

DIAGNOSTIC ET ETUDE TECHNIQUE DU TRONÇON RDV3 DU PROJET DE REHABILITATION ET D'AMENAGEMENT DE LA VOIRIE URBAINE ZINDER SABOUA, NIGER

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR AVEC GRADE DE
MASTER

GENIE CIVIL OPTION ROUTE ET OUVRAGE D'ART

Présenté et soutenu publiquement le 05 juillet 2019 par

Mahamadou DANDARE MOUSSA (20120494)

Encadrant 2iE : Dr David Latifou BELLO

Maitre de stage : Yacouba MAHAMAN MISSIBAOU, Ingénieur génie civil, chef de mission de contrôle des travaux de réhabilitation et de l'extension de l'aéroport de Zinder

Groupe ART & GENIE

Jury d'évaluation du stage :

Président : **Dr. Malick Zorom**

Examineurs : **M. Philbert NSHIMIYIMANA**
M. Gnenakantanhan COULIBALY

Promotion 2018-2019

DEDICACES

« A mes Parents

A ma Famille

Au Génie Civil »

REMERCIEMENTS

Avant de rapporter cette expérience unique vécue grâce à ce stage, je tiens particulièrement à remercier Monsieur le Directeur général **M. Amadou OUMAROU** pour m'avoir accepté et donné l'occasion de me retrouver dans ce cadre de travail.

Je remercie mon maître de stage **M. Yacouba MAHAMAN MISSIBAOU** et mon encadrant **Dr. David Latifou BELLO** qui n'ont ménagé aucun effort pour m'apporter leur soutien, leurs expertises et leur disponibilité, leurs multiples efforts à répondre à mes préoccupations ainsi que de la patience dont ils ont fait preuve pendant mon suivi.

Mes remerciements vont également, au chef de mission **M. Ibrahim IDE AMADOU** et à l'ingénieur topographe **M. Laouali MAHAMADOU** pour m'avoir intégré, initié au projet et orienté sur mon travail, ainsi qu'à tout le personnel de la mission de contrôle pour m'avoir aidé de bien des manières en apportant leur contribution au besoin.

Au personnel exécutant de l'entreprise, particulièrement **M. Aboubacar HAMIDINE**, vont aussi mes remerciements pour la collaboration dans le vécu professionnel et les mises au point éventuelles.

Et mes collègues stagiaires pour leur compagnie, les échanges bien souvent bénéfiques, l'ambiance de tous les jours, le soutien et l'opportunité de faire encore de nouvelles connaissances dans le domaine.

Je remercie mon école, son administration et l'ensemble de ses encadrants qui m'ont initié dans l'accomplissement de ce travail.

Enfin, tous ceux qui de près ou de loin ont pu contribuer aussi minime que soit, ont mes profonds remerciements.

RESUME

Au Niger, le secteur du transport connaît de nombreuses difficultés du fait de la non praticabilité des routes. Dans la ville de Zinder, la majeure partie des voies connaît des dégradations importantes qui affaiblissent le système routier.

Ce mémoire a pour objectif le diagnostic et l'étude détaillée complète de la réalisation de la route à double voie numéro trois, longue de 3,1 km, du projet Zinder Saboua. Pour atteindre cet objectif, une visite du tronçon et des mesures in situ (levés topographiques) ont été effectués afin de réaliser le dimensionnement et les calculs de coût des travaux.

Le diagnostic de l'infrastructure existante a permis d'identifier un trafic routier de type T3 et un sol de type S4. L'analyse des données relevées par la méthode VIZIR a permis d'identifier un indice de qualité de la chaussée de type Q4 avec une préconisation au renforcement de la chaussée. La solution de renforcement retenue est l'amélioration des couches de base en latérite améliorée au ciment d'une épaisseur de 20 cm et de fondation à la latéritique d'épaisseur 20 cm. Il ressort de la simulation à l'aide du logiciel Alizé que la couche de roulement en béton bitumineux est de 5 cm d'épaisseur. L'étude hydrologique a montré qu'un dalot transversal au PK 1+220 de dimension 1x2x1 m et des caniveaux longitudinaux de dimensions de 1x1 m garantissent l'assainissement de la chaussée. Les travaux de réhabilitation et de bitumage du projet Zinder Saboua du tronçon RDV 3 sont estimés à **huit milliard huit cent soixante-six million neuf cent mille neuf cent quatre-vingt-huit F CFA HT (8 865 900 988 F CFA HT)**.

Pour une utilisation adéquate et une longévité de l'ouvrage, les autorités devraient garantir l'entretien régulier de celui-ci et les ouvrages annexes avec une périodicité d'une année. Les résultats de cette étude pourraient constituer une base pour des études futures.

Mots clés:

✚ Diagnostic, réhabilitation, renforcement, dimensionnement, chaussée.

ABSTRACT

In Niger, the transport sector is experiencing many difficulties due to the non-practicability of roads. In the city of Zinder, most of the roads are seriously damaged, which weakens the road system.

The purpose of this dissertation is to diagnose and thoroughly review the completion of the Zinder Saboua 3 km long dual-lane road. To achieve this objective, a visit of the section and measurements in situ (topographic surveys) were carried out in order to carry out the sizing and cost calculations of the works.

The diagnosis of the existing infrastructure allowed to identify road traffic of type T3 and ground of type S4. The analysis of the data recorded by the VIZIR method made it possible to identify a road of quality index type Q4 with a reinforcement recommendation. The reinforcement solution used is the improvement of the 20 cm thick laterite based on cement and the 20 cm thick lateritic foundation. The simulation with Alizé software shows that the bituminous concrete wearing course is 5 cm thick. The hydrological study has shown that a 1x2x1 m culvert at PK 1 + 220 and 1x1 m long longitudinal gutters guarantee the pavement's water security. The rehabilitation and asphaltting works of the Zinder Saboua project of the RDV 3 section are estimated at eight billion eight hundred and sixty-six million nine hundred thousand nine hundred and eighty-eight F CFA HT (8,865,900,988 F CFA HT).

For proper use and the structure longevity, the authorities should ensure the regular maintenance of this one and secondary works with a periodicity of one year. The results of this study could be a reference for future studies.

Key words:

✚ Diagnosis, rehabilitation, enhancement, sizing, road.

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

BAEL : Béton Armé aux Etats Limites
BB : Béton Bitumineux
BV : Bassin Versant
CAM : Coefficient d'agressivité moyen
CBR : Californian Bearing Ratio (indice de portance californien)
CCTP : Cahier des Clauses Techniques Particulières
CEBTP : Centre Expérimental de Recherche et d'Etude du Bâtiment et des Travaux Public
CPT : Cahier de prescription technique
ELS : Etat Limite de Service
ELU : Etat Limite Ultime
GNT : Grave Non Traitée
IP : Indice de Portance
LL : Limite de liquidité
Mtlh : Matériaux traité au liant hydraulique
NE : Trafic cumulé par essieux
OPM : Optimum Proctor Modifié
ORSTOM : Office de Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer
PF : Plateforme
PK : Point Kilométrique
PL : Poids lourds
TMJ : Trafic Moyen Journalier
TMJA : Trafic Moyen Journalier Annuel
Tn : Trafic cumulé poids lourds
TPC : Terre-Plein Central
RDV : Route à Double Voie

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS.....	ii
RESUME	iii
ABSTRACT.....	iv
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	v
TABLE DES MATIERES	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES	ix
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I :	3
GENERALITES	3
I.1. Présentation de la structure d'accueil	3
I.2. Zone du projet.....	4
I.3. Caractéristiques des matériaux	5
I.3.1. Module des matériaux.....	6
I.3.1.1. Sols et matériaux granulaires.....	6
I.3.1.2. Matériaux traités aux liants hydrauliques	7
I.3.1.3 Matériaux bitumineux.....	7
I.3.2 Qualité de la plateforme support de la chaussée.....	7
I.3.3. Emprunts de graveleux latéritique	7
I.3.4. Carrière de concassage	8
I.3.5. Caractéristiques du ciment.....	8
I.3.6 Spécifications des couches	8
I.3.6.1. Zone d'élargissement.....	8
I.3.6.2. Couche de fondation	9
I.3.6.3. Couche de base	9
CHAPITRE II :	10
DIAGNOSTIC DE LA CHAUSSEE.....	10
II.1. Historique de la chaussée	10
II.2. Relevés visuels	11
II.2.1. Niveau de gravité des dégradations.....	11
II.2.2. Etendue des dégradations	12
II.3. Calcul de déflexion.....	12
II.4. Détermination des indices	13
II.4.1. Indice de fissuration	13
II.4.2. Indice de déformation.....	14
II.4.3. Indice de dégradation	14
II.4.4. Indice de dégradation corrigé.....	15
II.5. Détermination de l'état de la chaussée et proposition de solution.....	15
II.5.1. Etude du trafic	15
II.5.2. Etat de la chaussée et solution.....	17
II.5.3. Type de renforcement.....	18

CHAPITRE III :	19
DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE	19
III.1. Les Caractéristiques géométriques	19
III.1.1. Normes de conception des voies	19
III.1.2. Paramètres de conception	21
III.1.2.1. Tracé en plan	21
III.1.2.2. Profil en long	21
III.1.2.3. Profil en travers type	22
III.2. Détermination de la classe de portance	23
III.3. Dimensionnement de la chaussée	24
III.4. Vérification du dimensionnement	25
III.4.1. Détermination des CBR des couches	26
III.4.2. Détermination des modules de Young	27
III.4.3. Dimensionnement avec Alizé-LCPC	27
III.4.3.1. Vérification des dimensions données par le CEBTP	27
III.4.3.2. Proposition de dimension et conception avec Alizé-LCP	28
III.4.3.3. Vérification des contraintes	28
III.4.4. Dimensions retenues	28
III.5. Comparaison des méthodes de dimensionnement	29
III.5.1. Méthode CEBTP et Alizé	29
III.5.2. Dimensions de l'entreprise et dimensions obtenues	30
III.6. Assainissement	31
III.6.1. Etude hydrologique	31
III.6.1.1. Détermination du bassin versant et de ses caractéristiques	31
III.6.1.2. Analyse fréquentielle	33
III.6.1.3. Débit de ruissellement	34
III.6.2. Etude hydraulique	34
III.6.2.1. Type de dalots	35
III.6.2.2. Dimensions hydrauliques	35
III.6.2.3. Dimensionnement structural	36
CHAPITRE IV :	50
ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL	50
IV.1. Identification des impacts positifs	50
IV.2. Identification, analyse des impacts et mesures environnementales préconisées	51
.....	51
CHAPITRE V :	56
DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF	56
CONCLUSION	58
RECOMMANDATION	59
BIBLIOGRAPHIE	60
ANNEXE	61

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Classe de portance.....	6
Tableau 2: Caractéristiques du graveleux latéritique.....	8
Tableau 3: Spécifications zone d'élargissement.....	8
Tableau 4: Spécifications couche de fondation	9
Tableau 5: Spécifications couche de base.....	9
Tableau 6: Niveau de gravité des dégradations	11
Tableau 7: Etendue des dégradations.....	12
Tableau 8: Déflexion caractéristique	12
Tableau 9: Portance.....	13
Tableau 10: Indice de fissuration	13
Tableau 11: Indice de déformation	14
Tableau 12: Indice de dégradation	14
Tableau 13: Indice de dégradation corrigé.....	15
Tableau 14: Données de comptage	16
Tableau 15 : Classe de trafic	17
Tableau 16: Indice de qualité.....	17
Tableau 17: Type de renforcement	18
Tableau 18: Normes techniques de la voirie.....	20
Tableau 19: Normes techniques des voies d'accès.....	20
Tableau 20: Caractéristiques profil en travers type	22
Tableau 21: Classe de portance des sols	24
Tableau 22: Dimensions CEBTP	25
Tableau 23: Dimensions retenues	29
Tableau 24: Comparaison des dimensions CEBTP et Alizé.....	30
Tableau 25: Comparaison des dimensions retenues et celles de l'entreprise	30
Tableau 26: Caractéristiques du bassin versant	33
Tableau 27: Débit de ruissellement.....	34
Tableau 28 : Classification selon le Fascicule 61 titre 2 du CPC	38
Tableau 29: Armatures du dalot.....	47
Tableau 30: Etude environnementale, installation de chantier et atelier de maintenance	52
Tableau 31: Etude environnementale, ravitaillement en matériaux et matériels, voies d'accès ...	53
Tableau 32: Etude environnementale exécution des travaux.....	54
Tableau 33: Récapitulatif du devis estimatif et quantitatif	56

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme de la mission de contrôle.....	4
Figure 2: Carte de la zone de projet	5
Figure 3 : Profil en travers type 1	23
Figure 4 : Profil en travers type 2	23
Figure 5 : Algorithme de dimensionnement d'une structure semi rigide par ALIZE (Manuel d'utilisation ALIZE-LCPC, version 1.5)	26
Figure 6 : Tracé de la RDV 3.....	31
Figure 7 : Courbes de niveau	32
Figure 8 : Ligne d'écoulement des eaux	32
Figure 9 : Délimitation des bassins versants	33
Figure 10 : Schéma statique de calcul du cadre simple	37
Figure 11 : Disposition de deux camions dans le sens longitudinal (Système Bc).....	38
Figure 12 : Disposition de deux camions dans le sens transversal (Sous-système Bc)	39
Figure 13 : Disposition sous - système Bt	40
Figure 14 : Configuration sous - système Br	40
Figure 16: Récapitulatif des aciers.....	48
Figure 15: Plan de ferrailage.....	48
Figure 17: Graphique de répartition du devis	57

INTRODUCTION

Le réseau routier au Niger a connu une progression significative irrégulière depuis les indépendances à nos jours en passant de 3000 km à 5745 km de route selon le manuel Historique de la route du Niger, juillet 2017. Cependant l'absence d'une politique d'entretien et de maintenance du réseau routier a conduit à la dégradation de certains principaux axes routiers de la région de Zinder entravant ainsi la libre circulaire des biens et des personnes.

Le gouvernement nigérien a initié le programme des travaux de construction, de réhabilitation et d'entretiens des chaussées, ouvrages et bâtiments des villes, des régions du pays avec une rotation annuelle pour remédier aux entraves économiques et sociales générées par l'état de dégradation du réseau. L'édition 2018 de ce projet étatique a concerné la ville de Zinder tandis que celle de 2019 est en cours actuellement dans la ville de Tillabery. Le projet Zinder-Saboua s'inscrit dans l'exécution des travaux d'aménagement, de bitumage et de réhabilitation des voiries sur un linéaire total de **25,4 km**. Les travaux comprennent toutes les fournitures et mises en œuvre nécessaires à la réalisation complète des tronçons de routes prévus.

Le projet dans la ville de Zinder est regroupé en un lot de six tronçons défini par les voies suivantes,

- RDV 1 : Localisée sur la RN 1 coté Est et longue de 3,536 km linéaire, elle est située entre la Mare Kanya et l'Eglise évangélique
- RDV 2 : Elle est sur la bande Sud de la RN 11 de la ville. Sur une longueur de 9,53 km, elle se trouve entre le Centre Mère et Enfant sur le côté Est de la RN 1 et le CFPA au Nord de la RN 11.
- RDV 3 : Sur un linéaire de 5,9 km, elle quitte l'embranchement village Middick sur la RN 1 à l'Est pour atteindre le grand marché.
- RDV 4 : Elle quitte le Carrefour de l'école des filles pour prendre Konnan Rahama en passant par le grand finir pour finir au CES Barma Moustapha, sur une longueur de 4,27 km.
- RDV 6 : Tronçon qui se situe entre l'Aéroport et l'embranchement sur le Sud de la RN 11. Il est long de 1,59 km.
- RDV 7 : Elle couvre du Trésor à l'Arène sur une distance linéaire de 0,57 km soit 570m.

Au début, le tronçon RDV 5 faisait partie du projet, son exécution fut annuler bien avant la réalisation des travaux.

A ce titre, ce travail objet de notre mémoire de fin d'étude sur le thème intitulé « *diagnostic et étude technique du tronçon RDV3 du projet de réhabilitation et d'aménagement de la voirie urbaine Zinder Saboua* » ne concerne que le tronçon qui quitte l'embranchement village Middick jusqu'au grand marché. L'étude sur les autres tronçons du projet a été effectuée par les ingénieurs du bureau d'étude Groupe Art & Génie.

L'objectif général visé est la conception et le dimensionnement de la chaussée RDV3.

Pour atteindre cet objectif, il s'agira de réaliser les objectifs spécifiques suivants :

- i) Détermination de la qualité de l'ancienne chaussée
- ii) Proposition d'un dimensionnement par la méthode CEBTP vérifié à l'aide du logiciel Alizé
- iii) Comparatif des dimensions issues de cette étude à celles proposées par l'entreprise
- iv) Assainissement de la route
- v) Elaboration du coût de réalisation des travaux

Le mémoire est structuré en cinq chapitres qui seront détaillés dans la suite du document. Le premier chapitre concerne les généralités sur le dimensionnement des routes. Ces généralités concernent les matériaux utilisés et les caractéristiques du dimensionnement routier. Quant au second chapitre il traitera du diagnostic de la chaussée existante à travers des relevés visuels et des relevés de déflexion pour déterminer la qualité de la chaussée. Le dimensionnement de la chaussée après diagnostic est réalisé au chapitre trois comprenant aussi ses caractéristiques géométriques ainsi que l'assainissement. Au chapitre quatre l'étude d'impact environnemental du projet est présentée suivis du chapitre cinq sur le devis estimatif et quantitatif. Une conclusion et les recommandations viendront clore le document.

CHAPITRE I :

GENERALITES

Ce chapitre traite des aspects généraux du projet afin de préparer le terrain pour ce qui sera de l'étude pour une meilleure immersion.

Il est question de la détermination des caractéristiques des matériaux. Cela comprend le module des matériaux, la qualité de la plateforme, l'emprunt du matériau latéritique et de la carrière de concassage ainsi que des spécifications des couches constitutives de la chaussée.

I.1. Présentation de la structure d'accueil

Pour l'exécution de ce programme, le bureau d'études et de contrôle **groupe Art & Génie** est le bénéficiaire pour la réalisation des études. Après quoi, le dossier d'appel d'offres a été constitué pour voir l'entreprise internationale **SOGEA SATOM** choisi pour la réalisation technique par une entente directe. Quant au contrôle et la surveillance des travaux, ils sont assurés par un groupement d'entreprises que sont : **Art & Génie, BETEC et Techni Consult**. Représentés sur le chantier par une Mission de Contrôle chargée de la coordination des opérations et la gestion des interfaces entre le Maître d'Ouvrage, le Maître d'Œuvre, l'Entreprise et les autres acteurs du projet.

