent être utilisés à l'état naturel comme matériaux de la couche de fondation. Après amélioration au ciment ils serviront valablement comme matériaux de couche de base.

III.2 DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE DE CHAUSSEE

Le dimensionnement de la structure consiste à déterminer le nombre et l'épaisseur de différentes couches constituant la couche de roulement et le corps de chaussée, pour le niveau de trafic escompté en tenant compte de la nature et des caractéristiques de la plateforme et des matériaux disponibles dans la zone du projet définies par les études géotechniques.

III.2.1 Méthodes de dimensionnement

En général, il existe deux approches principales pour le dimensionnement des chaussées :

- ✓ Méthodes empiriques ;
- ✓ Méthodes rationnelles ou théoriques.

III.2.2 Méthodes empiriques

Elles sont basées pour la plupart, sur des essais accélérés et des observations expérimentales. Ces méthodes sont regroupées en deux types à savoir :

Les méthodes qui à partir d'une formule mathématique ou d'un graphique permettent de calculer, en fonction des matériaux et du trafic les épaisseurs des différentes couches de la chaussée. Ce sont : les méthodes CBR, AASHO, SHELL...

- Les méthodes des catalogues des structures, l'utilisation du catalogue est pratique. Il 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.

Le catalogue français des structures types de chaussées neuves de 1977 révisé en 1994 ;

Le manuel de dimensionnement des chaussées neuves pour les pays tropicaux en voie de développement (CEBTP 1977) révisé en 1984 et intitulé guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux (bibliographie).

IV.2.3 Méthodes rationnelles ou théoriques

Elles 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 changements de trafic.

Le développement de l'outil informatique a fait que les méthodes de dimensionnement rationnelles sont devenues plus accessibles ; avec la facilité de résolution des équations multiples à dérivées partielles, des logiciels comme Alizé du LCPC, Milfeuill du LBTP d'Abidjan ou Ramés du CEBTP ont été développés.

Ce logiciel modélise les structures multicouches et calcule les contraintes transversales et radiales ainsi que les déformations à travers les couches de chaussées.

Pour la présente étude la méthode du CEBTP a été utilisée pour le dimensionnement des couches de chaussées et pour la vérification nous avons utilisé le logiciel Alizé LCP.

III.3 PARAMETRES DU DIMENSIONNEMENT :

III.3.1 Durée de vie :

La durée de vie d'une route est la période qui se sera écoulée depuis sa date de mise en service jusqu'à l'apparition des dommages nécessitant un entretien. Actuellement avec la croissance du trafic, le niveau de service demandé et les budgets libérés pour la construction des routes, nous avons optés pour une durée de vie de vingt (20) ans.

IV.3.2 Taux de croissance

Il est donné généralement à partir de comptage annuels mais malheureusement ces informations n'existent pas donc on se basera sur l'évolution du trafic des de l'UEMOA qui est de l'ordre de 5 à 6%. Dans le cadre de notre projet on retiendra un taux d'accroissement de 6%.

III.3.3 Etude du trafic

Le trafic est le flux de véhicule circulant en un point donné d'une route pendant une durée bien définie. Sa connaissance est cruciale pour la conception et l'entretien d'une chaussée.

– Classes de trafic

Les classes de trafic retenues par le guide de dimensionnement des chaussées neuves dans les pays tropicaux sont définies de plusieurs façons en fonction du degré de précision des données disponibles :

- Trafic journalier toutes catégories de véhicules confondues ;
- Trafic cumulé en poids lourds (véhicules définis comme ayant un poids total, en charge, supérieur à 3 tonnes) ;
- Trafic cumulé selon les équivalences d'essieux tirées des essais AASHO par Liddle.

TABLEAU 11: DONNEES DU TRAFIC

Année de comptage	Cam à 2 essieux	Cam. à 3 essieux	Cam à 4 essieux	Ens. Arti. (EA)	Total
2015	28,37	2,02	2,02	6,06	38,47

Comptage manuel du trafic CINTECH-GAUFF 2015

Selon le CEBTP, si l'estimation en nombre du trafic cumulé en nombre de poids lourds est possible, l'application de ce paramètre sera meilleure que dans les autres cas. Ainsi pour la détermination de la classe de trafic, nous considérons uniquement les véhicules sollicitant le plus la chaussée, c'est-à-dire les poids lourds (PL).

III.3.4 Trafic en nombre de poids lourds

D'après les données du comptage routier effectué en 2015 du tableau ci-dessus des TDR, on estime :

$$TPI = 28,37 + 2,02 + 2,02 + 6,06 = 38,47 \approx 39pl$$

- Le trafic total T devant emprunter la chaussée pendant sa durée de service au taux de croissance $i = 6\%$:

Estimation du trafic de l'année de mise en service

Les formules ci-dessous nous permettrons de calculer le trafic de l'année de mise en service et le trafic cumulé pendant la durée de vie.

Croissance exponentielle

$$T_c = \frac{365 * t_1 * (1 + i)^{n-1}}{i}$$

$$T_{2020} = 39(1 + 0.06)^{20-1} = 49,24$$

$$T_c = \frac{365 * 49,24 * (1 + 0,06)^{20-1}}{0,06} = 906\ 253,61 = 9,0623. 10^5$$

Croissance arithmétique:

$$T_{2020} = 39 * ((1 + (20 - 1) * 0,06) = 48,36$$

$$T_c = \frac{365 * 48,36 * (2 + (20 - 1) * 0,06)}{2} = 554\ 253,96$$

Avec

t_n : Trafic moyen journalier de l'année n

t_1 : Trafic moyen journalier de la première année

i : Taux d'accroissement annuel du trafic

n : Durée de vie du projet

T_c : Trafic cumulé pendant la durée de vie n

La classe du trafic est **T1** selon la classification du CEBTP du tableau 12 ci-dessous :

TABLEAU 12: CLASSE DU TRAFIC EN NOMBRE DE POIDS LORDS EQUIVALENT

Classe du trafic	N équivalent PL (CEBTP)
T1	$5.10^5 - 1,5.10^6$
T2	$1,5.10^6 - 4.10^6$
T3	$4.10^6 - 5.10^7$
T4	$5.10^7 - 10^8$
T5	$10^8 - 2.10^8$

Source : (Guide de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, 1980)

III.3.5 Structure de chaussée

Les options de structure à retenir selon la classe de trafic et la portance du sol sont dans le tableau 13 :

TABLEAU 13: PREDIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE DE CHAUSSEE

Variante	Revêtement	Couche de base	Couche de fondation
Variante 1	Enduit superficiel Bicouche	15 cm de graveleux latéritique naturel CBR > 40	15 cm de graveleux latéritique naturel CBR > 30
Variante 2	Enduit superficiel Bicouche	15 cm de grave naturelle amélioré au ciment	15 cm de graveleux latéritique naturel CBR > 30
Variante 3	Enduit superficiel Bicouche	15 cm concassé O/D	15 cm de graveleux latéritique naturel CBR > 30

Le pré-dimensionnement nous a donné trois alternatives. Il faut donc vérifier si la déformation admissible ($\epsilon_{z adm}$) et la contrainte verticale admissible (σ_{adm}) du sol, ainsi que la profondeur z (épaisseurs h du corps de chaussée) pour laquelle, la contrainte verticale σ_z sur le sol de plateforme reste inférieure à la contrainte admissible du sol ($\sigma_z < \sigma_{adm}$).

Comme il a été signalé ci-haut, une procédure à la vérification du dimensionnement sera faite avec la méthode de CEBTP par la méthode rationnelle *Alizé III* du LCPC.

III.4 SIMULATION DU LOGICIEL ALIZE III

Le programme de calcul Alizé permet de déterminer à partir d'un modèle multicouche élastique fondé sur l'hypothèse de BURMISTER, les contraintes et déformations à différents niveaux de la structure. Pour les vérifications, le programme ALIZE s'appuie sur des paramètres comme:

- 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).

Contrainte admissible

$$\sigma_{zadm} = \frac{0,3 * CBR}{1 + 0,7 * \log N} ; \text{ Avec N trafic cumulé en poids lourds}$$

$$\sigma_{zadm} = \frac{0,3 * 15}{1 + 0,7 * \log(554\ 253,96)} = \mathbf{0,87\ Mpa}$$

Déformation admissible

La déformation admissible se calcule par la formule suivante :

$$\varepsilon_{zadm} = 0,012 * N^{-0,222} \text{ Pour les chaussées à fort trafic } T > T3$$

$$\varepsilon_{zadm} = 0,016 * N^{-0,222} \text{ Pour les chaussées à fort trafic } T < T3$$

$$\varepsilon_{zadm} = 0,016 * 554\ 253,96^{-0,222} = \mathbf{782,588\ \mu def}$$

Voir ci - dessous la vérification par Alizé des déformations et contraintes admissibles, des structures de l'option de base.

Hypothèse pour la vérification par Alizé

- Essieux à roue jumelé supportant une charge de référence de 13 tonnes ;
- Pression vertical de 0,6620 Mpa ;
- Rayon verticale de contact de 0,125 m ;
- Entraxe jumelage de 0,375 m ;
- Toutes les interfaces sont collées ;
- Avec un coefficient de poisson égal à 0,35 pour tous les matériaux ;
- Module de Young 5400 pour la couche de revêtement, 23000 pour le graveleux latéritique et 500 pour le grave concassé.

– **Résultats de la simulation par Alizé**

Signalement du calcul :

- titre de l'étude : Etudes techniques détaillées de l'aménagement et du bitumage de la route Fô Bouré Sinendé section : Fô Bouré – Village Monsi-Bénin

Données Chargement :

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

unités : m, MN et MPa ; déformations en $\mu\text{d}\acute{e}\text{f}$; déflexions en mm/100

notations :

X=axe transversal Y=axe longitudinal Z=axe vertical

R=axe vertical roue J=axe vertical entre-jumelage

Variante de calcul n°1

Tableau 1+2 (synthèse) :

Tractions principales majeures dans le plan horizontal Xo Y et

Compressions principales majeures selon la verticale ZZ ; déflexion maximale

niveau	EpsilonT	Sigma T	Epsilon Z	Sigma Z
calcul	horizontale	horizontale	verticale	verticale

----- Surface ($z=0.000$) -----

h= 0,040 m 0,000m 67,8 X-R 0,638 X-J -9,7 Z-R 0,657 Z-

R E= 5400,0 MPa

Nu= 0,350 0,040m 41,8 X-R 0,419 X-J 20,0 Z-R 0,629 Z-R

----- collé ($z=0,040m$) -----

h= 0,150 m 0,040m 41,8 X-R 1,770 X-J -35,6 Z-R 0,629 Z-R

E= 23000,0 MPa

Nu= 0,350 0,190m -76,9 Y-J -2,461 Y-R 70,9 Z-R 0,022 Z-J

----- collé ($z=0,190m$) -----

h infini 0,190m -76,9 Y-J 0,006 Y-R 340,4 Z-J 0,022 Z-J

E= 50,0 MPa

Nu= 0,350

Déflexion maximale = 57,4 mm/100 (entre-jumelage)

Rayon de courbure = 952,1 m (entre-jumelage)

Variante retenue :

- ❖ Couche de roulement : **Enduit superficiel bicouche**
- ❖ Couche de Base : **15 cm de grave naturelle amélioré au ciment**
- ❖ Couche de Fondation : **15 cm de graveleux latéritique naturel.**

IV. ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

Dans la présente partie, il sera question de vérifier et de dimensionner les ouvrages hydrauliques de notre projet. Pour se faire nous allons adopter une certaine logique dans les calculs et des étapes à respecter. Ainsi nous procéderons comme suit :

- ☞ Les calculs hydrologiques pour déterminer les débits à faire transiter par les dalots ;
- ☞ Les calculs hydrauliques pour vérifier et/ou définir les ouvertures des dalots pour les débits à écouler ;
- ☞ Enfin les calculs en béton armé pour évaluer les sections d'aciers nécessaires pouvant assurer la résistance et la stabilité des dalots.

IV.1 Etudes hydrologiques

L'objectif principal du projet d'assainissement de la présente étude est la mise hors d'eau de la route des eaux de ruissellement le plus que possible vers les exutoires par l'intermédiaire d'un système de drainage.

IV.1.1 Caractéristiques physiques des bassins versants

Le bassin versant marque à la fois la notion topographique de zone limitée par une ligne de partage des eaux et celle de surface d'interception des précipitations susceptibles d'être drainées jusqu'à l'exutoire par le réseau hydrographique.

Pour la détermination des paramètres des bassins versants, nous avons utilisé les logiciels de SIG Global mapper et Google Earth pour avoir les cartes topographiques et délimité les bassins versants de la zone d'étude. Ces caractéristiques physiques sont résumées dans le tableau ci-après :

TABEAU 14 : CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES BASSINS VERSANTS

Bassins	Pk (Km)	S (Km ²)	P (Km)	I (%)	Z max (m)	Zmin (m)	L (Km)
BV 1	0+700	0,134	4,1	1,09	399	388	0,21
BV 2	1+500	0,195	1,716	1,91	404	391	0,55
BV 3	2+400	0,469	2,217	0,92	400	390	0,176
BV 4	2+800	0,753	4,176	1,26	419	391	0,138
BV 5	6+400	3,455	8,838	0,95	417	373	1,158
BV 6	7+800	7,712	16,365	0,91	418	364	2,285

IV.1.2 Choix de la période de retour :

Evaluation du débit maximum décennal

De nos jours, les principales méthodes utilisées en Afrique de l'ouest pour l'estimation des crues de projet sont celles *du manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropical sèche*. Le choix de la méthode dépend généralement de la superficie du bassin versant. Dans le cadre de cette étude les méthodes utilisées sont la méthode rationnelle et la méthode ORSTOM.

IV.1.3 Méthode rationnelle :

Applicable aux petits bassins versants dont la superficie ne dépasse pas 4Km².