Les principaux domaines d'activités de ces bureaux d'études sont :

- Bâtiments et infrastructures de transport
- Architecture et génie civil
- Génie rural, hydraulique et environnement
- Géophysique, hydrogéologie, pétrophysique et cartographie
- Informatique et audit
- Études d'impacts et intermédiation sociale

La structuration du personnel sur le chantier se présente dans la figure 1 suivante :

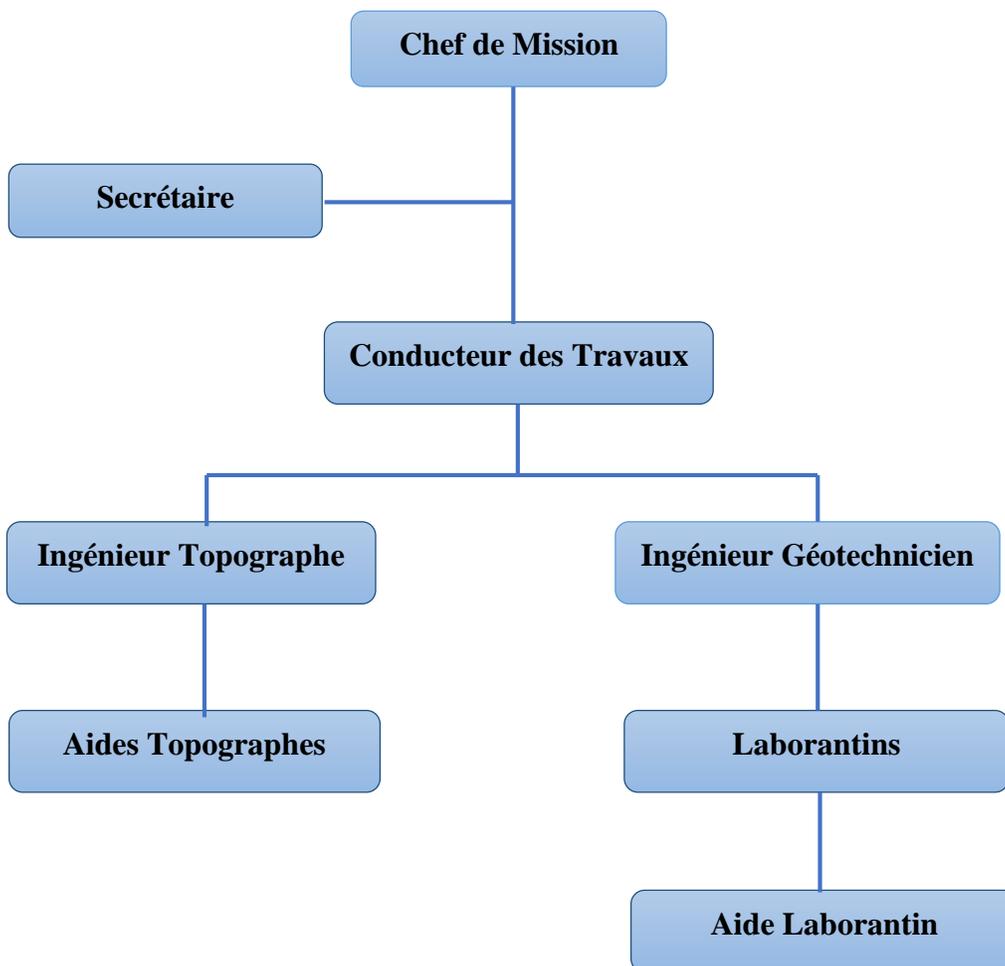


Figure 1: Organigramme de la mission de contrôle

I.2. Zone du projet

Le projet a lieu dans la ville de Zinder. Située au Sud du pays à environ 900 km de Niamey capitale du Niger, cette ville connaît un climat tropical humide avec un hiver sans précipitations et des pluies en été. Elle couvre une superficie de 155 778 km², et s'étend en latitude entre les parallèles 12° 48' et 17° 30' nord et en longitude entre 7° 20' et 12° 0' est. Zinder est limitée par la région d'Agadez au nord, à l'est par la région de Diffa, à l'Ouest par la région de Maradi, et par la

République Fédérale du Nigeria au Sud. La route est localisée en centre-ville entre l'embranchement village Middick sur la RN 1 à l'Est et le grand marché.

La carte ci-dessous présente la zone du projet sur la figure 2.

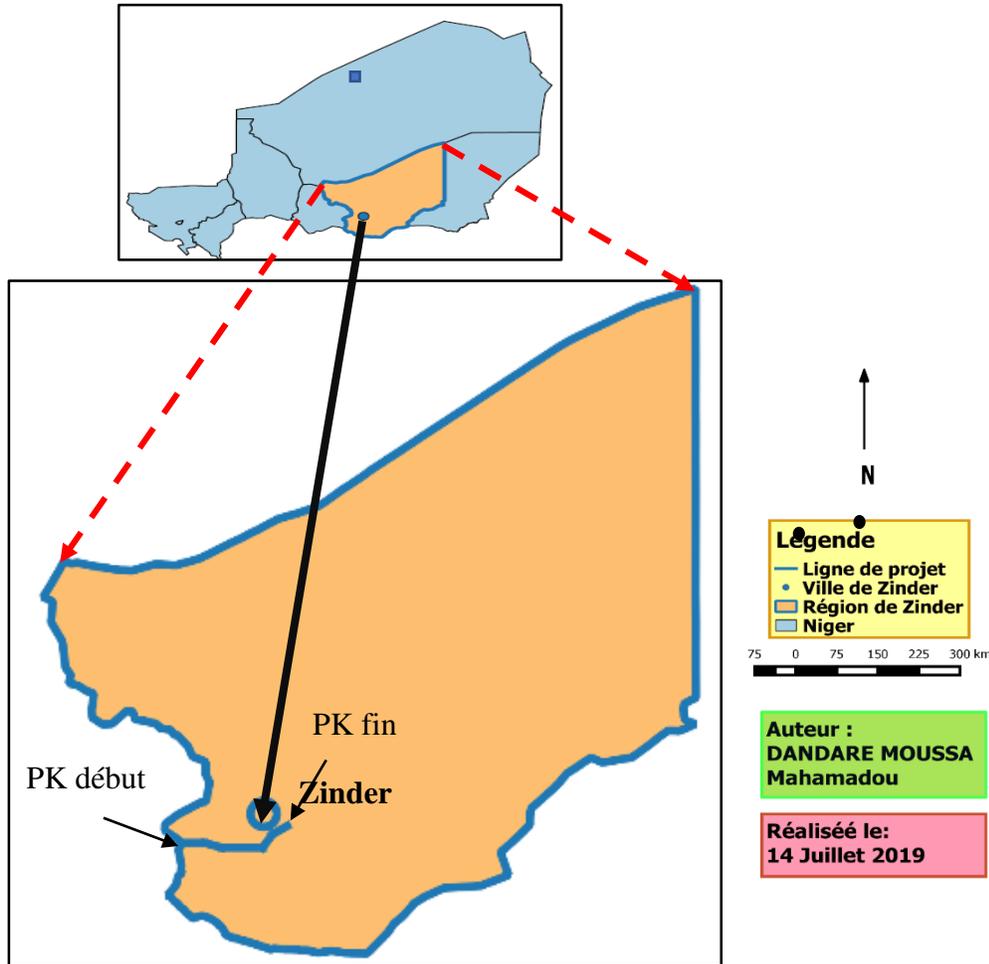


Figure 2: Carte de la zone de projet

I.3. Caractéristiques des matériaux

Cette section du mémoire est consacrée à la caractérisation des différents types de matériaux qui rentrent dans la conception des routes. Cela renseigne sur leur qualité et oriente ainsi le choix des matériaux à utiliser.

I.3.1. Module des matériaux

La rigidité d'un matériau limite sa déformabilité. Le module d'élasticité ou module de Young E caractérise la rigidité des matériaux.

$$E = \frac{\sigma}{\frac{\Delta l}{l}} \quad \sigma : \text{Contrainte} \quad \frac{\Delta l}{l} : \text{Déformation relative}$$

La notion de coefficient de poisson γ est utile. $\gamma = \frac{\sigma}{\frac{\Delta d}{d}}$ avec d = diamètre de l'éprouvette et

Δd = variation de ce diamètre

I.3.1.1. Sols et matériaux granulaires

Simplification abusive mais commode d'un module dans les sols non homogènes et non isotrope. On approche le module de young E par l'essai triaxial en laboratoire, l'essai de plaque ou à partir du CBR. Le GTR (guide technique routier) donne les modules à considérer pour les calculs en fonction des classes de plateforme PFi. Dans le tableau 1 ci-après la classe de portance

Tableau 1: Classe de portance

Classe de plateforme	PF1	PF2	PF3	PF4
Module E	20MPa	50MPa	120MPa	200MPa
Coefficient de poisson γ	0,35	0,35	0,35	0,35

Les graves non traitées sont des matériaux granulaires, qui se comportent comme des sols. Le module d'une grave latéritique non traitée dépend du module de la couche sous-jacente. Le rapport

$\frac{\text{module gnt}}{\text{module couche sous jacente}}$ varie de 2 à 4.

On découpe la GNT en tranches de 25 cm d'épaisseur maxi et le module E de chaque tranche est égal à 3 fois le module de la couche sous-jacente, module E plafonné à 360MPa.

Le coefficient de poisson $\gamma=0,35$. Les couches non traitées sont considérées collées entre elles et à leur support.

I.3.1.2. Matériaux traités aux liants hydrauliques

Le module permet de définir la rigidité du matériau. A partir des essais à la compression ou à la traction on peut déterminer les déformations en fonction des contraintes et avec la courbe $\sigma=f(E)$

qui définit le module à 30% de la charge à 360j. $E_{360} = \frac{0,30}{E_{30\%}}$

Les valeurs de modules de certains matériaux courants sont :

- Grave ciment : E = 23000 MPa, $\gamma= 0,25$
- Sable ciment : E de 5000 à 17200 MPa, $\gamma=0,25$

I.3.1.3 Matériaux bitumineux

Sensible à la température et au temps de charge, les matériaux bitumineux sont plus complexes à caractériser par un module qui est toujours associé à une température et un temps de charge.

Quelques valeurs minimales de E des principaux matériaux bitumineux

- Grave bitume : E = 7000 à 9000 MPa
- Béton bitumineux SG : E = 5400 MPa

I.3.2 Qualité de la plateforme support de la chaussée

La plateforme support est un élément très important dans la réalisation des chaussées et au cours de leur mise en service. En effet c'est la couche qui support ainsi sur elle les couches adjacentes. Elle doit ainsi présenter une certaine capacité définie par son Indice CBR. Pour cela, nous prendrons en compte la portance des sols d'élargissement dont le CBR moyen est 22,26 et la classe du sol est S4. Le relevé des essais CBR en Annexe 3.

I.3.3. Emprunts de graveleux latéritique

Pour la bonne exécution des travaux, avoir le meilleur emprunt de graveleux latéritique est nécessaire. Tant est important sa qualité que sa disponibilité. A cet effet, le choix s'est porté sur le site de Miriah qui présente les caractéristiques suivantes :

- Superficie : 14,4 ha
- Puissance approximative : 72 000 m³
- Distance du PK0 du RDV2 : 5,8 Km
- Distance morte : 400 m

Les caractéristiques du graveleux latéritique dans le tableau 2 suivant :

Tableau 2: Caractéristiques du graveleux latéritique

Caractéristiques du graveleux latéritique				
Caractéristiques		Valeurs de l'étude	Spécifications du CCTP	Observation
Analyse granulométrique	% fines	15,7	≤35	Conforme
	% < 2mm	30	<50	Conforme
Limites d'Atterbergs	LL	19	<40	Conforme
	IP	8	≤25	Conforme
Proctor	Densité sèche	2,21	≥2	Conforme
	Teneur en eau OPM	5,5	Sans objet	Conforme
CBR	95 OPM	64	≥30	Conforme
Gonflement	G	0	≤0.5	Conforme

I.3.4. Carrière de concassage

Zinder est une ville de pierre. Ainsi, pour ce projet, cette ressource de la ville sera utilisée pour servir de grave. Et le concassage est effectué à Meito. La pierre est d'abord fragmentée en de morceaux plus maniables, sur place, avant d'être transporté au lieu de concassage.

I.3.5. Caractéristiques du ciment

Le ciment intervient dans la réalisation du sol ciment, des ouvrages d'art, des éléments de sécurités, etc. Le ciment utilisé est de type CEMII B 42.5R fourni par l'usine DANGOTE. En l'absence de données expérimentales, celles utilisées sont les données fournis avec les spécifications du ciment.

I.3.6 Spécifications des couches

I.3.6.1. Zone d'élargissement

Les spécifications concernent les 30 m supérieurs du remblai renseignées dans le tableau 3 :

Tableau 3: Spécifications zone d'élargissement

Passant au tamis de 80µm	< 40%
Indice de plasticité	< 25
Limite de liquidité	< 50
CBR à 95% de l'OPM	≥ 15
Gonflement linéaire	<1%

I.3.6.2. Couche de fondation

Pour la couche de fondation les spécifications dans le tableau 4 suivant sont requises :

Tableau 4: Spécifications couche de fondation

Passant au tamis de 2mm	< 50%
Passant au tamis de 80µm	< 25%
Indice de plasticité	< 25
Limite de liquidité	< 40
CBR à 95% de l'OPM	≥ 40
Gonflement linéaire	< 0,5%
Teneur en matière organique	< 1%

I.3.6.3. Couche de base

La couche de base, en matériaux amélioré au liant hydraulique, doit avoir les spécifications présentées dans le tableau 5 qui suit :

Tableau 5: Spécifications couche de base

Passant au tamis de 2mm	< 50%
Passant au tamis de 80µm	< 25%
Indice de plasticité	< 25
Limite de liquidité	< 40
CBR à 98% de l'OPM	≥ 160
Gonflement linéaire	< 0,5%
Teneur en matière organique	< 1%

CHAPITRE II :

DIAGNOSTIC DE LA CHAUSSEE

Le diagnostic de la chaussée couplé au trafic que la nouvelle chaussée doit supporter nous permet de déterminer le type de réhabilitation à effectuer. Le diagnostic est réalisé en effectuant des investigations sur un (1) km selon le guide CEBTP afin de relever les dégradations qu'à subit la chaussée ainsi que des déflexions. Après étude de ces relevés, il est déterminé l'état ou l'étendu de la dégradation de la chaussée.

II.1. Historique de la chaussée

La RDV3 est un tronçon de l'axe RN1-E Niamey frontière Tchad de la RN1 qui compte deux axes, dont le deuxième est l'axe RN1-O, Niamey frontière Mali. L'axe RN1-E est constitué de dix (10) sections. La RDV3 est composante de la section 7, RN1-E07, qui s'étend sur 116,579 km de Tessaoua à Zinder à l'intersection de la RN11-S. Cette section est répartie en deux (2) lots. Le lot 1 concerne le linéaire, de 66 km en BB de 8 cm, de Tchadoua-Taketa construite en 1996.

Le lot 2 contenant le tronçon de notre étude se présente sur les informations suivantes :

- Année de construction : 2009
- Longueur : 50 km
- Largeur : 7 m
- Accotement : 1 m
- Type couche de roulement : Enduit superficiel Bicouche environ 3 cm d'épaisseur
- Epaisseur couche de base : 15 cm
- Epaisseur couche de fondation : 20 cm
- Entreprise : LAWALI BALA
- Contrôle : LAMCO

II.2. Relevés visuels

Cette phase consiste en la notation des différentes formes de dégradation ainsi que de leurs caractéristiques. Après ces relevés en Annexe 4, on procède aux calculs suivants :

II.2.1. Niveau de gravité des dégradations

Le niveau de gravité des dégradations est donné par les l'ampleur de la dégradation à en juger par ses caractéristiques relevées tout en les classant en deux types selon la cause de la dégradation. La gravité est jugée en trois (3) niveaux respectivement élevé de un (1) à trois (3). Les types de dégradation sont les suivantes :

❖ Type A

Les dégradations de type A concernent les dégradations qui sont déformation, orniérage, fissure (de fatigue) et faïence. Ces dégradations sont la conséquence d'une insuffisance de capacité de la structure de la chaussée du soit à la couche de surface soit à l'ensemble des couches et du sol.

❖ Type B

Les fissures (hors fatigue), les nids de poule, les arrachements (peignage, plumage, pelade, désenrobage) et les mouvements de matériaux (ressuage) sont les dégradations de types B. Elles résultent d'un défaut de mise en œuvre ou de qualité de matériaux, ou d'une condition locale que peut accentuer le trafic. Le tableau 6 présente le niveau de gravité des dégradations

Tableau 6: Niveau de gravité des dégradations

Niveau de gravité des dégradations			
Type A			
Dégradation	Niveau 1(%)	Niveau 2(%)	Niveau 3(%)
Fissure	0,00	25,00	75,00
Faïence	0,00	66,67	33,33
Ornière	50	50	0
Type B			
Nid de poule	0,00	21,05	78,95
Epaufrure	0,00	0,00	100,00
Pelade	50,00	50,00	0,00

Il sort de ce tableau que la gravité des dégradations de type A et B est de **niveau trois (3)** étant donné que le niveau de gravité trois (3) est dominant pour les deux types de dégradation.

II.2.2. Etendue des dégradations

L'étendue des dégradations est donnée en déterminant leurs proportions par rapport à aux dimensions de la chaussée existante. Cette détermination se fait sur deux volets, linéaire (par rapport à la longueur totale de la zone d'étude) et surfacique (par rapport à la surface totale de la zone d'étude), selon le type de dégradation. Ainsi on obtient les étendues suivantes dans le tableau 7.

Tableau 7: Etendue des dégradations

Etendu des dégradations						
		Linéaire bande(m)	Surface bande(m ²)	Emprise	Etendu(%)	Total(%)
Fissuration-linéaire	Fissure	1050,00	0,00	11,52	1,10	3,67
	Faïence	1050,00	0,00	27,00	2,57	
Déformation-surfacique	Nid de poule	0,00	7350,00	305,46	4,16	10,48
	Epaufrure	0,00	7350,00	417,47	5,68	
	Pelade	0,00	7350,00	20,55	0,28	
	Ornière	0,00	7350,00	26,46	0,36	

L'étendu des dégradations linéaires et surfaciques sont respectivement de **3,67%** et **10,48%**.

II.3. Calcul de déflexion

Des essais de déflexion sont réalisés sur la chaussée existante afin de connaître son comportement. Après quoi on procède au calcul de déflexion caractéristique par la formule $D = \text{moyenne} + 1,3 * \text{écart-type}$ et la détermination de la portance. La déflexion caractéristique et la portance du sol respectivement dans le tableau 8 et 9 suivant :

Tableau 8: Déflexion caractéristique

Côté	Déflexion caractéristique			
	Moyenne	EcartType	Coeff	Déflexion
Gauche	30,2	12,4	1,3	46,3
Droite	23,8	7,4	1,3	33,5
Axe	22,5	4,6	1,3	28,4

La déflexion caractéristique prise en compte est la plus défavorable, donc **46,3**.

Tableau 9: Portance

	Portance		
	<d1	[d1 - d2]	>d2
Déflexion	Faible	Intermédiaire	Forte
Portance	Elevée	Médiocre	Faible
Qualité des maté	Bonne	Douteuse	Mauvaise

Les paramètres d1 et d2 sont données suivant la situation géographique et le climat de la zone. Des valeurs en dessous du premier supposent une portance élevée tandis que des valeurs au-dessus du deuxième renvoient à une portance faible. Pour le Niger, les valeurs **40 pour d1 et 60 pour d2**.

La valeur de la déflexion caractéristique se situe entre les deux paramètres, d'où la conclusion suivante : Portance médiocre et qualité des matériaux douteuse.

II.4. Détermination des indices

II.4.1. Indice de fissuration

Cet indice est obtenu de l'étendue des fissurations déterminées plus haut ainsi que de leur gravité.

L'indice de fissuration est ainsi présenté dans le tableau 10 :

Tableau 10: Indice de fissuration

Indice de fissuration If			
Etendu / Gravité	0-10%	10-50%	50-100%
1	1	2	3
2	2	3	4
3	3	4	5

Pour une étendu de 3,67% et une gravité 3, l'indice de fissuration est de 3.

II.4.2. Indice de déformation

Cet indice est obtenu de l'étendu des déformations déterminées plus haut ainsi que de leur gravité.

Le tableau 11 présente l'indice de déformation

Tableau 11: Indice de déformation

Indice de déformation Id			
Etendu Gravité	0-10%	10-50%	50-100%
1	1	2	3
2	2	3	4
3	3	4	5

Pour une étendu de 10,48% et une gravité 3, l'indice de déformation est de 4

II.4.3. Indice de dégradation

L'indice de dégradation est obtenu en combinant les indices de fissuration et de déformation. La légende d'interprétation est la suivante :

- Bon : 1 Médiocre : 2-3 Mauvais : 4-5 Très mauvais : 6-7

L'indice de dégradation à voir dans le tableau 12 ci-après :

Tableau 12: Indice de dégradation

Indice de dégradation Is				
If Id	0	1 à 2	3	4 à 5
0	1	2	3	4
1 à 2	3	3	4	5
3	4	5	5	6
4 à 5	5	6	7	7

Avec un indice de fissuration 3 et un indice de déformation 4, on obtient **un indice de dégradation de 7**. Alors, en termes de dégradation notre route est en très mauvais état.