Le principe de base est le suivant : pour une averse donnée, homogène dans un temps et dans l'espace, d'intensité *i* (mm/h), le débit engendré à l'exutoire du bassin versant atteint sa valeur maximale lorsque la durée de l'averse est au moins égale au temps de concentration **T_c** (temps que met une goutte d'eau provenant du bassin versant le plus éloigné de l'exutoire pour parvenir à celui-ci). Le débit de pointe décennal correspondant est défini par la relation suivante et les résultats de calcul sont dans le tableau 15.

$$Q_{10} = \frac{1}{3.6} * C * i * A ; \text{ Avec}$$

Q_{10} : Débit à l'exutoire du bassin versant en m³/s ;

C : coefficient de ruissellement ;

i : intensité de la pluie en fonction du temps de concentration T_c pour la période de retour donné (mm/h) ;

A : superficie du bassin versant en Km²

$i = a * t_c^{-b}$; a t b coefficients de Montana

$T_c = \frac{1}{52} * \frac{H^{0,38}}{L^{1,15}}$ Où T_c temps de concentration en mn, L la longueur du tronçon en m et H la dénivelée en m.

Tableau 15 : Récapitulatif des débits d'apport par la méthode rationnelle

TRONÇONS		Bassin versant			pluie					Débit		
N°	pk	surface BV	longueur tronçon	Dénivelées	temps de concentration	coefficients de Montana		Intensité de la pluie	coefficient de ruissellement	$Q = 1/3.6$ CIA	C	$Q50 =$ CQ10
	(m)	A(km ²)	L(m)	H(m)	(mn)	a	b	I (mm/h)	Cm	m3		
1	0+700	0,134	210	11	3,62	39	0,9	12,90	0,7	0,34	1,07	0,36
2	1+500	0,195	550	13	10,28	39	0,9	5,26	0,7	0,20	1,08	0,21
3	2+400	0,469	176	10	3,06	39	0,9	14,89	0,7	1,36	1,08	1,46
4	2+800	0,753	138	28	1,57	39	0,9	26,51	0,7	3,88	1,08	4,17
5	6+400	3,455	1158	44	15,23	39	0,9	3,75	0,7	2,52	1,08	2,71

IV.1.4 Méthode ORSTOM ou Rodier :

Applicable aux bassins versants dont la superficie se situe entre quelques dizaines d'hectares et 2500 Km². Nous l'utiliserons pour la détermination des crues pour les bassins dont la superficie est supérieure à 4 Km². Pour ce présent projet nous n'avons qu'un seul bassin dont la superficie est supérieure à 4 Km².

Le débit de pointe décennale correspondant au ruissellement superficiel est défini par la relation suivante :

- ✓ $Q_{r10} = A * P_{10} * K_{r10} * \alpha_{10} * S / T b_{10}$
- ✓ A : coefficient d'abattement ;
- ✓ P_{10} : hauteur de la pluie décennale ;
- ✓ K_{r10} : coefficient de ruissellement correspondant à la crue décennale ;
- ✓ α_{10} : coefficient de pointe correspondant à la crue décennale ;
- ✓ S : superficie du bassin versant en Km² ;
- ✓ $T b_{10}$: temps de base correspondant à la crue décennale.

TABLEAU 16: RECAPITULATIF DE CALCUL DU DEBIT D'APPORT PAR LA METHODE ORSTOM

Désignation	Unité	Quantités
Surface	Km ²	7,712
Périmètre	Km	16,365
Pente Moyenne	%	0,00936
Dénivelé	m	54
Indice de compacité		1,66
Longueur du rectangle Equivalent	Km	7,10
Intensité de pente globale		7,61

Désignation	Unité	Quantités
Pan	mm	1200
P10	mm	130,9
Kr10	%	23,9
Tb10	h	25,75
Pm10	mm	118,06
Coefficient d'abattement		0,902
Lr10		28,129
Vr10	m/s	217597,05
Qmr10	m ³ /s	2,35
α 10		2,6
Qr10	m ³ /s	6,10
Q10	m ³ /s	6,41
C	-	1,27
Q50	m ³ /s	8,14

IV.1.5 Débit de dimensionnement des dalots

Les débits à retenir pour le dimensionnement hydraulique des dalots sont ceux calculés précédemment et sont consignés dans le tableau 17 ci-après :

TABLEAU 17: RECAPITULATIF DES DEBITS DE CRUE

DALOT	OH1	OH2	OH3	OH4	OH5	OH6
PK	0+700	1+500	2+400	2+800	6+400	7+900
DEBIT Q50 (m ³ /s)	0,36	0,21	1,46	4,17	2,71	8,14

Pour le dimensionnement hydraulique nous avons pris pour hypothèse que nos dalots sont de type dalot cadre fermé (DCF).

Un dalot cadre fermé est un ouvrage dans lequel la dalle, les piédroits et le radier constituent une structure rigide en béton armé.

IV.2 ETUDES HYDRAULIQUES

Pour les calculs hydrauliques, conformément à nos objectifs nous vérifierons tout d'abord si les sections existantes peuvent évacuer les débits calculés.

A cet effet nous partirons sur la base que les hauteurs d'eau à l'amont et à l'aval de l'ouvrage ne devront pas être trop grandes, au risque d'entraîner des dommages. Pour cela nous préconisons des dalots à sortie libre c'est-à-dire que la hauteur d'eau de sortie est inférieure à la hauteur d'ouverture du dalot.

IV.2.1 Hypothèses :

Pour le calcul des sections des ouvrages nous avons pris comme hypothèses ce qui suit :

- ✓ Vitesse maximale de l'eau à l'entrée de l'ouvrage $+V_{\max} \leq 3\text{m/s}$;
- ✓ Les dalots sont à sortie libre avec mur en aile de 30° et de 75° avec mur de tête ;
- ✓ La hauteur d'eau à l'entrée du dalot doit être inférieure d'au moins 20cm à la hauteur du dalot en supposant que la circulation sur le dalot se fait à même sur la dalle ;

IV.2.2 Dimensions minimales à respecter pour un dalot :

Les dalots doivent avoir des dimensions intérieures telles que la vitesse en soit possible. Pour cela ; il est bon de leur donner un débouché qui satisfasse aux conditions suivantes :

- ✚ Hauteur supérieure à 0,5 m ;
- ✚ Largeur supérieure à 0,6 m ;
- ✚ Hauteur + largeur supérieure à 1,5 m.

Les pentes longitudinales respecteront les conditions suivantes :

- 2% pour les dalots de sections 0,7 à 0,8 m² ;
- 1% pour les dalots de sections 0,8 à 3 m² ;
- 5% pour les dalots de sections de plus de 3 m².

Etant donné que nous connaissons la crue de projet (Q_{50})

- On se fixe le nombre d'ouvertures **N** du dalot ;
- On se donne une valeur de la hauteur **D** du dalot ;
- On détermine la valeur possible **B** du dalot par la relation

$$B = Q / (V * D)$$

Ensuite on déterminera :

- Le débit unitaire $q = Q/N$; B, D, Q et q étant connus, on calcule la variable adimensionnelle Q^* par la relation $Q^* = q / [B * D(2 * g * D)^{1/2}]$

Avec $g=9,8m^2/s$: accélération de la pesanteur.