II.4.4. Indice de dégradation corrigé

C'est un indice qui permet de mettre une certaine sécurité sur l'indice de dégradation à certains niveaux de dégradation tenant compte de l'étendu et de la gravité.

Le tableau 13 suivant renseigne sur l'indice de dégradation corrigé

Tableau 13: Indice de dégradation corrigé

Indice de dégradation corrigé			
Etendu Gravité	0-10%	10-50%	50-100%
1	0	0	0
2	0	0	(+1)
3	0	(+1)	(+1)

La dégradation étant déjà à 7, le maximum, nul besoin de la corriger.

II.5. Détermination de l'état de la chaussée et proposition de solution

Pour statuer sur l'état de la chaussée existante, on tient compte de son état de dégradation et du trafic que devra supporter la chaussée réhabilitée. Pour cela, nous devons déterminer le trafic.

II.5.1. Etude du trafic

Le trafic est important dans la réalisation des chaussées. Il s'agit de relever et de quantifier le flux transitant sur une voie. Elle joue un rôle crucial et permet la conception des routes. Données selon le cahier de prescription technique :

- Coefficient d'agressivité moyen : CAM = 1,69
- Essieu de référence : 13 tonnes
- Durée de vie : 20 ans
- Taux de croissance géométrique : 3,5 %

❖ Comptage

Un relevé du trafic est effectué sur une période d'une semaine sans interruption afin de déterminer le flux hebdomadaire sur la voie, qui permet par la suite de déterminer le trafic journalier. Après comptage, les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 14 suivant:

Tableau 14: Données de comptage

RECAPITULATIF DES DONNEES DE COMPTAGE		
RDV3	Voie Droite	Voie Gauche
Trafic hebdomadaire	10846	12305
Trafic poids lourd hebdomadaire	1952	1959
Trafic moyen journalier	1551	1758
Trafic moyen journalier poids lourd	279	280
%Poids lourd	18	16

Le résultat retenu qui sera utilisé pour les calculs des différents paramètres du trafic est le comptage sur la voie gauche pour optimisation et sécurité car il représente le cas le plus défavorable. Alors la **TMJ est de 280 PL**.

❖ Trafic à l'année de mise en service

Ce trafic correspond à celui projeté à l'année de mise en service de la nouvelle voie tenant compte des trafics induit, dérivé. Il est donné d'après le manuel CEBTP par la formule $T_0 = TMJA = T_{PL} \times (1 + i)^{n'}$ avec n' la durée entre le comptage et l'année de mise en service.

$$\text{Ainsi } T_0 = TMJA = 280 \times (1 + 0,035)^{0,6}$$

$$\rightarrow T_0 = TMJA = 286 PL$$

❖ Calcul du trafic cumulé poids lourd

L'hypothèse de calcul est la considération d'une croissance exponentielle du trafic. Ainsi, le trafic cumulé est donné par la formule suivante selon le manuel CEBTP :

$$Tn = T_0 * 365 \frac{(1+i)^n - 1}{i} = 286 * 365 \frac{(1+3,5)^{20} - 1}{3,5}$$

$$Tn = 2.782E + 6$$

❖ Calcul du trafic équivalent poids lourd

Le trafic cumulé est ramené en trafic au trafic équivalent en tenant compte du coefficient d'agressivité. D'après le manuel CEBTP,

$$NE = Tn * CAM = 2.782E + 6 * 1,69$$

$$NE = 4,7016E+6$$

❖ Classification du trafic

La classe du trafic est déterminée sous différents paramètres selon le CEBTP. Il est jugé par rapport à certains de ces paramètres. La classe de trafic dans le tableau 15 qui suit :

Tableau 15 : Classe de trafic

Classe de trafic		
Trafic	Cumulé PL	Essieu équivalent 13t
T1	<5.10 ⁵	<5.10 ⁵
T2	5.10 ⁵ à 1,5.10 ⁶	5.10 ⁵ à 1,5.10 ⁶
T3	1,5.10 ⁶ à 4.10 ⁶	1,5.10 ⁶ à 4.10 ⁶
T4	4.10 ⁶ à 10 ⁷	4.10 ⁶ à 10 ⁷
T5	10 ⁷ à 2.10 ⁷	10 ⁷ à 2.10 ⁷

Selon ces paramètres, le trafic est de type 3 ou 4. Pour une question de sécurité et pour se mettre en accord avec l'équivalence en essieu des véhicules poids lourds, le trafic est pris de **classe 4**.

II.5.2. Etat de la chaussée et solution

L'état de la chaussée est obtenu par l'indice de qualité dans le tableau 17 suivant :

Tableau 16: Indice de qualité

Déflexion Etat apparent	Indice de qualité		
	<d1	[d1 - d2]	>d2
Bon(1)	Q1	Q2	Q3
Fissuré non déformé(2-3)	Q2	Q3	Q4
Déformé et fissuré(4-7)	Q3	Q4	Q5

L'état de la chaussée est donc de type Q4 faisant office à un renforcement de la chaussée existante.

II.5.3. Type de renforcement

Le renforcement à effectuer en considérant l'état Q de la chaussée existante et la classe T du trafic est fournie par le manuel de renforcement CEBTP référencé dans le tableau 17 suivant :

Tableau 17: Type de renforcement

Solution			
Trafic Qualité	T1	T2	T3
Q1	Entretien courant		Réfection de chaussée
Q2	Entretien prioritaire		
Q3	Renforcement GNT de 10 à 15 cm		
Q4	Renforcement GNT de 15 à 30 cm		
Q5	Renforcement aux matériaux traités		

La colonne T3 nous renseigne sur la solution qui ne dépend guère de la qualité de la chaussée existante mais du type de trafic. A partir d'un trafic T3, la réfection de chaussée.

Les couches de renforcement ainsi que leurs dimensions sont déterminées dans le chapitre suivant de dimensionnement de la chaussée. Ainsi, pour les couches existantes, couche de fondation et de base : recyclage et apport pour endroits à remblai.

CHAPITRE III :

DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE

Après la détermination de l'état de la chaussée existante et du type de renforcement, nous allons procéder au dimensionnement de la nouvelle chaussée. La méthode utilisée est celle du CEBTP et la vérification du dimensionnement par le logiciel Alizé. Il sera aussi question de l'assainissement de l'ouvrage.

III.1. Les Caractéristiques géométriques

L'élaboration de tout projet routier commence par la recherche de l'emplacement de la route dans la nature et son adaptation la plus rationnelle à la configuration du terrain.

Le tracé existant a été épousé pour faciliter le raccordement avec les autres axes et de pouvoir être en adéquation avec le terrain naturel le plus possible lors des travaux de réhabilitation de notre route.

III.1.1. Normes de conception des voies

La vitesse de référence retenue pour les axes principaux est de 60 Km/h. les normes techniques de la voirie sont présentées dans le tableau 18 et le tableau 19 qui suit renseigne sur les normes techniques des voies d'accès.

Tableau 18: Normes techniques de la voirie

Désignation des paramètres			Vitesse de référence	
			60 Km/h	
Tracé en Plan	Dévers maximal		7%	
	Rayon en plan	Minimal absolu (au dévers 7%)	120 m	
		Minimal normal (Dévers)	240 m (5%)	
		Au dévers minimal (2,5%)	450 m	
		Non déversé	600 m	
Profil en Long	Déclivité maximale en rampe		7 %	
	Rayon en angle saillant (point haut)	Chaussées unidirectionnelles	Minimal absolu	1 500 m
			Minimal normal	3 000 m
		Chaussées bidirectionnelles (route à 2 ou 3 voies)	Minimal absolu	1 600 m
			Minimal normal	4 500 m
	Rayon en angle Rentrant (point bas)	Minimal absolu		1 500 m
		Minimal normal		2 200 m
	Rayon assurant la distance de visibilité de dépassement minimale			6 500 m

Tableau 19: Normes techniques des voies d'accès

Vitesses de référence	50 - 60
V_r (en Km/h)	(Voies artérielles)
Rayon minimal absolu "RHM" au dévers associé de 7% (en m)	120
Rayon minimal normal "RHN" au dévers associé de 5% (en m)	240
Rayon au dévers minimal "RH" au dévers associé de 2.5% (en m)	450
Rayon en plan non déversé "RH'" au dévers associé de - 2,5% (en m)	600

III.1.2. Paramètres de conception

Les tronçons de la voirie de Zinder sont conçus sur la base des caractéristiques suivantes :

- Vitesse de référence = 60 km/h ;
- Pente mini des talus en remblais = 2/3 (2 verticale, 3 horizontale) ;
- Charge maximale à l'essieu = 13 t ;
- Charge admissible = 42 t ;
- Mise hors d'eau = obligatoire.

III.1.2.1. Tracé en plan

Le tracé en plan est une représentation sur un plan horizontal de l'axe de la route, il est constitué par des alignements droits raccordés par des courbes ; il est caractérisé par la vitesse de référence qui permet de définir les caractéristiques géométriques nécessaires à tout aménagement routier.

Le tracé en plan d'une route doit permettre d'assurer de bonnes conditions de sécurité et de confort. L'inconfort de l'utilisateur est d'autant plus important que le rayon des courbes est plus faible, que l'on suppose la courbe parcourue à la vitesse maximale réglementaire ou à la vitesse effectivement adoptée par les usagers. Cela conduit, en fonction de la catégorie de route, à fixer des rayons minimaux.

Cependant l'utilisation fréquente ou systématique de grands rayons de courbure peut se révéler néfaste en aboutissant à une limitation des possibilités de dépassement sur, et en encourageant les usagers à pratiquer une vitesse continuellement élevée, défavorable à la sécurité (accoutumance à la vitesse, diminution de la vigilance).

III.1.2.2. Profil en long

Les normes minimales retenues sont mentionnées dans le tableau ci-dessus. Le calage du profil en long a été fait en tenant compte du contexte urbain et des règles de l'art notamment :

- des voies et des rues adjacentes
- les caniveaux
- les installations urbaines publiques ou privées
- la mise hors d'eau du corps de chaussée
- le calage des ouvrages d'assainissement prévus

- les épaisseurs de couches de chaussée
- le respect des caractéristiques géométriques

La ligne rouge a été adoptée la plus basse possible afin de ne pas créer des problèmes de seuils. Par contre les points bas de certains tronçons des carrefours ont été légèrement rehaussés pour éviter la stagnation d'eau.

III.1.2.3. Profil en travers type

Le profil en travers est une coupe transversale menée selon un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la route projetée. La largeur d'une route c'est-à-dire son profil en travers dépend surtout de l'importance de la circulation, du trafic à écouler.

Connaissant le tracé en plan et le profil en long de la route et d'autre part des renseignements aussi complets que possible sur le trafic, son intensité, sa nature, ses variations annuelles et ses taux de croissance, il est possible de déterminer la largeur de la chaussée pour qu'elle puisse écouler dans des conditions acceptables, les plus fortes circulations raisonnablement prévisibles.

En gros deux profils en travers types sont retenus. Dans le tableau 20 les caractéristiques du profil.

Tableau 20: Caractéristiques profil en travers type

Désignation	Largeur chaussée	Largeur accotements ou Aménagement particulier	
Type 1	7,00 m	2 X 1,50 m	Trottoirs
Type 2	6,30 m	2 X 1,50 m	Trottoirs
Dévers de la chaussée	2,5 %		
Dévers des trottoirs	1%		

Les figures 3 et 4 qui suivent présentent les profils en travers type

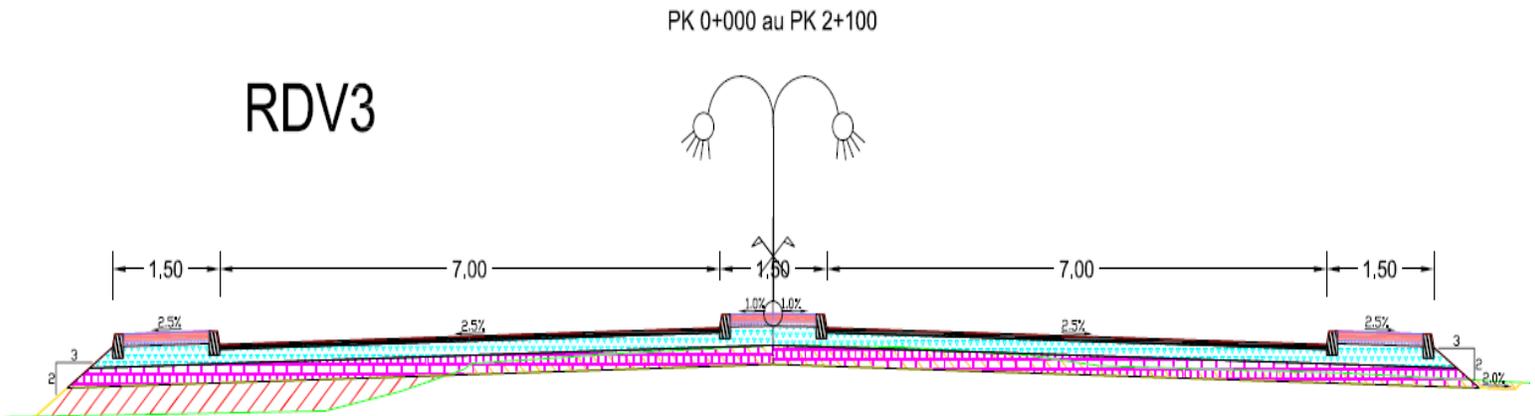
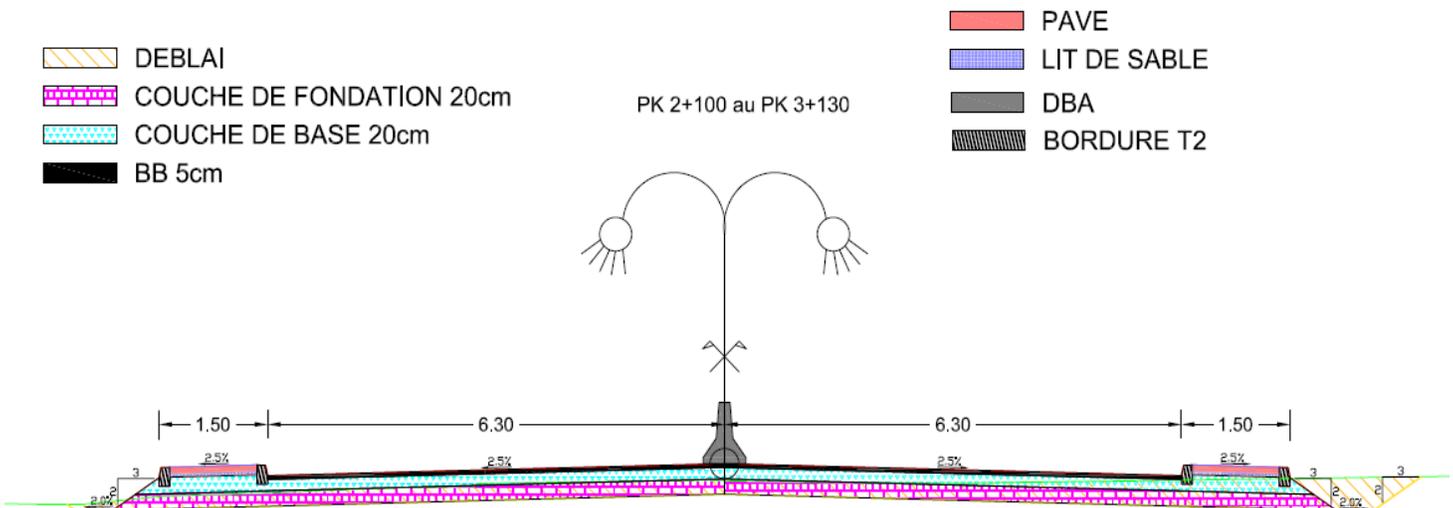


Figure 3 : Profil en travers type 1

Figure 4 : Profil en travers type 2



III.2. Détermination de la classe de portance

Pour la détermination de la qualité de la plateforme, des études ont été réalisées sur la chaussée existante. Il s'agit d'essai CBR sur des profondeurs prenant compte de la cote projet de la nouvelle voie ou ligne rouge. Cet essai permet de définir la structure de la chaussée. L'indice de portance californien CBR renseigne sur la capacité portante du sol support et les matériaux constitutifs de

la chaussée pouvant résistés aux différentes sollicitations et dégradations dues au climat et aux êtres. Les classes de sols en fonction du CBR, d'après le guide pratique du dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux sont consignées dans le tableau 21 :

Tableau 21: Classe de portance des sols

Classe de sol	Valeur du CBR
S1	CBR < 5
S2	5 < CBR < 10
S3	10 < CBR < 15
S4	15 < CBR < 30
S5	CBR > 30

Le rapport des études de portance effectuées sur la route au long des élargissements examiné et réétudié offre le résultat suivant :

CBR	Classe de sol
22.26	S4

Pour un CBR de 22,26, conformément au CEBTP le sol est de classe 4.

III.3. Dimensionnement de la chaussée

Le manuel CEBTP de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux propose des dimensions de chaussée fonctions de la classe de portance et du trafic sous plusieurs combinaisons de matériaux. Avec un sol support S4 et un trafic T4, alors en utilisant le guide du CEBTP voici la liste de combinaisons qui peuvent être adopté présentée dans le tableau 22.

Tableau 22: Dimensions CEBTP

Dimensions			
Combinaison	Couche de roulement	Couche de base	Couche de fondation
1	Béton bitumineux	Graveleux latéritique ou grave naturelle améliorée au ciment	Graveleux latéritique naturel ou grave naturelle
Epaisseur(cm)	7	20	20
2	Béton bitumineux	Grave ciment	Grave latérite ou grave naturelle ou concassé
Epaisseur(cm)	7	20	20
3	Béton bitumineux	Concassée	Graveleux latéritique naturel ou grave naturelle
Epaisseur(cm)	7	25	20

De toutes ses propositions, le choix se porte sur la combinaison 1 avec en couche de base la grave naturelle améliorée au ciment et en couche de fondation le graveleux latéritique naturel. Ces dimensions tout de même seront vérifiées avec la méthode rationnelle.

III.4. Vérification du dimensionnement

Le dimensionnement est vérifié à l'aide du logiciel Alizé-LCPC se basant sur le manuel « guide technique, conception et dimensionnement des chaussées, SETRA ». C'est un logiciel qui met en œuvre la méthode rationnelle de dimensionnement mécanique des structures de chaussées, développée par le LCPC et le SETRA.

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

La figure 5 ci-dessous nous résume les étapes et conditions à respecter pour le dimensionnement d'une structure semi-rigide avec le logiciel ALIZE.

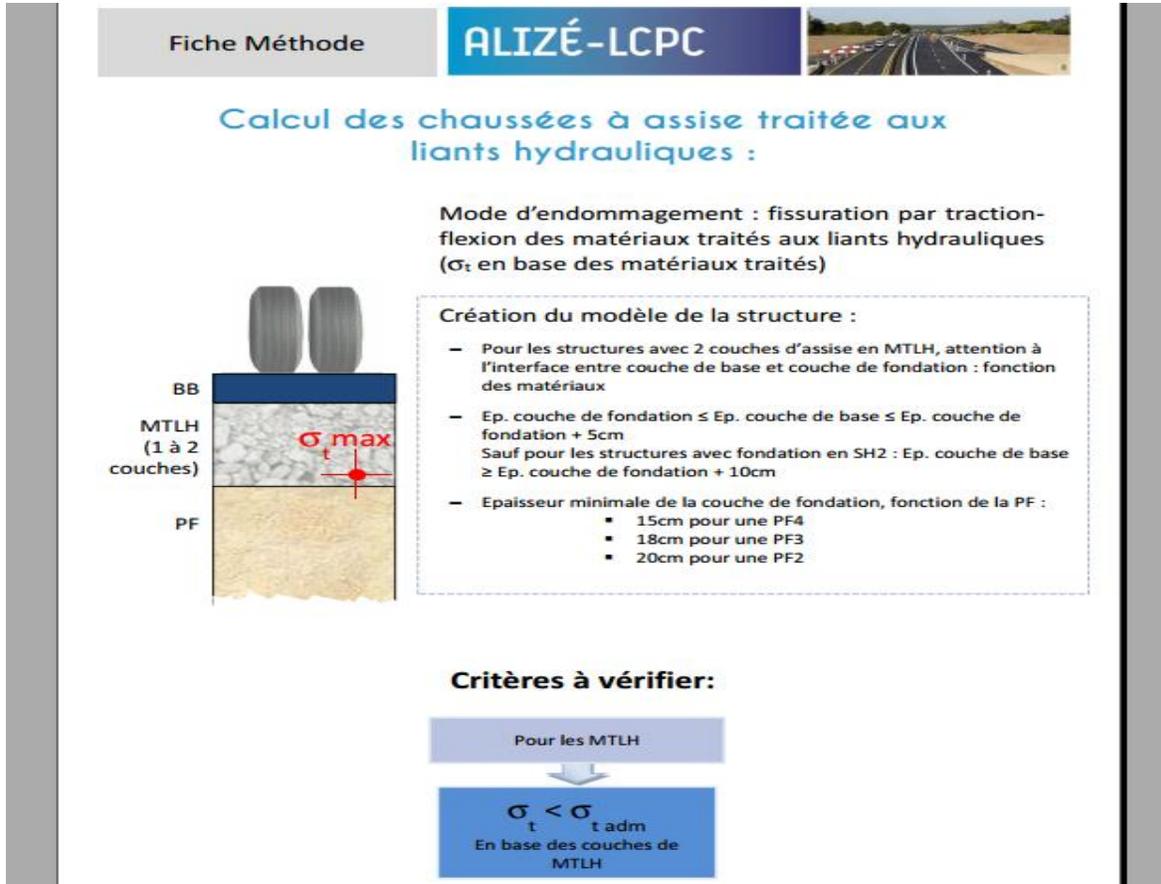


Figure 5 : Algorithme de dimensionnement d'une structure semi rigide par ALIZE (Manuel d'utilisation ALIZE-LCPC, version 1.5)

III.4.1. Détermination des CBR des couches

Le CBR des couches est déterminé en fonction des essais réalisés pour les matériaux existants et les matériaux de la carrière. La **moyenne des CBR** offre ainsi celui à prendre en compte. Apport de bon matériau dans les parties à purger où le matériau est inadéquat.

CBR des couches	
Couche	Valeur
Plateforme	22,26
Fondation	52,56
Base	160

III.4.2. Détermination des modules de Young

Le module de Young est déterminé par la méthode 5*CBR donnée par le CEBTP.

Module de Young (MPa)		
Couche	CBR moyen	Module
Plateforme	22,26	111,28
Fondation	52,56	262,79
Base	160	800,00

III.4.3. Dimensionnement avec Alizé-LCPC

III.4.3.1. Vérification des dimensions données par le CEBTP

Il est primordial de s'assurer que les dimensions obtenues par la méthode CEBTP peuvent répondre aux sollicitations. Pour cela, il faut procéder en la conception des dimensions obtenues pour juger de leur réaction. Si elles répondent bien, alors il est question de manipulations pour voir dans quelle mesure faire des économies grâce à des réductions des dimensions.

❖ Valeurs admissibles

Les données du projet concernant le trafic et ses les caractéristiques afférées, et le type de sol permettent de déterminer la valeur admissible de la chaussée au-delà de laquelle la portance de la chaussée est défaillante.

❖ Conception

La conception avec Alizé des dimensions obtenues par la méthode CEBTP sont réalisés avec 7 cm d'épaisseur en couche de roulement de béton bitumineux et 20 cm en couche de base en graveleux latéritique amélioré au ciment et 20 cm de fondation de fondation en graveleux latéritique.

❖ Vérification des contraintes

Les valeurs de contraintes et déformations de la structure sont confrontées aux valeurs accessibles pour voir si la conception est bonne. Ainsi, les premières doivent être inférieures ou égales aux deuxièmes.

La remarque avec les valeurs est que $\sigma_T = 0,202$ admissible est supérieure à $\sigma_T = 0,183$ occasionné. Les **contraintes sont alors vérifiées** et la **déflexion est bonne puisqu'inférieure à**

60. Alors, nous pouvons dire que cette conception de 7 cm en revêtement et 20 cm en couche de base ainsi qu'en couche de fondation est bonne.

III.4.3.2. Proposition de dimension et conception avec Alizé-LCP

Il s'agit de proposer une structure de chaussée avec des dimensions en tenant compte des paramètres des matériaux, conception validée lorsque les contraintes qu'elle engendre sont vérifiées par les valeurs admissibles. Ainsi, nous proposons la conception suivante :

Une couche de roulement de 5 cm en béton bitumineux, une couche de base en graveleux latéritique de 18 cm d'épaisseur et une couche de fondation en graveleux latéritique de 20 cm.

III.4.3.3. Vérification des contraintes

Les valeurs de contraintes de la structure sont confrontées aux valeurs accessibles pour voir si la conception est bonne. Ainsi, les premières doivent être inférieures ou égales aux deuxièmes.

Les valeurs sont comparées $\sigma_T = 0,202$ admissible est égale à $\sigma_T = 0,202$ occasionné. Conception alors vérifiée, ainsi que la **déflexion qui est inférieure à 60**. D'où nous pouvons garder les dimensions 5x18x20 cm respectivement la dimension de de couche de revêtement, la couche de base et la couche de fondation.

III.4.4. Dimensions retenues

Les deux méthodes de dimensionnement donnent des dimensions justes et vérifiées. Néanmoins, les dimensions obtenues avec Alizé sont d'autant plus économiques sans être démesurées.

Nous remarquons aisément que le CEBTP est dans la sécurité mais cela occasionne un sur dimensionnement. Avec Alizé nous savons exactement comment et où jouer pour obtenir des résultats tenant compte des nombreux aspects de dimensionnement.

Les dimensions retenues sont celles obtenues avec Alizé. Cependant, la vérification des valeurs de contraintes admissibles étant limite, une marge est ajoutée à la couche de base pour des raisons de sécurité.

Ainsi, la structure retenue est la suivante dans le tableau 23 :

Tableau 23: Dimensions retenues

Structure		
Couche	Matériaux	Epaisseur(cm)
Fondation	Graveleux latéritique	20
Base	Graveleux latéritique améliorés au ciment	20
Revêtement	Béton bitumineux sémi grénu	5

La construction de cet ouvrage est spéciale dans un sens ou elle fait intervenir un élargissement de la voie existante et une mise en œuvre de couche de base en latérite améliorée au ciment. Il est alors important de se pencher sur la méthode de mise en œuvre en **Annexe 3 : Techniques de mise en œuvre**

Le détail du dimensionnement avec le logiciel Alizé en **Annexe 2 : Dimensionnement avec Alizé-LCPC**

III.5. Comparaison des méthodes de dimensionnement

III.5.1. Méthode CEBTP et Alizé

Les deux méthodes de dimensionnement donnent des dimensions justes et vérifiées. Néanmoins, les dimensions obtenues avec Alizé sont d'autant plus économiques sans être démesurées.

On remarque aisément que le CEBTP est dans la sécurité mais cela occasionne un surdimensionnement. Avec Alizé le manipulateur sait exactement comment et où jouer pour obtenir des résultats tenant compte des nombreux aspects de dimensionnement.

Cette méthode de CEBTP est d'autant plus agressive et couteuse à la vue de la différence extrême au niveau de la couche de roulement car le béton bitumineux est un matériau très couteux. Et une différence de 0,2 cm entraîne des couts énormes.

Alors, il ressort que le dimensionnement par la méthode rationnelle avec le logiciel Alizé est le plus adapté. Néanmoins, quand il arrive que l'ingénieur se retrouve dans un environnement ou il

n'a pas accès à cette technologie et qu'il doit faire des dimensionnements ou vérifications, la méthode semi-empirique fonctionne très bien. Le tableau 35 pour le comparatif.

Tableau 24: Comparaison des dimensions CEBTP et Alizé

Structure CEBTP			Structure Alizé		
Couche	Matériaux	Epaisseur(cm)	Couche	Matériaux	Epaisseur(cm)
Fondation	Graveleux latéritique	20	Fondation	Graveleux latéritique	20
Base	Graveleux latéritique améliorés au ciment	20	Base	Graveleux latéritique améliorés au ciment	18
Revêtement	Béton bitumineux sémi grénu	7	Revêtement	Béton bitumineux sémi grénu	5

III.5.2. Dimensions de l'entreprise et dimensions obtenues

L'entreprise à effectuer ses calculs sur les mêmes données et sur les mêmes bases que nous. En ce sens que les matériaux à disposition pour cette étude ainsi que d'autres données comme le trafic sont les mêmes que pour l'entreprise. Cependant bien qu'ayant des résultats proches, les dimensions de l'entreprise sont différentes de celle issues du dimensionnement de ce travail. Néanmoins, leurs dimensions ne sont pas différentes des dimensions retenues de l'étude puisque leurs dimensions sont identiques a celles obtenues par la méthode CEBTP à la différence de l'épaisseur de la couche de roulement qui fait 5 cm identique l'épaisseur de la couche de roulement obtenue avec Alizé.

Ainsi, de cette étude comme de l'entreprise, les dimensions d'exécutions sont pareilles. Il convient alors de cela comme une référence de comparaison qui s'identifie à notre résultat. Le comparatif au tableau 25 qui suit.

Tableau 25: Comparaison des dimensions retenues et celles de l'entreprise

Structure retenue			Structure entreprise		
Couche	Matériaux	Epaisseur(cm)	Couche	Matériaux	Epaisseur(cm)
Fondation	Graveleux latéritique	20	Fondation	Graveleux latéritique	20
Base	Graveleux latéritique améliorés au ciment	20	Base	Graveleux latéritique améliorés au ciment	20
Revêtement	Béton bitumineux sémi grénu	5	Revêtement	Béton bitumineux sémi grénu	5

III.6. Assainissement

III.6.1. Etude hydrologique

L'étude hydrologique permet l'étude de la pluviométrie et la détermination des caractéristiques des bassins versants. Pour déterminer par la suite les paramètres hydrauliques des ouvrages d'assainissement.

III.6.1.1. Détermination du bassin versant et de ses caractéristiques

Cette phase de l'étude est réalisée à l'aide de deux logiciels qui sont complémentaires.

Avec Google Earth, la voie est identifiée et tracée via les données qu'il renferme car étant un logiciel, propriété de la société Google, permettant une visualisation de la Terre avec un assemblage de photographies aériennes ou satellitaires.

Après quoi le fichier est transféré dans Global Mapper, un outil d'analyse et de traitement de données SIG, pour délimitation du bassin versant et détermination des caractéristiques.

❖ Tracé de la RDV 3 par Google Earth

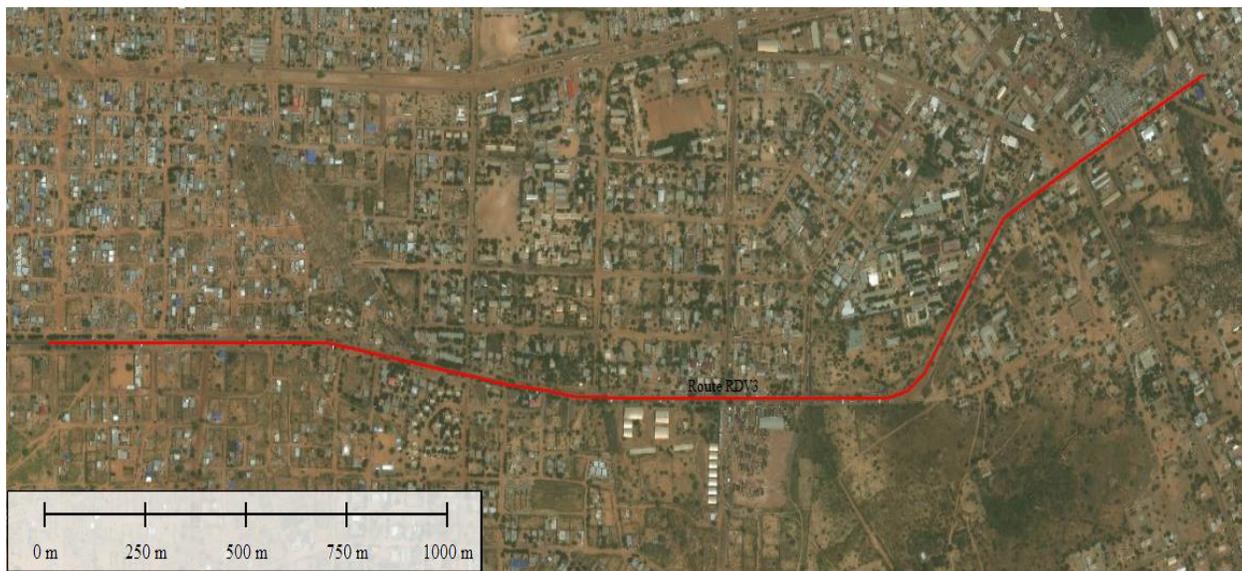


Figure 6 : Tracé de la RDV 3

Le fichier est par la suite transféré dans le logiciel Global Mapper pour traitement supplémentaire.

❖ Délimitation des courbes de niveau

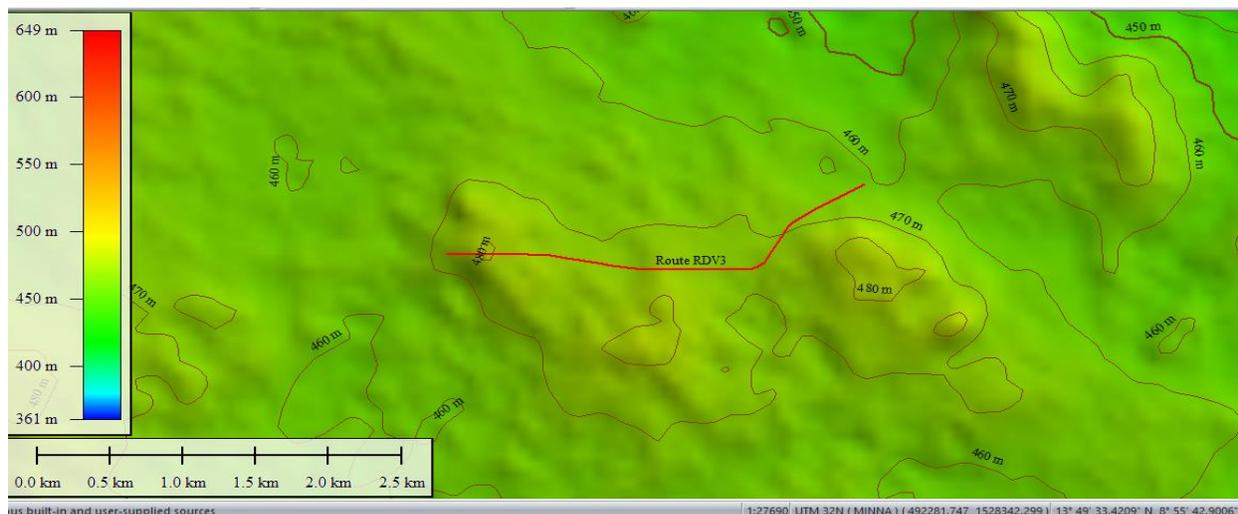


Figure 7 : Courbes de niveau

Sont ensuite tracées les lignes d'écoulement des eaux de ruissellement

❖ Tracé des lignes d'écoulement

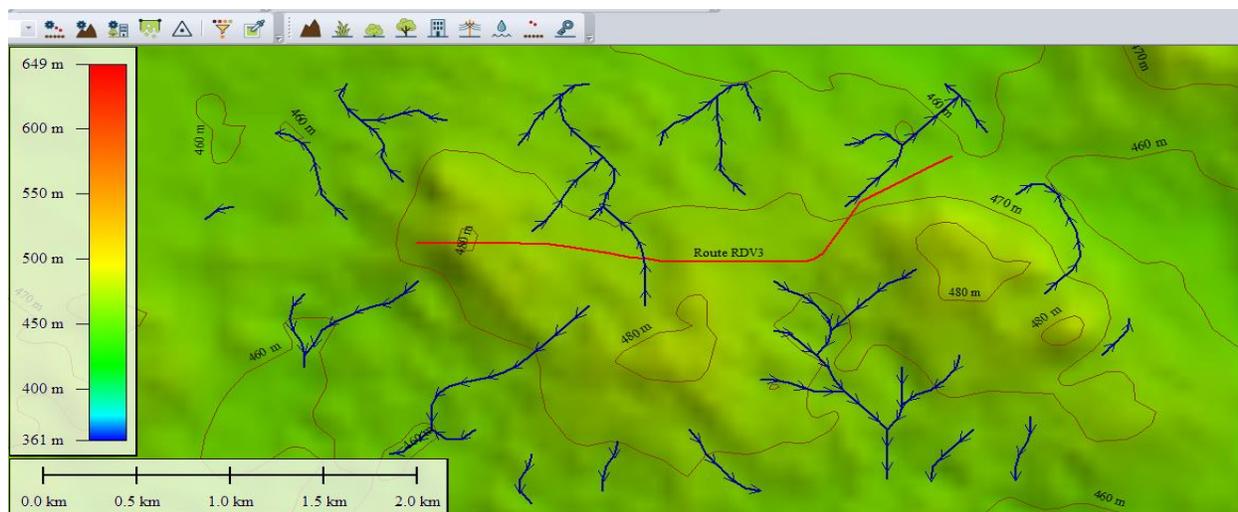


Figure 8 : Ligne d'écoulement des eaux

Les lignes d'écoulement venant traversé le tracé de la route permet de délimiter les bassins versants contribuant au débit de celui-ci.

❖ Délimitation des bassins versants

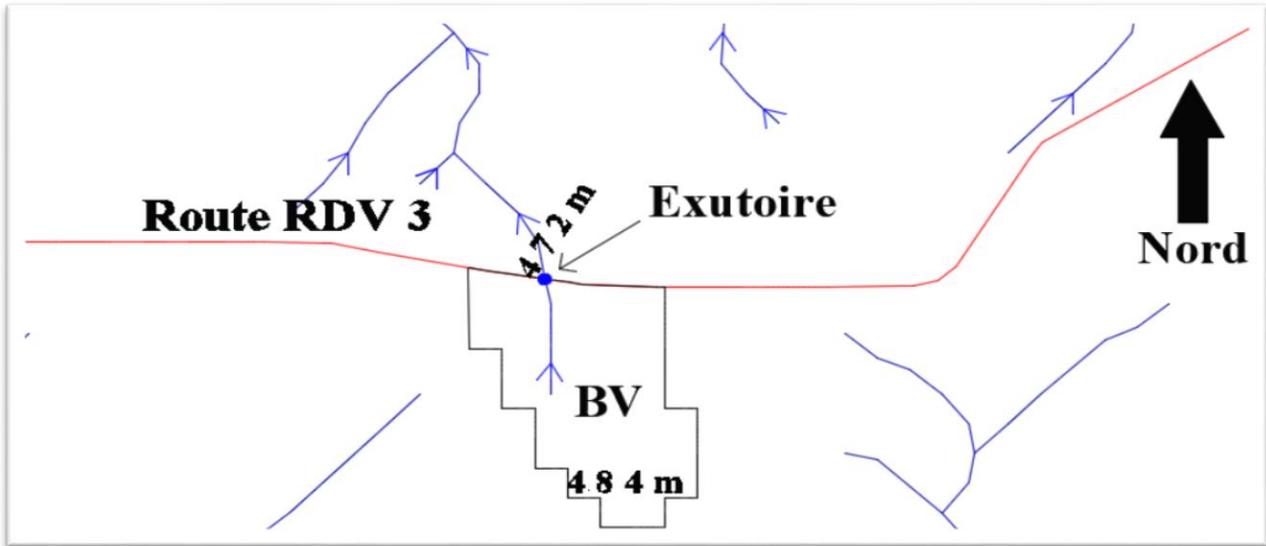


Figure 9 : Délimitation des bassins versants

Les caractéristiques du bassin versant concerné sont obtenues de par le logiciel et importées en fichier Excel. Les données sont présentées dans le tableau 26 suivant :

Tableau 26: Caractéristiques du bassin versant

Bassin versant	Surface (Km ²)	Périmètre (Km)	Pente (%)	Elévation MAX (m)	Elévation MN (m)	L écoulement
BV	0.2333	2.348	1.21	484	472	292,89

III.6.1.2. Analyse fréquentielle

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction qui consiste à étudier les évènements passés pour ensuite déduire les probabilités d'apparition future. Il faut alors faire la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel qui décrit le comportement statistique du processus. Les données pluviométriques étant en pluies journalières, la méthode utilisée est régie par la Loi de GUMBEL détaillée dans le document « HYDROLOGIE ».