- La valeur de Q^* trouvé on détermine la variable adimensionnelle $H1^*$ à partir du graphique 77 page 248 du BCEOM.

La hauteur d'eau sous le dalot sera alors : $H_1 + H_1^* * D$

- o Si $H_1 \leq D$; alors la profondeur est acceptable ;
- o Si $H_1 > D$; alors le calcul est à reprendre.
- On détermine la pente critique après avoir calculer le débit réduit q_i^*

$q_i^* = q/(gB^5)0,5$, Une fois q_i^* trouvé on lit la valeur de I_c^* sur le graphique 82 page 258 BCEOM.

Calcul de la vitesse dans l'ouvrage

En considérant la pente critique, on calcul la vitesse à l'intérieur de l'ouvrage qui correspond à la pente retenue dans l'ouvrage. Cette pente doit être supérieure ou égale à la pente critique.

On calculera le débit réduit q_v^* correspondant à la pente retenue qui doit être supérieure à I_c en appliquant la formule suivante déduite de Manning:

$q_v^* = \frac{q}{KL^{8/3}\sqrt{I_c}}$; La valeur de q_v^* trouvé on lit la valeur de V^* sur la figure 84 page 263 du BCEOM.

- o Si $V_1 \leq V$; alors la vitesse est acceptable ;
- o Si $H_1 > V$; alors le calcul est à reprendre.

Pour le détail de calcul se référer à *l'annexe II.2*

TABLEAU 18: RECAPITULATIF DES SECTIONS DE DALOTS RETENUES

DALOT	OH1	OH2	OH3	OH4	OH5	OH6
PK	0+700	1+500	2+400	2+800	6+400	7+900
SECTION	(1*1*1)	(1*1*1)	(1*1*1)	(1*2*1)	(1*2*2)	(2*2*1)

A l'issu des calculs hydrauliques, il faut noter que :

- ✓ Les ouvrages OH1, OH2, OH3 OH4 et OH5 peuvent être maintenu car les sections existantes sont capables d'écouler les débits calculés donc ils seront simplement mis au gabarit de la nouvelle route ;
- ✓ L' ouvrage OH6 est incapable d'évacuer le débit calculer, de ce fait des nouvelles sections pouvant assurer l'écoulement ont été proposées.

IV.3 DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL EN BETON ARME DES OUVRAGES

IV.3.1 PREDIMENSIONNEMENT DES DALOTS

- Largeur roulable des dalots = longueur du corps de dalots hors guide roues = 7m
- Nombre de voie de circulation = 2
- Ouvrage à classer en pont de première classe
- Coefficient $b_c = 1,10$ (pour le système Bc) et $b_t = 1$ (pour le système Bt).
- épaisseur du tablier = 0.25 m
- épaisseur du radier = 0.20 m
- épaisseur des pénétrations = 0.20 m
- Epaisseur du mur en aile = 0,15

Schéma de principe :

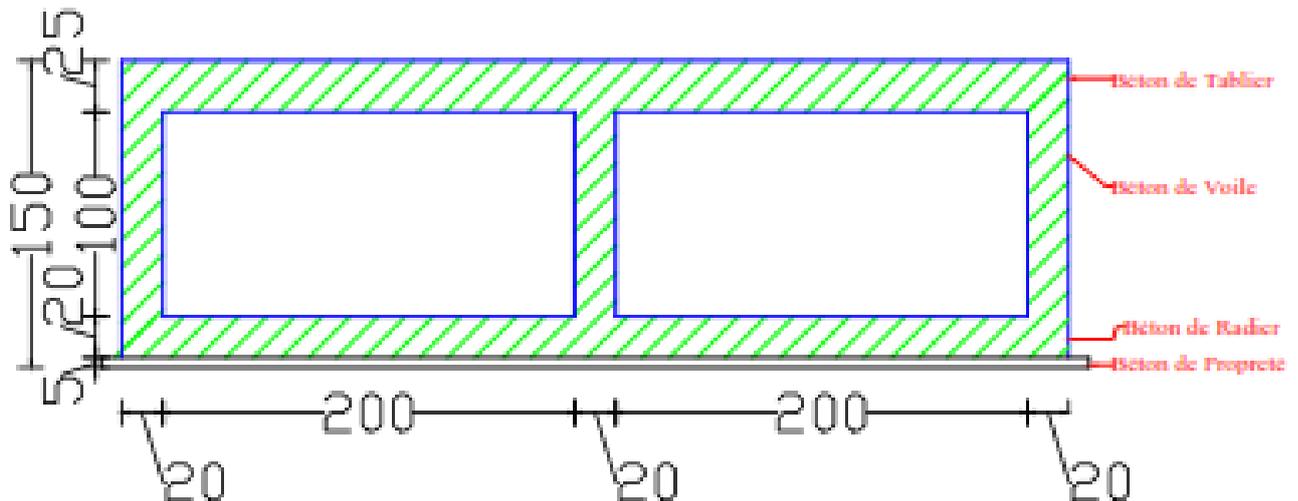
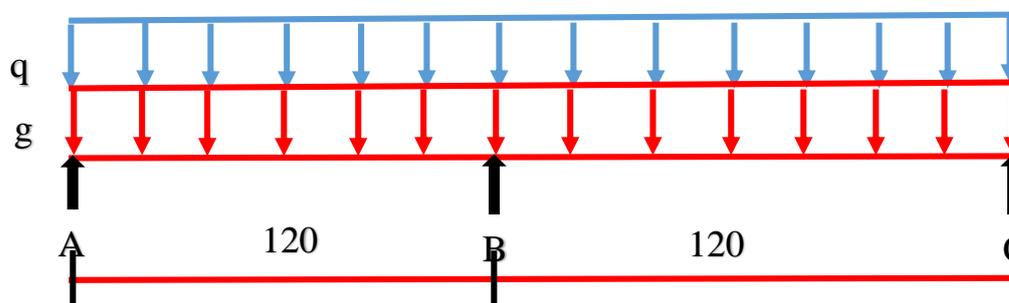


Schéma du calcul équivalent



IV.3.2 Hypothèses de calcul

Après le pré dimensionnement qui a donné l'ensemble des dimensions de l'ouvrage, voici l'hypothèse de base qui va soutenir tout le processus du dimensionnement.

IV.3.3 Règlements et instructions

Les calculs de ferrailage seront menés suivant les règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites dites règles B.A.E.L 91 et révisé 99.

Les surcharges routières seront définies conformément aux prescriptions du titre II du fascicule 61 du cahier des prescriptions communes (C.P.C) français régnant en la matière.