❖ Caractéristiques de l'échantillon

La moyenne, l'écart type et le coefficient de variance sont les caractéristiques de l'échantillon à déterminer. Les résultats obtenus sont les suivants :

Moyenne	51.4
Ecart-type	14.3
Coefficient de variation	0.279

❖ Paramètres de la loi

Il faut ensuite procéder au classement des données de façon croissante afin de déterminer les fréquences expérimentales, la variable réduite et les paramètres de la loi. Le tableau suivant contient les valeurs des paramètres de la loi, les valeurs minimales et maximales des pluies.

1/a	11.17
Xo	44.97
Min	26.3
Max	78.7

III.6.1.3. Débit de ruissellement

Les méthodes utilisées sont la méthode rationnelle et celle d'ORSTOM (voir en annexe 4 **Méthode rationnelle** et **Méthode ORSTOM**) pour calculer le débit et en choisir le plus défavorable soit le plus grand. Le tableau 27 qui suit donne le récapitulatif.

Tableau 27: Débit de ruissellement

Bassin versant	Superficie (km²)	Méthode rationnelle (m³/s)	Méthode ORSTOM (m³/s)	Débit retenu (m³/s)
BV	0,2333	2,86	0,58	2,86

III.6.2. Etude hydraulique

Cette étude permettra de structurer et de dimensionner l'ouvrage adéquat pour faire évacuer le débit obtenu de l'étude hydrologique pour ainsi protéger la route de cette traversé d'eau.

III.6.2.1. Type de dalots

Les dalots des ouvrages en béton armé. Ils présentent une section rectangulaire ou carrée. Selon la conception, il existe trois formes de dalot selon le manuel « HYDRAULIQUE ROUTIÈRE PARTIE 2 » :

- Dalots ordinaires constitués de piédroits fondés sur semelle ou radier générale et sur lesquels repose une dalle en béton
- Dalots cadres dans lesquels la dalle les piédroits et les radiers constituent une structure rigide en béton armée (pond cadre)
- Dalots portiques analogues aux dalots cadres mais sans radier (piédroits fondés sur semelle)

Le type de dalot choisit est le dalot cadre qui est une structure monolithe, en ce sens que les traverses et les piédroits forment un tout, d'où leur simplicité et robustesse tout à fait avantageuses. La condition de fonctionnement du niveau amont est $\frac{H_1}{D} \leq 1,25$ pour une sortie dénoyée en écoulement à surface libre, avec D la hauteur du dalot.

III.6.2.2. Dimensions hydrauliques

Cette étude permet de structurer et de dimensionner l'ouvrage adéquat pour faire évacuer le débit obtenu de l'étude hydrologique pour ainsi protéger la route de cette traversé d'eau.

D'après le document « Etudes techniques détaillées des travaux de réhabilitation de la route Balleyara-Filingué (Niger) : tronçon du PK 45+000 AU PK 55+000 », on choisit une première valeur de la hauteur D admissible pour l'ouvrage. Après, on choisit la valeur de la largeur B de sorte à ne pas dépasser la valeur de la vitesse maximale $V=3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ de formule $V = \frac{Q}{BD}$

Les valeurs B, D et Q étant connues, on calcul ainsi $Q * = \frac{Q}{BD\sqrt{2gD}}$. A l'aide de l'abaque, on a alors

$H1 * = \frac{H_1}{D}$ dont on vérifiera la compatibilité avec le projet.

Hypothèses : la hauteur D = 1 m et la largeur B = 2 m

Les vérifications suivantes sont alors effectuées :

- ✓ $H_1 = 0,89 \text{ m} < D = 1 \text{ m}$
- ✓ $V = 2,94 \text{ m/s} < 3,5 \text{ m/s}$

Ainsi les dimensions hydrauliques du dalot obtenues après vérification de la vitesse d'écoulement sont : 1x2x1m

III.6.2.3. Dimensionnement structural

Le dimensionnement consistera au calcul des armatures du cadre. Cela passe par la détermination des sollicitations.

❖ Hypothèses de calcul

Les valeurs des sollicitations M (moment) et N (effort normal) seront déterminés sur la base d'un calcul en cadre fermé à partir des formules de **KLEINLOGEL** de l'ouvrage « Etude Technique Détaillée et d'Aménagement de la Suite de la Voie BK17 de la Branche du Canal GOUNTE-YENA »

Les structures routières seront définies conformément aux prescriptions du titre du fascicule 61 titre 2 du cahier de prescription communes (CPC).

Les armatures seront calculées suivant les règles de conception et de calcul des ouvrages par la méthode BAEL 91 modifié 99.

Les calculs seront effectués par bande de 1.00 m linéaire.

➤ Acier :

- Nuance : Acier à haute adhérence Fe 400
- Limite d'élasticité garantie Fe = 400 MPa
- Contrainte de calcul de l'acier à l'ELU $\sigma_s = \frac{F_e}{1.15} = \frac{400}{1.15} = 348 \text{ MPa}$
- Contrainte de calcul de l'acier à l'ELS $\bar{\sigma}_s = \min \left\{ \frac{2}{3} f_e; \max(0.5 f_e; 110 \sqrt{1.6 \times f_{c28}}) \right\} = 200 \text{ MPa}$
- Enrobage = 3 cm.

➤ Béton :

- Poids volumique : 25 kN/m³
- Fissuration préjudiciable pour notre dalot triple ouvertures.
- Résistance nominale à 28j :
 - A la compression $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$
 - A la traction $f_{tj} = 0.6 + 0.06 f_{c28}$

- Contrainte limite du béton : $\bar{\sigma}_{bc} = 0.6f_{c28} = 0.6 \times 25 = 15 \text{ MPa}$

➤ Remblai :

- Vu la présence de remblai sur le tablier, on prend comme densité de terre 20 kN/m^3
- Le coefficient de poussée des terres sera $K_a = 0.33$

Dalot 1x2x1 avec une épaisseur $e = 20 \text{ cm}$

Le schéma statique dans la figure 11 suivante.

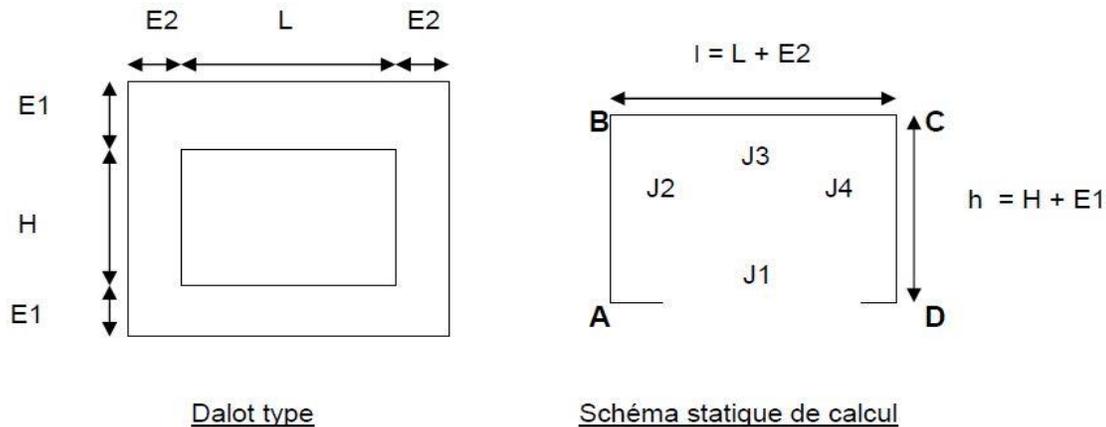


Figure 10 : Schéma statique de calcul du cadre simple

❖ Définition des actions

Les actions à évaluer sont les charges permanentes de la structure et les actions variables qu'elle va subir.

➤ Charges permanentes

Poids propre du tablier $P = 25 * e * 1 = 25 * 0.2 * 1.00 = 5 \text{ kN/m}$:

Remblai sur dalot, $e = 0.2 \text{ m}$ d'où $P = 20 * e * 1.00 = 20 * 0.2 = 4 \text{ kN/m}$

Couche de roulement $e = 0.05$; $P = 24 * e * 1.00 = 24 * 0.05 = 1,2 \text{ kN/m}$

Trottoirs $P = 0,3 * 22 = 6,6 \text{ kN/m}$

On a $P_1 = \sum Pi = 5 + 4 + 1,2 + 6,6 = 16,8 \text{ kN/ml}$

➤ Charges variables

Elles sont définies par le fascicule 61 titre 2 du CPC. Cependant nous nous intéresserons dans notre cas uniquement aux charges routières normales. Elles regroupent l'ensemble des systèmes de chargements routiers définies par le Fascicule 61 titre 2 du CPC et sont constituées du :

- Système A

- Système B comprenant les charges de type Bc, Bt, Br

Il nous faudra déterminer certaines notions présentées dans le tableau 28 suivant :

Tableau 28 : Classification selon le Fascicule 61 titre 2 du CPC

Désignation	Caractéristiques
Classe de pont	Pont de 1ère Classe
Nombre de Voie Nv	2 voies
Largeur Roulable Lr	7 m
Largeur Chargeable Lch	7 m

Nous nous intéresserons qu'au système B, le système A n'est pas envisagé pour les dalots de longueur inférieur à 10 m.

➤ Système B

Le système B comprend trois (3) sous-systèmes :

- Le système Bc composé de camions types
- Le système Br composé d'une roue isolée
- Le système Bt composé de groupes de deux (2) essieux.

Dans la suite, il sera présenté une description de chaque type de système avant de passer aux différents calculs.

✓ Le système Bc

Le sous-système Bc se compose de camions de poids individuel égal à 300 kN. On dispose autant de files de deux camions au maximum que de voies de circulation, il est affecté un coefficient de pondération bc (dégressivité transversale).

Le sous-système Bc est représenté sur les figures 12 et 13 ci-dessous :

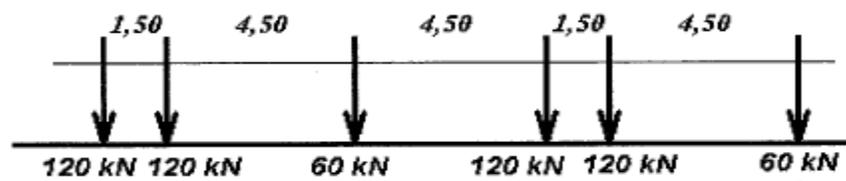


Figure 11 : Disposition de deux camions dans le sens longitudinal (Système Bc)

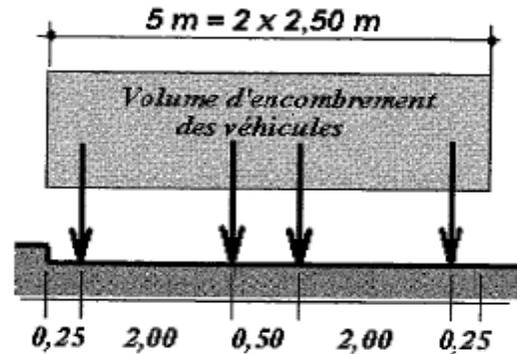


Figure 12 : Disposition de deux camions dans le sens transversal (Sous-système Bc)

Dans le cas du présent projet, le pont est de première classe avec deux files donc le coefficient bc est respectivement égal à 1.20 pour une file et 1.10 pour deux (2) files. On a deux camions transversalement et deux files de deux essieux de 120 kN.

La charge engendrée par le sous-système Bc :

$$S = 2 \times 120 \times 2 \times 1.1 = 264 \times 2 = 528 \text{ kN}$$

✓ Le système Bt

Le sous-système Bt se compose de deux tandems à deux essieux de quatre roues chacun, le poids de chaque essieu étant de 160 KN :

- Il ne s'applique qu'aux ponts de première et deuxième classe ;
- Le nombre de camions est limité à deux dans le sens transversal ;
- Il est affecté d'un coefficient de pondération bt égal à 1 pour les ponts de première classe et 0.90 pour ceux de deuxième classe.

La figure 15 qui suit présente la disposition dudit système :

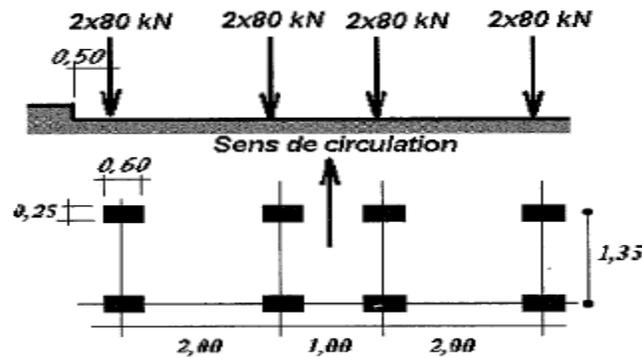


Figure 13 : Disposition sous - système Bt

Le dalot soumis à cette étude étant de 1ère classe, le coefficient b_t est alors égal à $b_t = 1$.

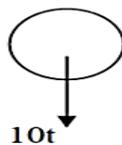
Le poids total maximal S des essieux du système Bt est alors égal à :

$$S = S_1 \times b_t = 2 \times 160 \times 2 \times 1 = 640 \text{ kN}$$

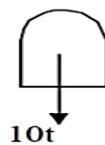
✓ Le système Br

Le sous-système Br se compose d'une roue isolée transmettant un effort de 100 kN à travers une surface d'impact rectangulaire de 0.60×0.30 m (la dimension 0.60 perpendiculaire à l'axe de déplacements des véhicules, représente la surface au sol de roues jumelées), il est représenté par la figure 16 qui suit :

Longitudinalement



Transversalement



En plan

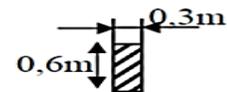


Figure 14 : Configuration sous - système Br

Le système Br se calcul comme suit :

Deux voies chargées : $\rightarrow B_r = 10t = 100 \text{ kN}$

$$S = \max\{S_{BC}; S_{BT}; S_{Br}\} = \max\{528; 640; 100\} = 640 \text{ kN}$$

Pour la suite est pris la valeur de la surcharge B_t comme surcharge routière $q_L = 640 \text{ kN}$.

Calcul de la charge répartie : $q_1 = \frac{640 \times 1}{2.2 \times 5} = 58.18 \text{ kN/m}^2$

Coefficient de majoration dynamique :

$$\delta = 1 + \frac{0.40}{1+0.2L} + \frac{0.60}{1+4\frac{G}{S}} \quad \text{Avec :}$$

- L : longueur de la travée étudiée, $L = 2 \text{ m}$
- G : Poids total de ladite travée, $G = P_1 \times L = 16,8 \times 2 = 33,6 \text{ kN}$
- S : Poids total maximal des essieux du Système Bt, $S = S = 58,18 \times 2 = 116,36 \text{ kN}$

$$\delta = 1 + \frac{0.40}{1+(0.2 \times 2)} + \frac{0.60}{1+4 \times \frac{33.6}{116.36}} \cong 1,56$$

D'où une surcharge uniformément répartie :

$$q = q_1 \times \delta = 58.18 \times 1.56 = 91,02 \text{ kN/ml}$$

❖ Détermination des efforts et sollicitations

➤ Détermination des moments hyperstatiques:

$$M_A = - \frac{P_1 l^2 (k_1 K_1 - k_2)}{4F_1}$$

$$M_B = - \frac{P_1 l^2 (K_2 - k_1 k_2)}{4F_1}$$

➤ Détermination des efforts normaux

$$N_1 = \frac{M_B - M_A}{h} + \frac{M_D - M_A}{l} = 0$$

$$N_3 = \frac{M_C - M_B}{l} + \frac{M_A - M_B}{h} = 0$$

$$N_2 = \frac{P_1 l}{2} + \frac{M_A - M_B}{h} + \frac{M_C - M_B}{l}$$

$$N_{2b} = \frac{P_1 l}{2} + \frac{M_B - M_C}{l} + \frac{M_D - M_C}{h}$$

➤ Détermination des moments à mi- portée

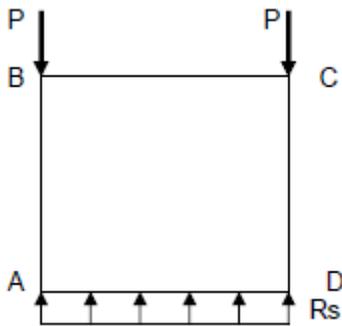
$$M_{BC\text{-tablier}} = \frac{P_1 l^2}{8} + \frac{M_B + M_C}{2}$$

$$M_{AD\text{-radier}} = \frac{P_1 l^2}{8} + \frac{M_A + M_D}{2}$$

$$M_{AB\text{-piedroit gauche}} = \frac{M_A + M_B}{2}$$

$$M_{CD\text{-piedroit droite}} = \frac{M_C + M_D}{2}$$

Sous l'action du poids des piédroits



$$P = 25 * e * h = 25 * 0,2 * 1,2 = 6 \text{ kN}$$

$$R_s = \frac{2P}{l}$$

➤ Détermination des moments hyperstatiques

$$M_A = -\frac{P l k_1 K_1}{2 F_1}$$

$$M_B = \frac{P l k_1 k_2}{2 F_1}$$

➤ Détermination des efforts normaux

$$N_1 = -N_3 = \frac{3 P l k_1 (1 + k_2)}{2 h F_1}$$

$$N_2 = N_{2b} = P$$

➤ Détermination des moments à mi- portée

$$M_{BC\text{-tablier}} = \frac{M_B + M_C}{2}$$

$$M_{AD-radier} = \frac{R_S l^2}{8} + \frac{M_A + M_D}{2}$$

$$M_{AB-piedroit gauche} = \frac{M_A + M_B}{2}$$

$$M_{AB-piedroit droite} = \frac{M_C + M_D}{2}$$

Sous l'action de la poussée des terres

$$\sigma_1 = k\gamma z_1 \text{ et } \sigma_2 = k\gamma z_2$$

$$\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1 = 7,92 \text{ kN/m}^2$$

➤ Détermination des moments hyperstatiques

$$M_A = -\frac{k_2(k_2 + 3) \sigma_1 h^2}{4F_1} - \frac{k_2(3k_2 + 8)\Delta\sigma h^2}{20F_1}$$

$$M_B = -\frac{k_2(3k_1 + k_2) \sigma_1 h^2}{4F_1} - \frac{k_2(7k_2 + 2k_2)\Delta\sigma h^2}{20F_1}$$

➤ Détermination des moments à mi- portée

$$M_{BC-tablier} = \frac{M_B + M_C}{2}$$

$$M_{AD-radier} = \frac{M_A + M_D}{2}$$

$$M_{AB-piedroit gauche} = M_{CD-piedroit droite} = \frac{\sigma_1 h^2}{8} + \frac{\Delta\sigma h^2}{8} + \frac{M_A + M_B}{2}$$

➤ Détermination des efforts normaux

$$N_1 = \frac{(\sigma_1 + 2\sigma_2) h}{6} + \frac{M_B - M_A}{h} + \frac{M_D - M_A}{l}$$

$$N_3 = \frac{(2\sigma_1 + \sigma_2) h}{6} + \frac{M_C - M_B}{l} + \frac{M_A - M_B}{h}$$

$$N_2 = N_{2b} = 0$$

Sous l'action du convoi de camions

➤ Détermination des moments hyperstatiques

$$M_A = -\frac{q l^2(k_1 K_1 - k_2)}{4F_1}$$

$$M_B = -\frac{q l^2(K_2 - k_1 k_2)}{4F_1}$$

- Détermination des moments à mi- portée

$$M_{BC\text{-tablier}} = \frac{ql^2}{8} + \frac{M_B + M_C}{2}$$

$$M_{AD\text{-radier}} = \frac{ql^2}{8} + \frac{M_A + M_D}{2}$$

$$M_{AB\text{-piedroit}} = \frac{M_A + M_B}{2}$$

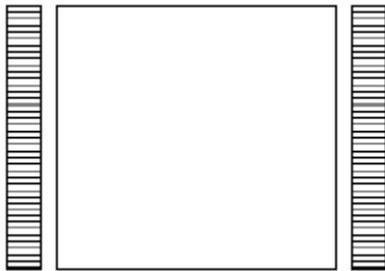
- Détermination des efforts normaux

$$N_1 = N_3 = 0$$

$$N_2 = N_{2b} = \frac{q l}{2}$$

Sous l'action de la surcharge routière de remblai

$$q = 10 \text{ kN/m}^2$$



$$\sigma = k q = 0.33 * 10 = 3,3 \text{ kN/m}^2$$

$$R = \sigma h = 3.3 * 1.2 = 4 \text{ KN/m}$$

- Détermination des moments hyperstatiques

$$M_A = M_D = M_C = M_B = - \frac{k_2(k_2 + 3)\sigma h^2}{4F_1}$$

- Détermination des moments à mi- portée

$$M_{AB\text{-piedroit}} = \frac{\sigma h^2}{8} + \frac{M_A + M_B}{2}$$

$$M_{AD\text{-radier}} = M_{BC\text{-tablier}} = \frac{M_A + M_D}{2}$$

- Détermination des efforts normaux

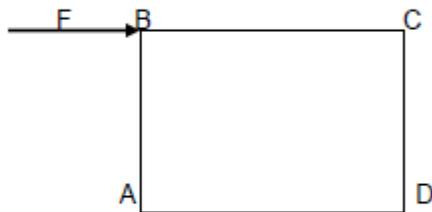
$$N_1 = \frac{\sigma h}{3}$$

$$N_3 = \frac{\sigma h}{2}$$

$$N_2 = N_{2b} = 0$$

Sous l'action de la force de freinage

Nous avons 2 essieux de 130 kN chacun placé côte à côte



$$F = 260/5.00 = 52 \text{ kN/ml}$$

➤ Détermination des moments hyperstatiques

$$M_A = \pm \frac{F h K_3}{2 F_2}$$

$$M_B = \pm \frac{F h K_4}{2 F_2}$$

➤ Détermination des moments à mi-travée

$$M_{BC} = M_{AD} = 0$$

$$M_{AB} = -\frac{M_A + M_B}{2}$$

➤ Détermination des efforts normaux

$$N_1 = \pm \frac{F}{2}$$

$$N_3 = -N_1$$

$$N_{2b} = \pm \frac{F h K_4}{l F_2}$$

Le récapitulatif des efforts et sollicitations est donné dans le tableau suivant :

		M_A	M_{AB}	M_B	M_{BC}	M_C	M_{CD}	M_D	M_{DA}	N₁	N₂	N_{2b}	N₃
	1	-4,39	-4,39	-4,39	-1,366	-4,39	-4,39	-4,39	-1,366	0	10,08	10,08	0
	2	1,64	0,93	0,219	0,219	0,219	0,93	1,64	2,623	1,55	6,00	6,00	-1,55
	3	-0,35	1,87	-0,179	-0,179	-0,179	1,87	-0,35	-0,35	5,69	0,00	0,00	5,69
	4	-15,19	-15,19	-15,19	20	-15,19	-15,19	-15,19	20	0,00	64	64	0,00
	5	-0,14	0,45	-0,14	-0,14	-0,14	0,45	-0,14	-0,14	1,32	0,00	0,00	1,98
	6	22,5	-19,64	16,78	0,00	16,78	-19,64	22,5	0,00	26,00	15,26	15,26	26,00
Charges permanentes	1+2+3	-3,1	-1,59	-4,35	1,326	-4,35	-1,59	-3,1	0,91	7,24	16,08	16,08	4,14
Charges variables	4+5+6	7,17	-34,38	1,45	19,86	1,45	-34,38	7,17	19,86	27,32	79,26	79,26	27,98

Ainsi les calculs bétons armés de dimensionnement ont donné les armatures suivantes répertoriées dans le tableau 29 ci-après :

Tableau 29: Armatures du dalot

Sollicitations considérées		Valeurs	Aciers principaux		Acier de répartition		
			Théorique (cm ²)	Choix	Théorique (cm ²)	Choix	
Tablier	Moment fléchissant	Travée	33,57	8,42	8HA12 St = 10 cm	2,17	4HA10 St = 20 cm
		Appuis	8,19	2,17	4HA10 St = 10 cm	2,17	4HA10 St = 20 cm
Radier	Moment fléchissant	Travée	33	8,28	8HA12 St = 10 cm	2,17	4HA10 St = 20 cm
		Appuis	15,67	3,92	4HA12 St = 20 cm	2,17	4HA10 St = 20 cm
Piédroits	Moment fléchissant	57,15	14,34	8HA16 St = 20 cm	3,59	4HA12 St = 20 cm	
	Effort normal	148,52					

RECAPITULATIF DES ACIERS

N°	Barres	Nombres	St
①	HA10	4/ml	20 cm
②	HA12	8/ml	10 cm
③	HA12	8/ml	10 cm
④	HA10	4/ml	20 cm
⑤	HA16	8/ml	20 cm
⑥	HA12	4/ml	20 cm
⑦	HA12	8/ml	10 cm
⑧	HA10	4/ml	20 cm
⑨	HA10	4/ml	20 cm

Figure 15: Récapitulatif des aciers

PLAN DE FERRAILLAGE

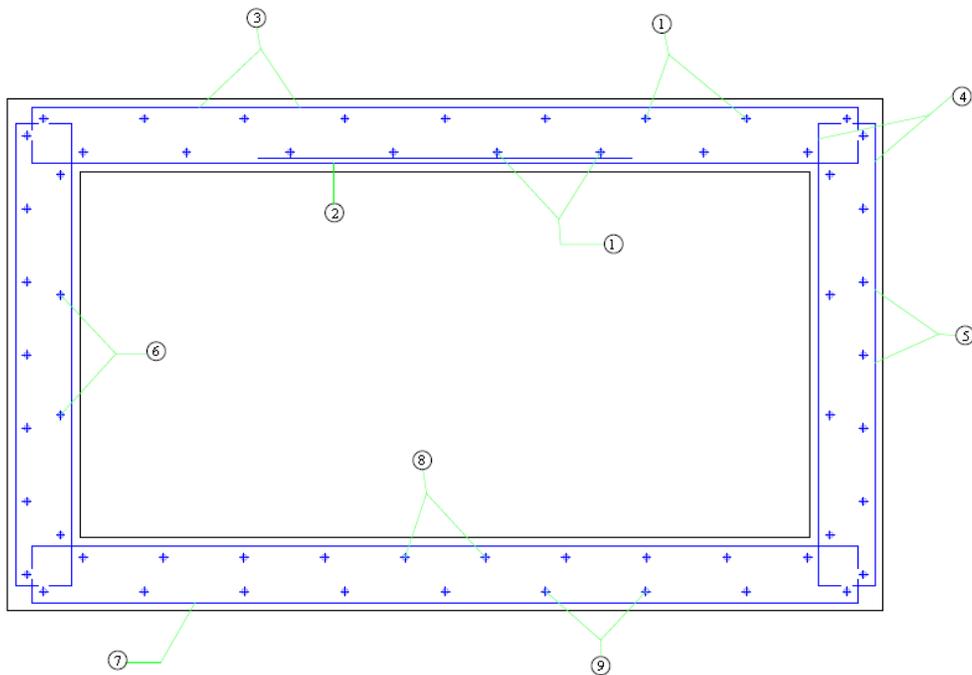


Figure 16: Plan de ferrailage

En Annexe 5 : **Etude hydrologique**, les calculs effectués plus haut y sont plus détaillés.
A ces ouvrages, il faut ajouter d'autres équipements qui rentrent dans le fonctionnement de la
chaussée. Ces équipements sont présentés en Annexe 1 : **Equipements connexes**.

CHAPITRE IV :

ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL

L'étude d'impact environnemental et social est basée en tout point conformément aux textes en vigueur au Niger relatifs aux procédures d'évaluation de l'impact environnemental des projets. Elle consiste d'abord à la réalisation de l'étude d'impact des différentes composantes du projet sur l'environnement, aussi bien pendant qu'à l'issue de l'exécution des travaux en s'appuyant particulièrement sur les aspects suivants :

- Les sources d'impact (éléments du projet qui ont un impact sur l'environnement, que ce soit au cours des travaux ou pendant l'exploitation de l'ouvrage)
- Les récepteurs d'impact (éléments de la faune terrestre et aérienne, de la flore, des milieux aquatiques et aériens, du cadre de vie et des activités des populations urbaines et villageoises)
- Les impacts les plus importants, positifs ou négatifs, directs ou indirects, à moyen et long terme. Il a été déterminé les impacts inévitables ou irréversibles et ceux qui peuvent être réduits
- Les éventuelles mesures à prendre pour réduire ou éliminer les impacts négatifs du projet sur l'environnement

Autrement dit, la réalisation d'une route engendre un certain nombre d'effets, directs ou indirects, temporaires ou permanents sur les milieux récepteurs. Ces effets se traduisent ou non par des modifications de l'environnement allant de simples perturbations à des modifications profondes.

IV.1. Identification des impacts positifs

Le projet présente l'avantage d'offrir les caractéristiques de confort, de rapidité et de sécurité nécessaires au trafic routier national tout en contribuant à l'amélioration des conditions de transport au Niger :

- Le projet augmentera la fluidité de la circulation
- L'embauche de personnel temporaire lors des travaux de construction procurera un appoint temporaire de revenus aux locaux

- La présence de l'infrastructure pourra favoriser l'implantation de nouvelles activités génératrices d'emplois
- L'esthétique du paysage s'en trouvera amélioré avec le rétablissement du couvert végétal et l'aménagement des trottoirs
- La facilitation des évacuations sanitaires

IV.2. Identification, analyse des impacts et mesures environnementales préconisées

Cette partie traitera des impacts négatifs selon des moments bien déterminés des travaux et seront résumés dans les tableaux 30, 31 et 32 avec les mesures environnementales préconisées.

Tableau 30: Etude environnementale, installation de chantier et atelier de maintenance

ACTIVITES		RISQUE ENVIRONNEMENTAL	MESURES
INSTALLATIONS DU CHANTIER	Production de déchets	Production de déchets à risque environnemental variable (déchets équivalents aux ordures ménagères, déchets dangereux...)	Déploiement de la procédure de gestion des déchets spécifiques au projet Information/ formation de l'ensemble du personnel sur le sujet lors des 1/4 h
	Stockage des produits dangereux (huiles neuves)	Risque de pollution des milieux environnants par déversement, épandements accidentels des produits dangereux	Produits stockés sur plateforme ou dans un container
			Zone de stockage clôturée Formation/ information du personnel concerné à l'usage et au stockage de ces produits
	Prélèvements d'eau	Atteinte à la ressource Consommation d'eau pour les besoins humains présentant un risque sanitaire	Sensibilisation de l'ensemble du personnel au respect de la ressource en eau (limitation des consommations au strict nécessaire...) (lors des 1/4 sécurités environnement hebdomadaires)
			Site distant au moins de 300m d'un village, d'une zone humide, d'un site culturel et d'un cimetière et de 500m d'une source d'eau
Rejets d'eaux usées	Risque d'atteinte aux milieux environnants (Ex. : sols, eaux souterraines...) par rejet d'eaux chargées en éléments polluants Risque sanitaire pour les populations avoisinantes	Gestion des eaux usées via (05) fosses septiques pour le traitement des eaux usées avant leur évacuation dans (05) puisards Drain filtrant si nécessaire, Mise en place d'un séparateur, hydrocarbure pour épurer les eaux avant rejet en fin du circuit, d'assainissement de la base technique	
Atelier mécanique		Infiltration de produits polluants dans les sols	Atelier sur dalle béton, couvert, d'une charpente métallique pour réduire les risques de ruissellement des eaux pluviales.
Aire de lavage des engins	Gestion des eaux	Risque d'atteinte aux milieux environnants (Ex : sols, eaux...) par rejet d'eaux chargées en éléments polluants Risque sanitaire pour les populations avoisinantes	Aire bétonnée raccordée à un bac décanteur/ déshuileur - rejet des eaux ainsi traitées par diffusion au milieu naturel
			Contrôle visuel et entretien réguliers du décanteur et du séparateur hydrocarbure
			Aire conçue de façon à éviter le ruissellement des eaux en dehors de la plateforme bétonnée

Tableau 31: Etude environnementale, ravitaillement en matériaux et matériels, voies d'accès

ACTIVITES	RISQUE ENVIRONNEMENTAL	MESURES
Ravitaillement des engins et matériels de chantier (gestion des incidents liés au ravitaillement)	Déversement d'hydrocarbures lors des ravitaillements	Sensibilisation et formation au moyen de ¼ d'heure environnement du personnel chargé du ravitaillement sur le déversement des hydrocarbures lors des ravitaillements Kits et astuces d'intervention d'urgence à disposition du personnel chargé du ravitaillement des engins pour circonscrire tout déversement accidentel lors des ravitaillements De façon plus large, formation/ information de l'ensemble du personnel sur la conduite à tenir en cas d'urgence (procédure écrite disponible sur site)
Identification des réseaux souterrains	Mauvaise identification des réseaux Détérioration des réseaux existants avec risque d'arrêt du service de distribution	Prise de contact avec les différents concessionnaires (Nigelec,)
		Repérage/ balisage des réseaux
		Définition et diffusion de la conduite à tenir en cas d'incident
Voies d'accès au chantier	Nuisances concernant la circulation sur voie publique Risque d'accidents de la circulation	Entretien en cas de besoin des voies d'accès
		Signalisation et affichages adaptés
		Information du personnel concerné sur les consignes de sécurité à respecter
Accès aux habitations riveraines	Risques d'atteinte aux possibilités d'accès par les piétons, et véhicules aux habitations et commerces riverains	Mise en œuvre, après accord du Maître d'œuvre, des dispositions de sécurité nécessaires (signalisation...)
		Sensibilisation des riverains sur les conséquences que pourraient comporter les travaux, notamment la poussière, la fumée ou le bruit ; ainsi que sur les mesures d'atténuation éventuelles.
Débroussaillage/ abattage (production de déchets verts)	Détérioration de la ressource naturelle	Choix judicieux des tracés des pistes et déviations provisoires de manière à minimiser le déboisement ;

Tableau 32: Etude environnementale exécution des travaux

ACTIVITES		RISQUE ENVIRONNEMENTAL	MESURES
Déblais et purges	Stockage des déblais non utilisables	Zone de stockage inadaptée	Evacuation des déchets vers un lieu de dépôt indiqué par la ville et agréé par la Mission de Contrôle, en dehors de toute zone présentant un intérêt faunistique/ floristique particulier
			Régalage des matériaux récupérés
	Gestion des eaux	Rejet au milieu environnant d'eaux chargées de matières en suspension	Assainissement des plates-formes en déblai
Remblais	Emprunts	Risque d'apports supplémentaires en eau	Choix des emprunts, tant que possible, dans les zones les moins sensibles aux écoulements
			En cas de risque d'érosion, des dispositions antiérosives seront prises pour stabiliser les parties dégradées
			Remise en état des emprunts
Transport des matériaux de déblai ou emprunt		Emissions de poussières (risques santé : encombrement des voies respiratoires, problème de vue, etc.)	Entretien des voies d'accès au chantier
			Arrosage des pistes et voies d'accès
			Sensibilisation sur les risques et distributions de masques anti-poussière pour le personnel exposé
		Surface endommagée (chemin de passage du matériel de chantier)	Remise en état des surfaces endommagées
		Perte accidentelle de matériaux en cours de transport	Contrôle visuel du chargement des camions avant sortie de chantier
Liants (ciment)	Stockage sur site	Déversement accidentel	Stockage sur aires agréées par la Mission de Contrôle (ciment ensaché stocké dans conteneur magasin)

			Identification (panneaux) des zones de stockage
	Mise en œuvre	Envol de poussières avec risque d'atteinte au milieu environnant	Rappel des consignes de mise en œuvre pour des liants
Démolition d'ouvrages existant	Production de déchets	Pollution visuelle	Evacuation des déchets de démolition vers un lieu de dépôt indiqué par la ville et agréé par la Mission de Contrôle
Nettoyage d'ouvrages	Production de déchets	Pollution visuelle	Evacuation des déchets végétaux vers un lieu sécurisé pour leur brûlage
	Récupération de matériaux	Entrave au bon écoulement des eaux superficielles	Mise en dépôt et régilage des matériaux récupérés
			Mise en dépôt sur lieu indiqué par la ville et agréé par la Mission de Contrôle des matériaux non réutilisables
Bétons	Prélèvements d'eau	Réduction de la ressource disponible	Utilisation de l'eau de pompage pour la réalisation des bétons
			Rappel des consignes de respect de la ressource en eau (limitation des quantités prélevées aux usages nécessaires)

CHAPITRE V :

DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

Il est question d'évaluer le cout global du projet. Néanmoins, notre étude se focalisant sur une partie du projet initial, l'installation de chantier est proportionnelle à ce dernier et représente alors l'installation de chantier pour tout le projet ; raison pour laquelle il est énorme et représente la moitié de notre devis. Le détail en Annexe 6 : **Devis quantitatif et estimatif**.

Tableau 33: Récapitulatif du devis estimatif et quantitatif

N°	Désignation	Montant
1	Installation	4,529,122,036
2	Dégagement emprises et terrassements	372,626,065
3	Chaussées et dépendances	1,285,856,624
4	Assainissement et drainage	2,277,451,292
5	Environnement	2,838,810
6	Signalisation	25,020,997
7	Eclairage public	323,241,204
8	Feux optiques	49,743,960
	TOTAL	8,865,900,988
	MARCHE INIT	29,506,496,359

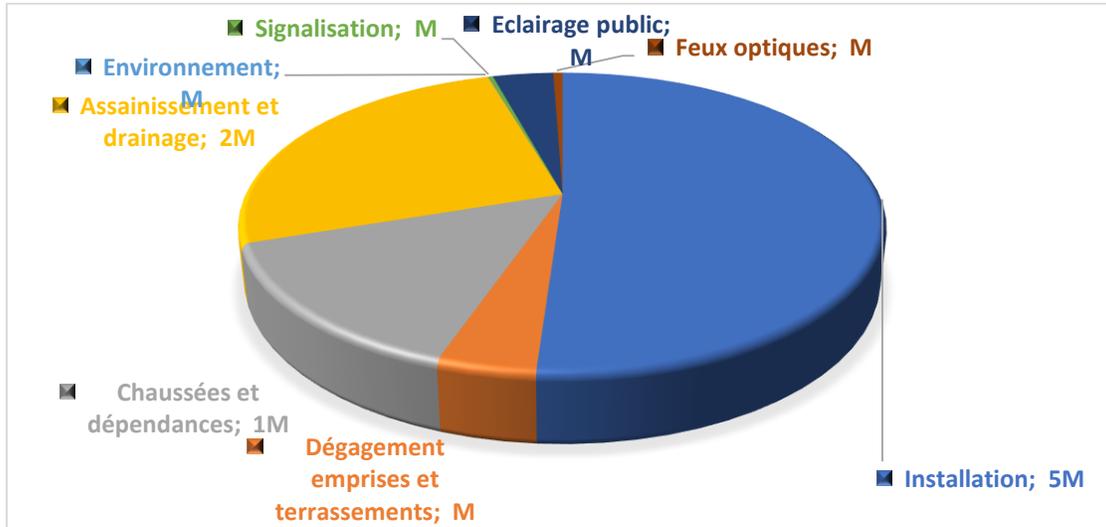


Figure 17: Graphique de répartition du devis

CONCLUSION

Le projet de stage porte sur la réhabilitation du tronçon RDV 3 des travaux de réhabilitation et de bitumage du projet Zinder Saboua. Un diagnostic préalable de l'ouvrage existant a permis d'identifier un trafic de type T3 et un sol de type S4 avec un indice de qualité de la chaussée de Q4 correspondant à une chaussée en très mauvais état. La solution adaptée est son renforcement avec un traitement au ciment de la couche de base.