IV.3.4 Caractéristiques des matériaux

a) Acier

Nuance : Acier à Haute Adhérence Fe E 400

Limite d'élasticité garantie Fe = 400 MPa

Contrainte de calcul de l'acier à l'ELU:

$$\sigma_s = F_e / \gamma_s = 400 / 1,15 = 348 \text{ MPa avec } \gamma_s = 1,15$$

Contrainte de calcul à l'ELS de fissuration préjudiciable $\sigma_s = 200 \text{ MPa}$

Enrobage = 3 cm

b) Béton

Poids volumique = 25KN /m³ Fissuration préjudiciable

Résistance nominale à 28j

✚ A la compression $F_{c28} = 25 \text{ MPa}$

✚ A la traction $F_{t28} = 0,6 + 0,06 \times F_{c28} = 2,10 \text{ MPa}$

✚ Contrainte de calcul : $f_{bu} = 0,85 \times F_{c28} / \gamma_b = 0,85 \times 25 / 1,50 = 14,2 \text{ MPa}$ avec $\gamma_b = 1,50$
Contrainte limite du béton : $\sigma_{bl} = 0,60 \times F_{c28} = 0,60 \times 25 = 15 \text{ MPa}$

c) Principe de calcul des efforts et sollicitations

De manière générale, on mènera les calculs par bande de 1,00 mètre linéaire de largeur de dalot. Comme principe nous utiliserons les formules des équations des trois moments pour déterminer les valeurs des efforts, sollicitations et réactions d'appuis pour les ouvrages à ouvertures multiples.

d) Hypothèse de chargement

Charges permanentes : poids propre des éléments + poussée des terres + poids des couches de chaussée

e) Hypothèse sur les remblais

Pour le calcul des efforts et sollicitations dus aux remblais, nous considérons une hauteur moyenne de remblai de 100cm sur le tablier avec un poids spécifique de 2,00t/m³.

Le coefficient de poussée des terres sera $K_a = t_g^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{32}{2} \right) = 0,307$

f) Charges variables :

Les charges routières prises en compte dans le calcul de l'ouvrage sont les charges A, B (BC, Bt, Br) et militaires. Nous choisirons le maximum du système B pour le dimensionnement pour le système de charge du type B. (Article 6.3 Fascicule 61 titre II).

g) Dimensionnement et calcul des armatures des dalots

Les récapitulatifs des calculs en béton armé du dalot double sont consignés dans le tableau 19, 20 et 21 ci-dessous :

TABLEAU 19: RECAPITULATIF DU FERRAILLAGE DU DALOT 2x2x1

DALOT 2 x 2 x 1					
	Désignation	Section d'aciers calculés A_s (cm ² /ml)	Choix des armatures	Section réelle (cm ² /ml)	Espacement cm
Tablier	Travée AB et BC	9,43	7HA14	10,78	20
	Appui B	12,56	9HA14	13,85	20
Radier	Travée AB et BC	5,28	5HA12	5,65	20
	Appui B	6,21	6HA12	6,79	20
Piédroits	Appui A et C	7,63	5HA14	7,70	25
	Appui B	8,89	6HA14	9,24	25

IV.4 DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE DES OUVRAGES LONGITUDINAUX

Les ouvrages latéraux, situés aux bords de la chaussée ont pour but de recueillir les eaux venant des zones environnantes de la chaussée.

Les débits de ces ouvrages sont calculés suivant la méthode de CAQUOT. Pour calculer les sections des ouvrages, nous avons utilisé la méthode de la débitante qui consiste à faire varier

l'une des dimensions (base ou hauteur), et ce, en utilisant la formule de Manning-Strickler. C'est un processus itératif régit par le fait que la vitesse d'écoulement ne doive pas être érosive, c'est-à-dire ne dépassant pas jamais 4,5m/s selon M.CARLIER pour les sections en béton.

$$Q = K_s S R_H^{2/3} \sqrt{I} \text{ Avec}$$

Q en m³/s le débit à évacuer par l'ouvrage dans les conditions uniformes ;

$K_s = 1/n$ en m^{1/3}/s le coefficient de Manning-Strickler,

$R_H = S/P$ en m le rayon hydraulique de l'ouvrage ;

I la pente de fond lorsque la surface libre et l'écoulement supposés uniforme.

TABLEAU 20: FERRAILLAGE CANIVEAUX

Caniveau côté droit début 60 x 60	
Dallettes	Piédroits/Radier
6 Cadres HA12 par dalle espacement = 10 cm	HA 10 espacement = 20 cm extérieur HA 8 espacement = 20 cm intérieur HA 8 espacement = 20 cm filant
Caniveau côté droit début 120 x 120	
Dallettes	Piédroits/Radier
4 Cadres HA12 par dalle espacement = 20 cm	HA 10 espacement = 15 cm extérieur HA 8 espacement = 15 cm intérieur HA 8 espacement = 20 cm filant

V SIGNALISATION, SECURITE ROUTIERE ET ECLAIRAGE PUBLIC

La route, pendant et après sa réalisation, doit être munie d'équipement adéquats permettant d'améliorer la sécurité routière d'une part, d'informer et guider les usagers d'autre part. C'est dans cette optique que nous allons mettre en place les dispositifs et infrastructures de prescriptions, d'indications et de sécurité de la route.

V.1 SIGNALISATION ROUTIERE

La signalisation routière est l'ensemble des signaux conventionnels implantés sur le domaine routier et destinés à assurer la sécurité des usagers de la route.

On distingue deux types de signalisation à savoir :

V.1.1 Signalisation temporaire

Cette dernière est utilisée pendant les travaux pour assurer la sécurité des usagers et des travailleurs sur le chantier. Les signalisations à mettre en place sont les suivantes :

- ✓ Une signalisation d'approche dans les deux sens de circulation : panneaux de travaux et de déviation ;
- ✓ Une signalisation de fin de prescription pour les deux sens de circulation :
- ✓ panneaux de début et de fin de limitation de vitesse ;
- ✓ Une signalisation de risque dans les zones dangereuses : panneaux de risque de
- ✓ chaussée glissante et de risque de projection de gravillon ;

V.1.2 Signalisation permanente

Cette signalisation est celle qui restera définitive durant toute la durée de la route. Elle est constituée de deux grands ensembles qui sont la signalisation horizontale caractérisée par des marquages au sol et des plots et la signalisation verticale caractérisée par l'implantation des panneaux, des balises, des bornes et des feux tricolores.

a) Signalisation verticale

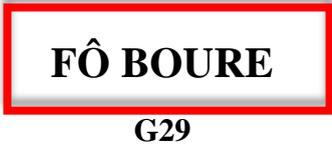
Elle concerne la disposition de panneaux de signalisation notamment ceux de prescriptions, d'informations et de renseignements. La catégorisation des panneaux de signalisation retenue d'après la convention de Vienne sur la signalisation routière définie huit (08) cas comme suit :

- A : signaux d'avertissement de danger ;
- B : signaux de priorité ;
- C : signaux d'interdiction ou de restriction ;

- D : signaux d'obligation ;
- E : signaux routiers de prescriptions particulières ;
- F : signalisation routière d'information, d'installation ou de service ;
- G : signaux de direction, de jalonnement ou d'indication ;
- H : panneaux additionnels (placés sous les signaux).

TABLEAU 21: RECAPITULATIF DES PANNEAUX DE SIGNALISATION VERTICALE

CATEGORIE	TYPE	DESCRIPTION	IMPLANTATION
A		Succession de virage dont le premier est à gauche	Implanté au pk 4+850 et 7+825
AB		Cédez le passage à l'intersection, passage piéton et carrefour à sens giratoire	Implanté au niveau du giratoire
B		Arrêt à l'intersection de la voie prioritaire sans side-car	Implanté au niveau des amorces CEG, Camp peuhl, village Sikki entrée Monsi
C		Interdiction de dépasser tous les véhicules à moteur autres que ce à deux roues	Implanté à l'entrée et à la sortie de la zone de succession de virages

CATEGORIE	TYPE	DESCRIPTION	IMPLANTATION
G	 FÔ BOURE G29	Panneau d'entrée d'agglomération	Implanté au pk 0+000 à l'entrée de Fô Bouré
E	 MONSI EB10	Panneau de position destiné à signaler les lieux-dits avec indication de distance ou non	Implanté au pk 9+000 à l'entrée de Monsi

Pour que les panneaux jouent leur rôle, il convient de respecter les règles suivantes lors de leur implantation :

- La visibilité : le signal doit être parfaitement visible par les usagers. Un emplacement adéquat et une bonne orientation des panneaux sont indispensables pour une bonne visibilité. Ainsi, les distances suivantes sont observées :
 - Panneaux de danger: de forme triangulaire, ils sont implantés à 400 m en rase campagne et 150 m en traversé d'agglomération ;
 - Panneaux de prescription: de forme circulaire ou carrée, ces panneaux sont implantés au voisinage immédiat où s'applique la prescription sauf les panneaux d'obligation qui sont implantés comme les panneaux de danger ;
 - Panneaux de direction : de forme triangulaire, carrée ou octogonale, ils sont implantés à 100m en rase campagne et à 30 m ou 50 m en traversé d'agglomération;
- les panneaux doivent être simplifiés et propre pour que les usagers ne soient pas obligés de faire des efforts excessifs pour comprendre l'information qu'ils reçoivent.

b) Signalisation horizontale

Cette signalisation correspond à l'ensemble des marquages matérialisé sur la route dans le but d'indiquer les différentes parties la chaussée réservée aux différents sens de circulation ainsi que la conduite à tenir par les usagers pour les manœuvres.

On distingue essentiellement :

- ✚ des lignes d'axe continu épaisseur 10 cm obligeant les usagers à circuler uniquement sur une voie. Elle est adoptée dans les zones où le dépassement n'est pas admis ;
- ✚ des lignes d'axe discontinu type T1 épaisseur 15 cm ;

- ✚ des lignes de rive discontinue type T2 épaisseur 15 cm marquant la fin des chaussées ;
- ✚ des lignes transversales (lignes complétant les panneaux "stop" et "cédez le passage" et des lignes d'effet des feux aux intersections ;
- ✚ les marquages des passages à l'approche des zones d'équipement socio-collectifs (marché, écoles dispensaires...);
- ✚ des marquages des zones de stationnement pour autocars ;

Les caractéristiques de la signalisation horizontale sont consignées dans un tableau en *annexe III.1.*

V.2 SECURITE ROUTIERE

La sécurité routière est l'ensemble des règles et services qui ont pour but d'assurer la sécurité des usagers de la route : piétons, automobilistes, motards, cyclistes, etc...

Dans le souci d'assurer la sécurité des usagers de la route, le concepteur doit tenir compte des exigences concernant les dispositifs de sécurité des usagers empruntant la voie sans toutefois avoir de difficultés.

Elles doivent être prises en considération dans toutes leurs formes et leurs aspects de fonctionnement et de dysfonctionnement de système les plus élémentaires ; hommes ; véhicules, environnement et plus généralement la circulation.

Ces exigences qui concernent les dispositifs de sécurité de la voie peuvent être organisées de la manière suivante :

- Visibilité ;
- Lisibilité ;
- adéquation aux contraintes de dynamique des véhicules ;
- possibilité de désistement et de récupération ;
- limitation de gravité de choc.

L'objectif d'aménagement de la voie visant principalement à limiter au maximum le risque des accidents de la circulation d'un côté et de l'autre côté limitera également l'importance de flux (trafic de piéton etc.), pour ceci il faut aller chercher la meilleure correspondance entre le flux les plus importants et l'aménagement à moindre risque. Cela nous conduira à formuler une des meilleures exigences.

- Des bordures de trottoir surélevée de dix centimètre qui est le dispositif de retenu le plus courant ;

- Des bandes d'arrêt d'urgence ;
- Des glissières de sécurité;
- Des bordures de protection des deux roues.

En plus de ces dispositifs cités ci haut, d'autres mesures contribuant à renforcer la sécurité routière doivent être stricte d'application dont entre autres :

- Le contrôle technique régulier des véhicules ;
- La formation à la conduite et à l'examen du permis du conduire ;
- L'éducation de tous les usagers de la route à travers les médias ;
- L'éducation routière en milieu scolaire...

V.3 ECLAIRAGE PUBLIC

L'éclairage public est un élément important de sécurité pour les usagers de la route et vise à limiter les risques d'accidents de circulation en réduisant la contrainte liée à la visibilité la nuit et par mauvais temps. Il s'agit donc de rendre plus facile pour les usagers de la route la perception et la localisation des points singuliers de la route ainsi que les éventuels obstacles donc de bien mettre en évidence les limites de la plate-forme de la route. Il permet en outre de mettre en valeur le cadre de vie du site du projet.

V.3.1 Types de luminaires

Pour le choix des luminaires, deux possibilités d'éclairage sont possibles :

- ❖ Le luminaire pour lampe ballon et SBP ;
- ❖ Le luminaire pour lampe tubulaire claire (SHP).

Le choix a été porté sur le luminaire pour lampe ballon et SBP car il a une durée de vie de 8000 h et pour 4 h / allumage, il peut atteindre les 12 000 h. Et ce choix s'est aussi fait pour des raisons économiques car il est peu onéreux par rapport aux autres types de luminaires.

Nous avons décidé de réaliser le réseau d'éclairage public en candélabres en acier galvanisé surmontés de simples crosses suivant l'emplacement des luminaires. Dans le cadre de cette étude les calculs sont pris forfaitairement.

V.3.2 Types d'implantation des luminaires

Il existe plusieurs types d'implantations de luminaires où intervient la largeur de la voie et la hauteur de feu :

a) Implantation unilatérale

La plupart des mâts sont implantés d'un seul côté de la rue à éclairer car le coût d'installation et des matériaux est la moins onéreuse. Ce type d'implantation n'est recommandée que dans le cas où la largeur de la chaussée est voisine ou inférieure à la hauteur de feu.

b) Implantation bilatérale en quinconce

Elle est utilisée lorsque la largeur de la chaussée reste inférieure à une fois et demie la hauteur de feu. Il faut veiller à éviter l'effet désagréable de serpentement. Ce type d'implantation devra donc être évité dans les courbes.

c) Implantation bilatérale vis-à-vis

Cette dernière est utilisée lorsque la largeur de chaussée est supérieure à une fois et demie la hauteur de feu.

d) Implantation axiale pour des cas particuliers

Elle est idéale pour l'éclairage des voies piétonnes (il faut que les luminaires soient fixés en top sur les mâts, et que leurs flux soient symétriques de façon à ce qu'ils éclairent d'une façon homogène tout autour de chaque mât). Cette solution convient aussi pour les routes à chaussées séparées par une bande centrale. Dans ce cas-là, pour éclairer les deux chaussées, il faut que les candélabres soient constitués de crosses doubles (un luminaire destiné à éclairer une voie).