A l'issue du dimensionnement, nous obtenons des dimensions pour la couche de roulement en béton bitumineux, la couche de base en graveleux latéritique améliorée au ciment et la couche de fondation en grave latéritique qui sont respectivement de 5 cm, 20 cm et 20 cm vérifiées par le logiciel Alizé. La méthode CEBTP nous donne également des dimensions qui sont justes mais peu économiques. Et nos dimensions avec celles de l'entreprise sont exactement identiques.

L'étude hydrologique et hydraulique permet l'assainissement de la chaussée par un ouvrage de franchissement de type dalot de dimensions 1x2x1 ; par des caniveaux sur le linéaire de dimensions 1x1.

La plantation d'arbres et le respect des exigences et solutions environnementales dont la prise en compte est importante, permet de donner un beau visage aux alentours de la route mais aussi permet de pallier les effets négatifs du projet ainsi que de contribuer au maintien du bon fonctionnement de l'ouvrage et de ses alentours.

L'étude quantitative et estimative, bien que l'installation de chantier soit prise pour tous les travaux de réhabilitation et de bitumage du projet Zinder Saboua représentant d'ailleurs la moitié du devis, nous permet une estimation de coût de **huit milliard huit cent soixante-six million neuf cent mille neuf cent quatre-vingt-huit F CFA HT (8 865 900 988 F CFA HT)**.

RECOMMANDATION

Dimensionner est une activité très compliquée faisant intervenir plusieurs composants dont il faut tenir compte de chacun. Et tout comme nous l'avons vue il existe plusieurs manières de dimensionner et les méthodes les plus courantes de nos jours sont le CEBTP et par le logiciel Alizé. De ce que nous pouvons dire sur ces deux méthodes, est qu'il faut toujours dimensionner avec le second quand on le maîtrise et qu'on se sent capable d'éviter des erreurs de manipulation pour le gain de temps. Néanmoins, il convient toujours pour une question de certitude et de pouvoir éliminer tout doute, de faire alors la méthode CEBTP pour référence.

D'autres recommandations :

- ❖ La suivie et règlementation de la charge de l'essieu
- ❖ L'amélioration des matériaux afin de rigidifier nos routes d'avantage
- ❖ L'obtention d'un guide servant d'aide au dimensionnement des routes en fonction de la réalité de notre environnement, les caractéristiques de nos matériaux, notre climat et notre trafic
- ❖ Le respect des temps des entretiens routiers afin de prolonger la survie des chaussées

BIBLIOGRAPHIE

- M.P. AUTRET, E. BAGARRE, J.L. BROUSSE et R. REQUIRANT, Mai 1985, CEBTP – LCPC « Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux ».
- Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes du Bâtiments et des Travaux Publics CEBTP, 1980.
- Ministère de l'Equipement, des transports et du Tourisme ; Décembre 1994, SETRA – LCPC « Conception et dimensionnement des structures de chaussée ».
- Institut Français des Sciences et Technologie des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux, 2016, ALIZE-LCPC « Manuel d'utilisation version 1.5».
- Ministère de l'Equipement du Niger, 2018, CPT « Cahier de prescription technique Zinder Saboua».
- Abdoul Rachid SANDA CHEKARAOU, 2017, Etude Technique Détaillée et d'Aménagement de la Suite de la Voie BK17 de la Branche du Canal GOUNTE-YENA.
- LAMIDO IBRAHIM KANTA Balkissa et SOUMAILA Mounkaila, juillet 2017, Historique de la route du Niger.
- Nguyen VAN TUU, janvier 1979, Hydraulique routière.
- Kader BANAOU DJIBO, 2018, « Etudes techniques détaillées des travaux de réhabilitation de la route Balleyara-Filingué (Niger) : tronçon du PK 45+000 AU PK 55+000 ».
- Jean-Pierre Mougine, 2000, BAEL 91 modifié 99.
- Ministère de l'Equipement et du Logement et Ministère de l'Economie et des Finances, Décembre 1971, Fascicule 61 titre II du CAHIER DES PRESCRIPTIONS COMMUNES.
- Harouna KARAMBIRI, août 2008, HYDROLOGIE.
- Dr Adamah MESSAN, 04 juillet 2014, HYDRAULIQUE ROUTIÈRE PARTIE 2.

ANNEXE

ANNEXE

Tables des matières

Annexe 1 : Equipements connexes	b
Annexe 2 : Dimensionnement avec Alizé-LCPC	d
Annexe 3 : Techniques de mise en œuvre	g
Annexe 4 : Etude des dégradations sur la chaussée existante.....	l
Annexe 5 : Etude hydrologique	r
Annexe 6 : Devis quantitatif et estimatif	yy

Annexe 1 : Equipements connexes

I. Signalisation

En tenant compte de l'importance du trafic et de son évolution dans le temps et l'augmentation de la vitesse des véhicules, la circulation devra être guidée et disciplinée par des signaux simples susceptibles d'être compris par tous les intéressés. La signalisation routière comprend la signalisation verticale et la signalisation horizontale.

La signalisation routière a pour objet :

- ❖ De rendre plus sûre la circulation routière
- ❖ De faciliter cette circulation
- ❖ D'indiquer ou de rappeler diverses prescriptions particulières de police
- ❖ De donner des informations relatives à l'usage de la route

1. Signalisation verticale

Elle concerne la disposition de panneaux de signalisation dont les panneaux de prescriptions et de renseignement.

- Les panneaux de prescription de type B : Obligations, passage pour piétons, zone de stationnement d'autocars ;
- Les panneaux d'intersection et de priorité de passage de type AB : Arrêt obligatoire, priorité de passage pour piéton, cédez le passage ;
- Les panneaux d'indication de type C : Parking, passage pour piéton, zone de stationnement d'autocars.
- Les panneaux de direction et de localisation de type E ou D : Entrée et sortie d'agglomération, indication d'agglomération

2. Signalisation horizontale

Elle consiste essentiellement au marquage conventionnel de chaussée de toutes prescriptions et d'indications nécessaires à la circulation routière.

Il s'agit essentiellement :

- Les marquages longitudinaux (lignes d'axe et de rives de chaussée)
- Les marquages transversaux (lignes complétant les panneaux "stop" et "cédez le passage" et "lignes d'effet des feux" aux intersections
- Les marquages des zones de stationnement pour autocars

- Les flèches de direction et de sélection de voie

II. Eclairage public

L'étude environnementale de ce projet à suggérer l'éclairage de certaines localités afin d'améliorer non seulement la fonctionnalité des routes, mais également d'augmenter la sécurité non seulement du trafic mais aussi pour les riverains.

Cet éclairage a pour but :

- De favoriser la sécurité des déplacements
- De diminuer l'éblouissement dû aux feux de véhicules
- D'améliorer l'estimation des distances
- De favoriser la sécurité des personnes et des biens
- De permettre une vie urbaine nocturne
- De valoriser les espaces publics

Par conséquent, les objectifs à atteindre en éclairage de voies publiques peuvent être de 4 ordres à savoir la sécurité, le confort la rentabilité et l'agrément (améliorer l'ambiance nocturne et participer à une animation urbaine.)

Il existe deux (2) types d'éclairage des voies publiques :

❖ Éclairage Fonctionnel

Les objectifs prioritaires de ce type d'éclairage sont alors la sécurité et la rentabilité, pour atteindre ceux-ci, l'installation d'éclairage devra permettre aux utilisateurs :

- De bien voir des obstacles
- D'attirer l'attention sur les points dangereux
- De faciliter la perception du tracé des voies

❖ Eclairage résidentiel

Tout en assurant la sécurité, cet éclairage a pour objectif prioritaire de donner une ambiance agréable et d'animer aussi le quartier traité, pour répondre au contexte local (vandalisme..., etc.)

❖ Eclairage retenu

Il est prévu d'éclairer la traversée de certaines localités identifiées et de poser des lampadaires au niveau des localités traversées. C'est ainsi que de par les études du choix de site réalisées et conformément au Règlement N°08/2009/CM/UEMOA, il est prévu un éclairage public de type solaire à la traversée de certaines agglomérations sur tout le projet.

Annexe 2 : Dimensionnement avec Alizé-LCPC

I. Vérification des dimensions données par le CEBTP

❖ Valeurs admissibles

La figure qui suit présente les données et la contrainte admissible.

Trafic PL cumulé : données

<input checked="" type="checkbox"/> Moyenne journalière annuelle (MJA) :	286
<input type="checkbox"/> Taux accroissement géométrique (%) :	2.92
<input checked="" type="checkbox"/> Taux accroissement arithmétique (%) :	3.5
<input checked="" type="checkbox"/> Durée de service (années) :	20
<input type="checkbox"/> Trafic cumulé PL :	2.7820E+6

Cocher au plus 3 cases

Valeurs admissibles : données

matériau type :	sc1
coefficient CAM :	1.69
risque (%) :	5.0
trafic cumulé NE :	4.7016E+6
Sigma6 (MPa) :	0.21
-1/b :	12
1/Kd (discontinuité) :	1.00
écart type Sh (m) :	0.025
écart type SN :	0.800
Kr (risque) :	0.729
Kc (calage) :	1.5
Ks (che liée/pf3 pf4) :	1

SigmaT admissible = 0.202 MPa

Mémo ...
1-SigmaT= 0.202

Figure : valeurs admissibles

❖ Conception

La conception avec Alizé des dimensions obtenues par la méthode EBTP dans la figure suivante :

Structure de base

	épais. (m)	module (MPa)	Nu	matériau type
collé	0.07	1300	0.350	bb
collé	0.2	800	0.25	autre
collé	0.2	262	0.35	autre
collé	infini	120	0.350	pf3

Modifier la structure
nb de couches : 4
Ajouter 1 couche
Supprimer 1 couche

Série de calculs
nb de calculs : 1

Figure : conception des dimensions CEBTP dans Alizé

❖ Vérification des contraintes

Les valeurs de contraintes et déformations de la structure sont confrontées aux valeurs accessibles pour voir si la conception est bonne. Ainsi, les premières doivent être inférieures ou égales aux deuxièmes. Dans la figure la vérification des contraintes.

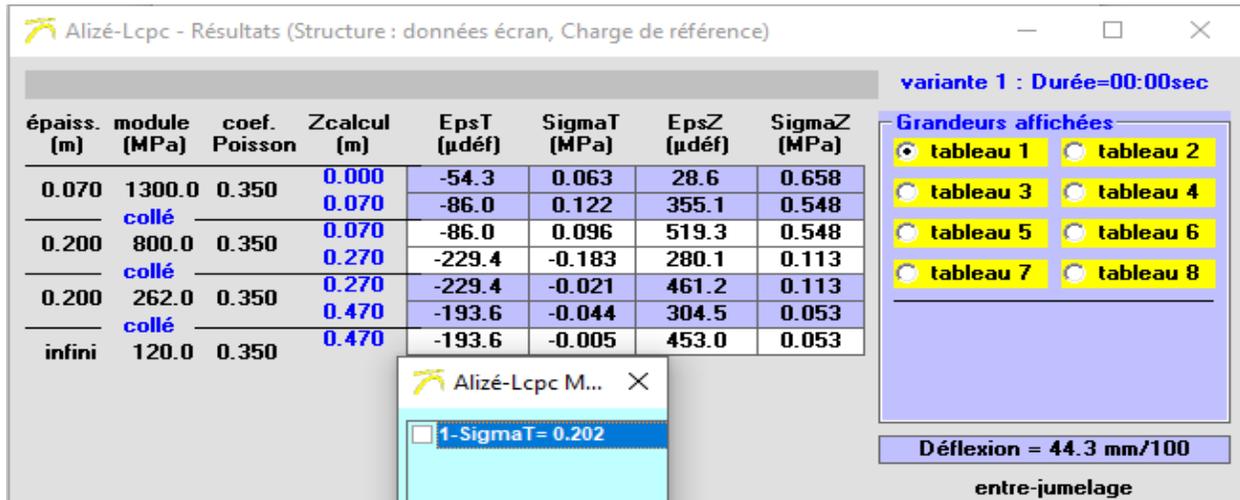


Figure : résultats des calculs des dimensions CEBTP

Les valeurs (en contour) sont comparées et la remarque est que les **contraintes sont vérifiées** et la **déflexion est bonne puisqu'inférieure à 60**. Alors, nous pouvons maintenir cette conception.

II. Proposition de dimension et conception avec Alizé-LCP

Il s'agit de proposer une structure de chaussée avec des dimensions en tenant compte des paramètres des matériaux, conception validée lorsque les contraintes qu'elle engendre sont vérifiées par les valeurs admissibles. Ainsi, nous proposons la conception suivante à la figure 9 :

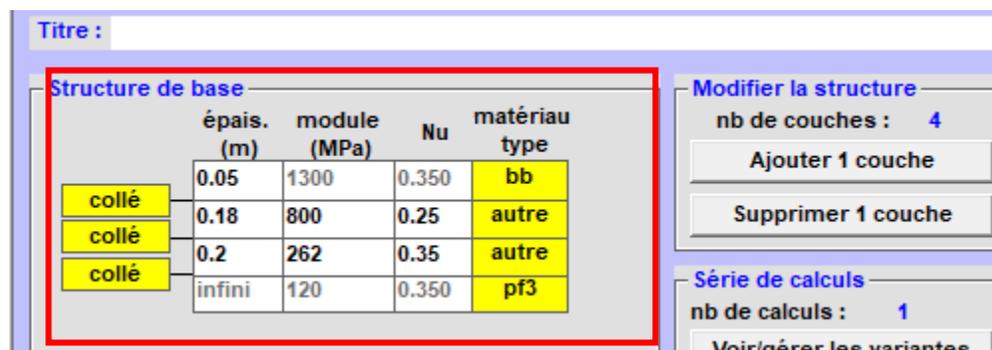


Figure : Alizé, proposition et conception de dimensions

III. Vérification des contraintes

Les valeurs de contraintes de la structure sont confrontées aux valeurs accessibles pour voir si la conception est bonne. Ainsi, les premières doivent être inférieures ou égales aux deuxièmes à vérifier sur la figure 10 suivante :

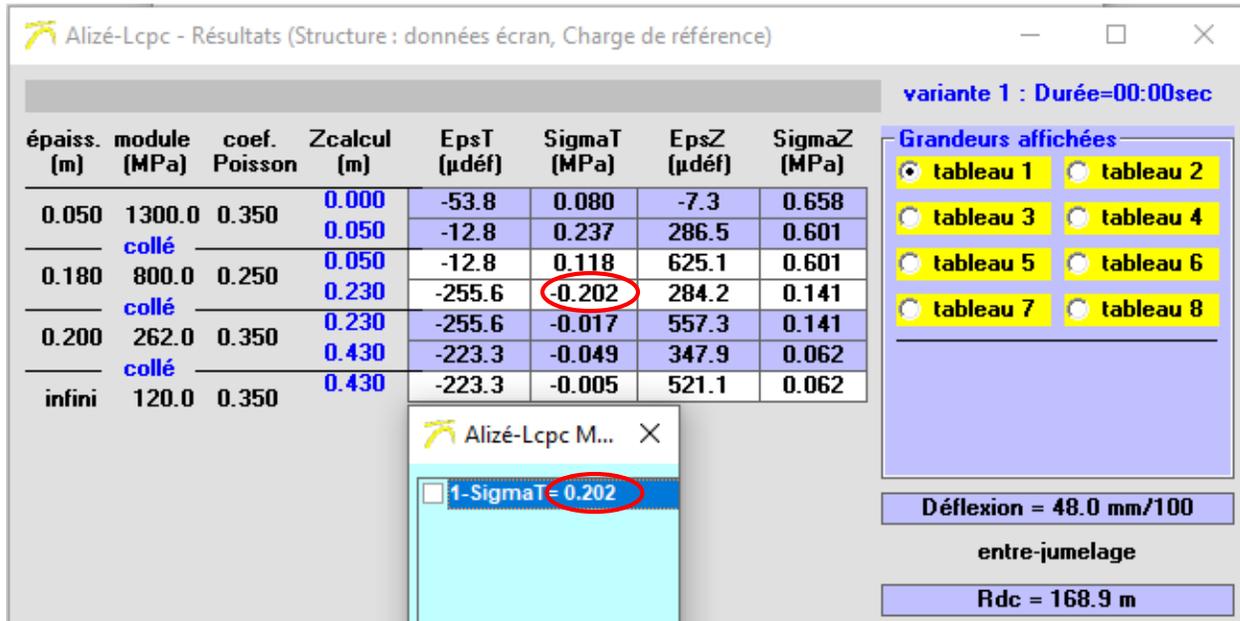


Figure 10: Alizé, résultats des calculs

Les valeurs (en contour) sont comparées et elles sont vérifiées, ainsi que la **déflexion qui est inférieure à 60**. D'où la conception est bonne.

Annexe 3 : Techniques de mise en œuvre

Le dimensionnement de la chaussée nous impose la réalisation d'un sol ciment. Le sol ciment n'est rien d'autre que l'amélioration du matériau par le ciment, un liant hydraulique. En occurrence la couche de base en graveleux latéritique qui sera traité par ce liant, dans le cas de notre étude. Il est alors important de mettre en évidence la formulation du matériau et la technique de mise en œuvre, surtout que cette réalisation est rare au Niger.

Le but de cette étude est de déterminer le dosage optimal du ciment auquel le matériau graveleux latéritique cru pourrait être amélioré afin d'obtenir un matériau répondant aux spécifications du Cahier des Clauses Techniques Particulières. Et d'aborder les phases et techniques de mise en œuvre.

I. Mise en œuvre du sol ciment

1. Formulation

Deux matériaux essentiels entrent en jeu dans la formulation du sol ciment, à savoir le graveleux latéritique cru et le ciment.

a. Performances mécaniques du matériau amélioré au ciment

Après donc identification des matériaux à utiliser, des mélanges de ces matériaux ont été effectués à des dosages de 2 et 3 %.

Sur chaque mélange ont été réalisés des essais Proctor suivis de la confection d'éprouvette pour le CBR. Alors, sur chaque mélange, il a été déterminé l'indice CBR correspondant à 95, 98 et 100% de l'Optimum Proctor Modifié après conservation des éprouvettes pendant 72 heures à l'air et 96 heures dans l'eau.