V.3.3 Hauteur du dispositif d'éclairage

Ce choix est fait forfaitairement et a permis de déterminer la hauteur de feu :

L étant la largeur de la voie

$H = L/2 = 7/2 = 3,5\text{m}$. Nous choisissons $H = 10\text{ m}$.

La hauteur des candélabres sera de dix mètres environ, compte tenu de la largeur de la voie roulable (présence supplémentaire de pistes cyclables de 1,5 m de large).

V.3.4 Distance entre équipements

L'espacement des candélabres est fonction du type d'implantation et du luminaire choisi.

Pour les lampes ballons et SBP, l'espacement sera égal à : $e = 3H$; $e = 3 \times 10 = 30\text{ m}$. Nous retenons donc 30m comme inter distance des candélabres. La luminance moyenne en éclairage urbain et pour les voies de faible trafic est de deux candelas par mètre carré (2 cd/m^2) au minimum.

V.4 ENTRETIEN ROUTIER

L'entretien routier est l'ensemble des actions de routine et périodique à effectuer sur une route dans le but de maintenir la chaussée, les accotements, les talus, le système de drainage et tout autre ouvrage dans un état voisin que celui qui résulte de la construction initiale ou des travaux de rénovation.

L'entretien comprend les petites réparations et les améliorations destinées à éliminer la cause d'un défaut pour éviter de faire les mêmes travaux. L'entretien routier vise à :

- ✓ Maintenir la capacité de répartition des charges supportées par les ouvrages ;
- ✓ Permettre aux usagers de rouler sur une route unie et confortable ;
- ✓ Assurer l'imperméabilité des couches inférieures et assurer la qualité de la couche de surface.

V.4.1 Les différents types d'entretiens routiers :

- ❖ L'entretien courant qui est l'ensemble de tâche a exécuté une ou plusieurs fois par an sur une même portion de route
- ❖ L'entretien périodique regroupe toutes les taches a exécutées à des intervalles de temps relativement plus long pouvant aller de 4 à 5 ans voire plus. Il est réalisé avec beaucoup plus de moyens.
- ❖ L'entretien préventif qui concerne toutes les tâches accomplies pour prévenir l'apparition des dégradations ou adapter la chaussée par rapport à l'augmentation prévisible du trafic (curage des ouvrages d'assainissement).
- ❖ L'entretien curatif qui comprend toutes les taches exécutées après l'apparition des dégradations dans le but de palier a une insuffisance structurelle ou superficielle de la chaussée
- ❖ L'entretien exceptionnel qui regroupe toutes les tâches accomplies pour les grosses réparations ou dommages accidentels

L'entretien sera vain si la population ne prend pas conscience de l'importance de la route en adoptant un comportement citoyen. Pour ce faire, elle doit :

- Respecter la charge à l'essieu autorisée
- Eviter de ramasser la terre ou la GL sur les talus ou à leurs pieds
- Eviter d'arracher les panneaux de signalisation

VI. ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL

La présente étude d'impact environnemental et social de la route Fô Bouré Monsi a pour objectifs l'appréciation et l'évaluation des effets à court, moyen et long terme des activités liées à la construction et à l'exploitation de la route sur les éléments de l'environnement socio-économique, biophysique et humain. Elle vise également à proposer des mesures nécessaires en vue de maintenir les impacts à des niveaux de seuil environnemental acceptable et économiquement réalisable.

La participation effective des populations et de tous les acteurs bénéficiaires directs ou indirects tout au long du processus a été retenue pour cette étude d'évaluation environnementale. Pour ce faire la démarche adoptée regroupe plusieurs phases dont les points saillants sont les suivants:

VI.1 La méthodologie utilisée

✓ **une reconnaissance de la route**

Elle a consisté en des observations des aspects physiques de la zone du projet. On a procédé également à des rencontres d'information et d'échanges avec les autorités administratives, communales et des personnes ressources.

✓ **Identification des zones particulièrement sensibles au plan environnemental**

Une identification et une description des zones particulièrement sensibles sur l'emprise du futur abattoir ont été effectuées avec l'appui des populations et des autorités locales.

✓ **Une revue documentaire**

C'est une activité permanente au cours de l'étude concerne les documents juridiques et réglementaires du Bénin en matière d'étude d'Impact Environnemental et Social. Les informations socioéconomiques au niveau des départements traversés par le projet de route ; les plans de Développement des communes de la zone, les rapports d'études similaires, les informations sur la, la végétation, la faune et la flore.

✓ **Des rencontres d'échanges et d'informations** avec les populations des villes et des villages traversés par des interviews semi-structurés et des *focus group* ;

✓ **une identification et une description** des risques potentiels du projet sur l'environnement et la société dans l'optique de proposer des mesures d'atténuation, de compensation ou de bonification des impacts du projet après les avoir analysés. L'accent

a été particulièrement mis sur la végétation, les sols, les eaux et les activités socio-économiques qui seront impactés par les travaux

✓ **Evaluation des impacts**

L'évaluation d'un impact vise à déterminer son degré d'importance dans la perturbation de l'environnement. Nous avons mis l'accent sur deux aspects que sont la nature et la période. Concernant la nature, l'impact peut être positif ou négatif, quant à la période l'impact se manifeste soit pendant ou après les travaux.

Les impacts sont de deux grands ordres : sur le milieu physique et sur le milieu humain présenté en *annexe III.2*.

VII.2 Les mesures d'atténuation et de bonification des impacts

L'évaluation des impacts montre que le projet présente de nombreux points positifs et négatifs aussi bien en phase de construction qu'en phase d'exploitation. Cette partie présente les mesures d'atténuation et de bonification qui devront être prise en compte dans sa réalisation

VI.2.1 Le milieu physique

a) Mesures d'atténuation et de bonification pour la végétation

Il est particulièrement important de réhabiliter la végétation qui sera détruite aux abords des voies, Il en sera de même autour des zones d'emprunt. Il convient de ne pas laisser en tas de débris les arbres qui seront abattus, mais de les valoriser, soit sous forme d'énergie, soit dans *l'artisanat*.

b) Mesures d'atténuation et de bonification pour le sol

Les propriétaires et exploitants dont les terres sont expropriées seront indemnisés en nature ou en espèce. Pour la prévention de la pollution du sol, il sera aménagé une aire pour l'entretien, le ravitaillement et le nettoyage des engins utilisés. Les effluents d'eaux seront ensuite canalisés pour être stockés, puis transportés vers un centre de traitement. Ces aires d'entretien devront disposer de matériel pour la récupération des eaux et huiles usées en vue d'un traitement adéquat.

Il convient également de prendre des mesures antiérosives afin d'éviter l'érosion du sol. Aussi, les zones d'emprunt seront restaurées.

c) Mesures d'atténuation et de bonification des ressources en eau

Les infrastructures seront construites de sorte à éviter le plus que possible les éventuelles pollutions des rivières traversées. Ainsi, la canalisation des eaux de ruissellement des routes se fera de sorte à éviter qu'elles se terminent dans un cours d'eau.

VI.2.2 Milieu humain

a) Mesures d'atténuation et de bonification pour la santé

Dans le but de prévenir les risques de contamination des IST et le VIH/SIDA, il sera question de sensibiliser tout le personnel de l'entreprise et les populations riveraines.

Pour prévenir les nuisances sonores, les engins utilisés devront respecter les normes en matière de bruit. Ainsi, le réglage des moteurs de ces engins devra être surveillé afin de limiter la production de bruit, et il faudra aussi éviter les travaux nocturnes. Par ailleurs, les employés de l'entreprise devront être sensibilisés à la gestion des déchets générés et au respect des mesures d'hygiène et de protection dans le but de prévenir toute maladie.

b) Mesure d'atténuation et de bonification pour l'économie et l'emploi

Il revient d'indemniser en nature ou en espèces les personnes dont les activités économiques seront affectées. Dans chaque localité traversée par la route, il serait approprié d'aménager une aire pour les femmes qui s'adonnent aux activités génératrices de revenus.

La contribution de la réduction de la pauvreté devra être ressentie au niveau local. Ainsi, l'entreprise sera incitée à favoriser l'embauche de la main d'œuvre locale pour certaines activités, à sous-traiter certains travaux (extraction de sable, réalisation de petits ouvrages, etc.) avec les entreprises locales. Toutefois, le recrutement sera contrôlé pour respecter l'âge minimal de travail exigé par le code du travail en vigueur au Bénin

c) Mesures d'atténuation et de bonification socioculturelles

Les personnes dont les habitations sont affectées seront relogées sur les sites qu'elles retiendront d'un commun accord avec la commission ad hoc. Une sensibilisation particulière sera faite à l'endroit des employés de l'entreprise en charge des travaux sur l'interdiction de la consommation de drogue et au respect des us et coutumes des populations riveraines.

Au niveau culturel, toutes cérémonies coutumières nécessaires à la désacralisation des sites sacrés et à la profanation des tombes seront organisées.

VII. CONCLUSION ET RRECOMMANDATIONS

La route constitue le moteur de tout développement socio-économique d'un pays notamment dans la production, l'échange des produits mais aussi un organe de communication.

Ainsi l'aménagement et le bitumage de la route Fô Bouré-Monsi permettront de disposer d'un axe d'intérêt national et contribueront à atteindre les objectifs visés par le projet.

Les différentes études menées ont abouti à des résultats qui ont permis de proposer, de calculer et d'évaluer les solutions d'aménagement dont entres autres :

- ✓ Proposer une route bidirectionnelle de 7m de largeur, deux accotements de 1,5m chacun suivie de l'aménagement d'un giratoire à trois branches avec un rayon de 20 m et des amorces routières de 15m de long et de 5 à 6m de large ;
- ✓ Définir une structure de chaussée susceptible de supporter le trafic prévisionnel pour une durée de 20 ans, un revêtement à l'enduit superficiel bicouche, 15cm de graveleux latéritiques amélioré au ciment pour la couche de base et 15cm de graveleux latéritiques naturel avec un CBR > 30cm pour la couche de fondation ;
- ✓ Projeter des ouvrages hydrauliques pour le franchissement des divers points d'eau situés au travers de l'axe du projet avec un aménagement des dalots, à l'amont en perrés maçonnés et des gabions de 100 x 50cm et à l'aval avec des enrochements sur 30cm.
- ✓ Proposer un dimensionnement forfaitaire de l'éclairage public avec des liminaires en lampe ballon et un réseau d'éclairage candélabres en aciers galvanisés ;
- ✓ Définir une signalisation routière pendant et après les travaux dont 18 panneaux de signalisation verticale, à cela s'ajoute l'entretien routier, la route bitumée demande un entretien périodique et courant ce qui permettra d'avoir un cout moins onéreux lors de la réhabilitation.

Comme tout travail de génie civil requiert un financement, d'où l'évaluation du cout du projet qui s'élève à **3 348 874 267 FCFA** soit **372 097 141 FCFA** au Kilomètre.

Ce travail de fin de cycle a permis dans une certaine mesure, non seulement de consolider les connaissances acquises notamment dans un cadre précis, mais aussi d'entrer en contact avec certaines réalités de la conception de route qui du reste ne font que confirmer ce que nous avons appris durant notre formation.

La route Fô Bouré Monsi est d'une grande importance de par son rôle, et doit s'inscrire dans la durabilité.

Au vue de ce qui précède il est recommandé ce qui suit :

- Faire un choix judicieux pour l'entreprise qui doit réaliser les travaux, donc avec un respect strict des normes et de qualités ;
- Assurer la disponibilité tant au niveau de l'entreprise qu'au niveau de la mission de contrôle : un personnel qualifié et compétant pour la réalisation et le suivi des travaux ;
- Mettre en œuvre un système de maintenance préventive et curative permettant de mieux conserver les acquis ;
- Instaurer un système de management routier axé sur l'amortissement des ouvrages dans ***un délai de 20 ans*** dès le début de l'exploitation de la route bitumée.
- Faire un suivi permanent ou régulier des dispositions et mesures environnements prescrites et adoptées
- En fin aux décideurs et aux jeunes, d'œuvrer afin que nous ayons nos propre normes de dimensionnement adaptées au contexte africain, car force est de reconnaitre que seules des normes françaises ont été utilisé tout au long de ce projet.

Bibliographie

Ouvrages et articles

BCEOM-CEBTP (1992), les routes dans les zones tropicales et désertiques tome II études techniques et construction ;

BCEOM-CEBTP (1991), les routes dans les zones tropicales et désertiques tome III entretien et gestion des routes ;

CEBTP(1984), Guide de dimensionnement des chaussées dans les pays tropicaux ;

FAO, (1996) Crues et apports : Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche ;

Fascicule 62 titre II (1999), BAEL 91 révisé 99 Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement ;

COURBON Jean et THEILLOUT Jean-Noel, (1980) Formulaire résistance des matériaux ;

Nguyen VAN TUU (BCEOM-1979), Hydraulique routière : Ministère de la coopération et du développement ;

SETRA (1994), Aménagement des routes principales, Ministère de l'équipement ;

SETRA (1998), Aménagement des carrefours interurbains sur les routes principales.

Notes de cours

Angelbert Chabi BIAOU (2010), cours d'hydraulique routière 2iE ;

GUEYE Ismaïla (2014), cours de géotechnique routière 2iE ;

KOLMOGOROV Anatoli (2004), Construction en béton armé volume I Applications des règles BAEL Université Conakry ;

MESSAN Adama (2011) cours de béton armé.

Mémoires fin d'études

TIROGO Justine Marie T. (2008), Analyse technico-économique du choix de la crue de projet pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques routiers 2iE ;

ZOUNGRANA Salif (2013), Etudes techniques détaillées d'aménagement et de bitumage de la route Dédougou Nouna 2iE.

Sites internet

<http://fr.slideshare.net/limmoud/calcul-de-dalot> ;

www.memoireonline.com.

ANNEXES