Les résultats sont renseignés dans le tableau qui suit :

Récapitulatif des résultats Indices CBR sol ciment			
Dosages	2%	3%	Spécifications
CBR à 95%	290	230	≥160
CBR à 98%	380	570	
CBR à 100%	440	817	

b. Analyse des résultats

Les résultats obtenus plus haut nous amènent à faire les commentaires qui suivent :

- Le pourcentage des fines du matériau graveleux latéritique est conforme aux exigences du CCPT
- La limite de liquidité du matériau graveleux latéritique est conforme aux exigences du CCPT
- L'indice de plasticité du matériau graveleux latéritique est conforme aux exigences du CCPT
- La densité sèche du matériau graveleux latéritique est conforme aux exigences du CCPT
- Le CBR du matériau graveleux latéritique est conforme aux exigences du CCPT
- Les performances mécaniques (CBR) sont croissantes avec l'augmentation du dosage en ciment
- L'indice CBR minimal exigé par le CCPT est dépassé à un dosage de 2%

2. Méthode de mise en œuvre

a. Epannage

L'épandage du ciment est fait sur une couche de graveleux latéritique réalisée en couche de base et compacté à l'épaisseur idéale. Il se fait soit à l'aide d'une épandeuse soit par des sacs de 50 kg.

b. Calcul du dosage de ciment par mètre carré :

Le dosage du ciment est régi par le comportement et caractéristique de la couche de base qui sont son épaisseur après mélange et sa compacité, ainsi que la densité sèche du matériau de la couche.

$$D(kg/m^2) = E \cdot \gamma_d \cdot \beta \cdot \alpha$$

$E = 20 \text{ cm}$	Epaisseur de la couche compactée
$\gamma_d = 2,21 \text{ t/m}^3$	Densité sèche moyenne du matériau
$\beta = 98 \%$	La compacité minimale de la couche
$\alpha = 2,5 \%$	Le dosage pondéral en ciment retenu

$$D \left(\frac{kg}{m^2} \right) = 0,2 * 2,21.10^3 * 0,98 * 0,025$$

$$D = 10,83 \text{ kg/m}^2$$

c. Détermination de la surface d'une maille

En cas d'utilisation d'une épandeuse, on s'assurera à respecter le dosage par le réglage des paramètres au niveau de celle-ci.

On déterminera une surface S (maillage) qui répondra au dosage dans le cas échéant.

$$S = \frac{50}{D} = \frac{50}{10,83}$$

$$S = 4,61 \text{ m}^2$$

Ainsi, nous effectuerons des mailles de **4,61 m²** sur l'ensemble de la couche. Nous faisons alors l'épandage d'un paquet de **50kg** de ciment sur chaque maille.

d. Dimension des mailles

La dimension des mailles sera déterminée de sorte que leur nombre sur la largeur soit entier.

Ainsi, nous optons pour des dimensions de **1,65 m** dans le sens transversal et **2,79 m** dans le sens longitudinal du projet.

Un sac de ciment est reparti convenablement sur la surface calculée de façon homogène.

L'épandage se fait au moyen de raclettes en bois.

Après la vérification de tous les aspects cités précédemment, nous pouvons poursuivre par l'opération de malaxage et de compactage.

3. Malaxage et compactage

Le malaxage se fait au moyen d'une recycleuse ou d'une niveleuse. Dès la fin du malaxage et la fermeture de la couche malaxée à l'aide du compacteur à pneu, nous procéderons au pré réglage à la niveleuse et à la mise en place des piquets de réglage. Ensuite la matérialisation des zones de compactage, suivi du compactage au rouleau vibrant avant le réglage définitif à la niveleuse.

4. Cure de la planche

A la suite du compactage, il est important de procéder à la cure du matériau. Cela consiste un arrosage modéré à l'eau (sans ruissellement de surface de matériau traité) après le dernier passage des engins de compactage. Le matériau devra être maintenu humide jusqu'à la mise en œuvre de la couche d'imprégnation.

II. Mise en œuvre des élargissements

La route préexistante se présente avec une largeur de chaussée de 7m sans terre-plein. Cette chaussée offrait une voie dans chaque sens.

Pour la conception et dimensionnement de la nouvelle voie, le trafic est très un élément essentiel. A cet effet, est pris en compte le comptage tout véhicule confondu. Ce qui nous donne le flux de circulation sur la chaussée. Ce flux est de **12305 véhicules par jour** sur le sens le plus emprunté. Et selon le CEBTP, pour un trafic compris entre 6000 et 12000 la route est de type deux (2) fois deux (2) voies ou trois (3) deux (2) voies. Autrement dit, deux (2) ou trois (3) voies sur chaque sens de circulation.

Pour des raisons économiques, le choix se porte sur une chaussée de deux (2) fois deux (2) voies. Compte tenu des nouveaux besoins et pour répondre au cahier de charge, il est question d'élargissement de cette route.

Pour cela, nous devons avoir des procédés de réalisation afin d'une bonne exécution.

1. Scarification

L'ancienne chaussée a été réalisée en 2009, et de cette année à 2018 s'est écoulé un temps considérable pendant lequel les accotements de la chaussée (les matériaux en contact avec la chaussée) sont exposés à toute forme d'agressivité du milieu extérieur. Ce qui ne l'épargne pas des différents types de pollutions ou érosions tout au long de cette période qui peuvent être d'ordre humain et climatique. Aussi, d'après les résultats des élargissements, à la surface, le sol ne répond pas aux exigences du CPT.

Ainsi, de toute évidence, la partie supérieure de ce sol est compromis et est inapte pour des travaux de cette envergure d'autant plus qu'il faut assurer une complicité (homogénéité) efficace entre les deux couches (l'ancienne et celle de l'extension). D'où la scarification pour éliminer toute cette couche à la surface qui est corrompue.

Cette scarification est réalisée jusqu'à une profondeur de 25 cm à la base de la couche de fondation préexistante.

2. Exécution des redents

Les redents ne sont rien d'autre qu'une couche complémentaire de long en large de l'ancienne route permettant ainsi de lui donner une largeur de roulement supplémentaire. Et cette activité se

présente en la réalisation de remblais sur les côtés de la route à partir de la profondeur de scarification jusqu'à atteindre la partie supérieure de sa fondation.

Ce remblai est effectué en matériaux latéritique et à des épaisseurs de 25 cm maximum de couche à compacter. Le compactage est réalisé à **90%** répondant aux spécifications pour une couche de plateforme.

Suite à cette manipulation, les élargissements sont du niveau de la route existante, peuvent commencées les réalisations des autres couches en une seule largeur homogène de même niveau.

Annexe 4 : Etude des dégradations sur la chaussée existante

I. Relevés visuels

Pour pouvoir faire les études de dégradation de la chaussée existante nous avons commencé par la réalisation sur un (1) km de relevés visuels des dégradations soumise après à l'étude. Ces relevés sont consignés dans le tableau suivant :

Relevés visuels des dégradations sur la RDV3 PK 0+000 - PK 1+050										
Zone	PK début	PK fin	Coté	E(m)	l(m)	L(m)	S(m ²)	V(m ³)	Couche	Observation
1	0+000	0+010	D	0.07	0.94	1.45	1.36	0.10	CB	Nid de poule
			D	0.12	2.80	3.54	9.91	1.19	CB	Nid de poule
			D	0.13	1.67	1.80	3.01	0.39	CB	Nid de poule
			G	0.11	0.58	0.60	0.35	0.04	CB	Nid de poule
			G	0.09	0.60	1.12	0.67	0.06	CB	Nid de poule
					0.47	10.00	4.74	0.00	CB	Epaufrure
2	0+010	0+030	D		0.59	20.00	11.80	0.00	CB	Epaufrure
3	0+0300	0+050	Axe	0.07	0.63	1.30	0.82	0.06	CB	Nid de poule
			Axe	0.07	0.33	0.93	0.31	0.02	CB	Nid de poule
			Axe	0.06	0.39	0.66	0.26	0.02	CB	Nid de poule
			G		0.02	0.32	0.01	0.00	CB	Fissures
					0.79	20.00	15.80	0.00	CB	Epaufrure
4	0+050	0+070	Axe	0.11	1.10	1.48	1.63	0.18	CB	Nid de poule
			Axe	0.08	0.57	0.67	0.38	0.03	CB	Nid de poule
					0.40	20.00	7.90	0.00	CB	Epaufrure
5	0+070	0+090	Axe	0.11	2.57	4.57	11.74	1.29	CB	Nid de poule
			Axe	0.08	1.73	1.80	3.11	0.25	CB	Nid de poule
					0.32	20.00	6.32	0.00	CB	Epaufrure
6	0+090	0+110	Axe	0.06	0.33	0.98	0.32	0.02	CB	Nid de poule
			Axe	0.10	0.87	4.07	3.54	0.35	CB	Nid de poule
					0.47	20.00	9.48	0.00	CB	Epaufrure
7	0+110	0+130	Axe	0.13	2.65	5.00	13.25	1.72	CB	Nid de poule
			Axe	0.12	1.44	5.95	8.57	1.03	CB	Nid de poule
			Axe	0.14	1.00	1.60	1.60	0.22	CB	Nid de poule
					0.24	20.00	4.74	0.00	CB	Epaufrure
8	0+130	0+150	Axe	0.16	0.83	1.14	0.95	0.15	CF	Nid de poule
			G	0.10	0.50	0.56	0.28	0.03	CB	Nid de poule
			Axe	0.08	0.62	0.64	0.40	0.03	CB	Nid de poule
				0.02	0.15	15.00	2.25	0.05	CR	Ornierage

					0.16	20.00	3.16	0.00	CB	Epaufrure
9	0+150	0+175	Axe	0.13	1.20	1.35	1.62	0.21	CB	Nid de poule
					0.16	25.00	3.95	0.00	CB	Epaufrure
				0.02	0.13	25.00	3.25	0.07	CR	Orniérage
10	0+200	0+225	Axe	0.22	3.60	6.50	23.40	5.15	CF	Nid de poule
			Axe	0.23	0.89	3.10	2.76	0.63	CF	Nid de poule
			Axe	0.18	2.60	4.30	11.18	2.01	CF	Nid de poule
					0.47	25.00	11.85	0.00	CB	Epaufrure
11	0+225	0+250	Axe	0.07	0.78	0.79	0.62	0.04	CB	Nid de poule
			Axe	0.15	2.70	2.84	7.67	1.15	CF	Nid de poule
			Axe	0.12	0.55	0.95	0.52	0.06	CB	Nid de poule
					0.40	25.00	9.88	0.00	CB	Epaufrure
12	0+250	0+350	Axe	0.03	1.07	1.18	1.26	0.03	CB	Nid de poule
					1.00	5.00	5.00	0.00	CR	Faiencage
				0.03	0.16	82.00	13.12	0.39	CR	Orniérage
					1.18	1.20	1.42	0.00	CR	Pelade
				0.03	0.70	0.76	0.53	0.01	CR	Flache
					0.90	0.97	0.87	0.00	CR	Pelade
					1.94	5.74	11.14	0.00	CR	Pelade
			Axe	0.05	0.74	0.95	0.70	0.04	CB	Nid de poule
		0.32	100.00	31.60		CB	Epaufrure			
13	0+350	0+450	Axe	0.09	2.40	4.30	10.32		CB	Nid de poule
					1.00	20.00	20.00	0.00	CR	Faiencage
			Axe	0.08	0.72	1.10	0.79	0.06	CB	Nid de poule
			Axe	0.10	5.10	6.00	30.60	3.06	CB	Nid de poule
					0.71	100.00	71.10	0.00	CB	Epaufrure
			Axe	0.13	1.90	1.93	3.67	0.48	CB	Nid de poule
			Axe	0.092	1	1.36	1.36	0.1251	CB	Nid de poule
14	0+450	0+550	D	0.1	1.2	1.26	1.512	0.1512	CB	Nid de poule
			Axe	0.125	2.53	3.55	8.9815	1.1227	CB	Nid de poule
			Axe	0.13	2	5	10	1.3	CB	Nid de poule
			Axe	0.13	1.44	1.53	2.2032	0.2864	CB	Nid de poule
					0.474	100	47.4		CB	Epaufrure
15	0+550	0+650	Axe	0.13	1.8	2.94	5.292	0.688	CB	Nid de poule
			Axe	0.1	2.5	2.78	6.95	0.695	CB	Nid de poule
			Axe	0.08	0.72	0.84	0.6048	0.0484	CB	Nid de poule
			Axe	0.12	2.300	3.000	6.9	0.828	CB	Nid de poule
			Axe	0.09	1.3	1.9	2.47	0.2223	CB	Nid de poule
			Axe	0.125	2.8	5.7	15.96	1.995	CB	Nid de poule

					1.15	6.2	7.13	0	CR	Pelade
					0.79	100	79	0	CB	Epaufreure
16	0+650	0+750	Axe	0.09	1.1	1.28	1.408	0.1267	CB	Nid de poule
			Axe	0.12	1.1	1.2	1.32	0.1584	CB	Nid de poule
			Axe	0.08	1.12	1.12	1.2544	0.1004	CB	Nid de poule
			Axe	0.1	1	1.1	1.1	0.11	CB	Nid de poule
			Axe	0.15	1.85	4.6	8.51	1.2765	CF	Nid de poule
			Axe	0.09	0.92	1.23	1.1316	0.1018	CB	Nid de poule
			Axe	0.125	1.3	1.38	1.794	0.2243	CB	Nid de poule
					0.4345	100	43.45		CB	Epaufreure
17	0+750	0+850	Axe	0.09	1.37	4.16	5.6992	0.5129	CB	Nid de poule
			G	0.12	1.1	1.78	1.958	0.235	CB	Nid de poule
			G	0.1	0.67	0.75	0.5025	0.0503	CB	Nid de poule
			Axe	0.11	1.07	1.3	1.391	0.153	CB	Nid de poule
			Axe	0.11	1.3	1.82	2.366	0.2603	CB	Nid de poule
			Axe	0.09	1.87	2.5	4.675	0.4208	CB	Nid de poule
			Axe	0.095	2.3	4	9.2	0.874	CB	Nid de poule
			G	0.11	1.3	1.32	1.716	0.1888	CB	Nid de poule
			D	0.105	0.9	1.02	0.918	0.0964	CB	Nid de poule
			D	0.09	2.06	4.45	9.167	0.825	CB	Nid de poule
			Axe	0.11	1.77	2.17	3.8409	0.4225	CB	Nid de poule
			D	0.14	1.05	1.74	1.827	0.2558	CB	Nid de poule
		0.158	100	15.8		CB	Epaufreure			
18	0+850	0+950	Axe	0.095	1	1.4	1.4	0.133	CB	Nid de poule
			G	0.075	0.72	1.2	0.864	0.0648	CB	Nid de poule
					1.07	1.2	1.284	0	CR	Fissures
			Axe	0.09	1.2	6	7.2	0.648	CB	Nid de poule
			Axe	0.08	1.16	1.35	1.566	0.1253	CB	Nid de poule
			Axe	0.085	0.85	0.94	0.799	0.0679	CB	Nid de poule
			G	0.055	1.2	1.98	2.376	0.1307	CB	Nid de poule
			G	0.075	1.7	2.5	4.25	0.3188	CB	Nid de poule
		0.158	100	15.8		CB	Epaufreure			
19	0+950	1+050				7	0	0	CR	Fissure mince
				0.03	0.14	56	7.84	1.68	CR	Ornierage
			Axe	0.07	0.62	0.65	0.403	0.0455	CB	Nid de poule
			Axe	0.06	0.9	1.03	0.927	0.0618	CB	Nid de poule
			Axe	0.06	1.7	2.35	3.995	0.141	CB	Nid de poule
			Axe	0.08	1.32	1.59	2.0988	0.1272	CB	Nid de poule
					0.08	2	0.16	0	CR	Faiççage

					3	0	0	CR	Fissure mince
			0.237		100	23.7		CB	Epaufure

Légende :

- E : épaisseur L : longueur l : largeur
- G : gauche D : droite
- CR : couche de roulement
- CB : couche de base
- CF : couche de fondation

❖ Quelques images illustratives



Fissuration



Nid de poule



Orniérage

II. Relevé CBR et détermination de la classe de portance

Nous avons le relevé des essais CBR réalisés. Leur moyenne nous donne le CBR moyen du sol qui nous permet de déterminer la classe de portance.

Relevé essais et détermination de la portance de la Plateforme																	
N° Sondages	PK Projet	PK sondages	Position	Prof.Prél.	Granulométrie		Limites d'Atterberg		Classif. HRB	Proctor		C.B.R.			Nature matériaux	Conformité de la couche	Classe de sol
					<2mm	<0,08mm	LL	IP		gd	W%	95%	98%	100%			
Couche de Forme (PST)						<40%	<50	<25				≥15					
Couche de Fondation (CF)						<50%	<25%	<40	<25					≥40			
Couche de base (CB)						<50%	<20%		20				≥80	≥80			
S1	0+000	0+000	E(G)	50	50.3	17.6	26	11	A-2-6 (0)	2.3	7	19	25	29	Latérite	C	S4
S3			E(D)	52	56.9	11.4	21	12	A-2-6 (0)	2.28	5.6	29.5	38.2	45	Latérite	C	S4
S4	0+200	0+200	E(G)	33	34.1	15.8	22	11	A-2-6 (0)	2.24	6.3	16	22	33	Latérite	C	S4
S6			E(D)	35	56.7	16.4	19	13	A-2-6 (0)	2.2	5.9	16	14.2	25	Latérite	C	S4
S8	0+600	0+600	E(G)	39	79.6	13	20	8	A-2-4 (0)	2.14	6	29.2	37.3	42	Latérite	C	S4
S10			E(D)	56	48.6	16.1	23.3	12	A-2-6 (0)	2.19	5.4	45	62	72	Latérite	C	S5
S11	0+800	0+800	E(D)	49	59	14	24	10	A-2-4 (0)	2.1	6.1	19	21	21	Sable graveleux	C	S4
S13			E(D)	39	68.4	14.9	21	10	A-2-4 (0)	2.23	6.1	16	19	21	Sable	C	S4
S14	1+000	1+000	E(G)	38	48.3	6.2	20	13	A-2-6 (0)	2.27	7.2	15	25	31	Latérite	C	S4
S16			E(D)	29	67.2	13.5	24	14	A-2-6 (0)	2.15	5.9	16	33	45	Sable	C	S4
S17	1+200	1+200	E(G)	30	34.5	16.5	24	13	A-2-6 (0)	2.27	5.6	29	37	41	Sable graveleux	C	S4
S19			E(D)	34	56.4	13.4	22	11	A-2-6 (0)	2.21	7.6	18.5	33	45	Sable	C	S4
S23	2+000	2+000	E(G)	27	67.2	15.6	17	12	A-2-6 (0)	2.17	7.5	19	24	32	Sable graveleux	C	S4
S25			E(D)	40	44.8	24.2	27	14	A-2-6 (0)	2.16	8.6	16	23	32	Latérite	C	S4
S29	2+800	2+800	E(G)	27	67.2	15.6	17	12	A-2-6 (0)	2.17	7.5	19	24	32	Sable graveleux	C	S4
S31			E(D)	39	44.8	24.2	27	14	A-2-6 (0)	2.16	8.6	16	23	32	Latérite	C	S4
S34	3+000	3+000	E(G)	42	50.6	15	20	13	A-2-6 (0)	2.14	7	45	65	75	Latérite	C	S5
S35	3+100	3+100	E(D)	38	48.4	14.6	26	12	A-2-6 (0)	2.2	6.2	17.4	32	33	Latérite	C	S4
Moyenne CBR Couche de forme 95%												22.26			C	S4	

D'après le tableau le CBR moyen est de 22,26 alors la classe de portance est la classe 4.

Annexe 5 : Etude hydrologique

I. Analyse fréquentielle

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction qui consiste à étudier les événements passés pour ensuite déduire les probabilités d'apparition future. Il faut alors faire la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel qui décrit le comportement statistique du processus.

Les données pluviométriques étant en pluies journalières, nous allons utiliser la Loi de GUMBEL.

1. Caractéristiques de l'échantillon

La moyenne, l'écart type et le coefficient de variance sont les caractéristiques de l'échantillon à déterminer. Ainsi, nous allons y procéder en appliquant les formules suivantes dans un tableau Excel :

- Moyenne : $X = \frac{\sum \text{pluie journalière}}{N}$
- Ecart type: $S = \frac{1}{N} \sum xi^2$
- Coefficient de variation : $Cv = \frac{S}{X}$

Avec n : la taille de l'échantillon et, S et X respectivement l'écart type et la moyenne calculés
Les résultats obtenus sont les suivants :

Moyenne	51.4
Ecart-type	14.3
Coefficient de variation	0.279

Nous procédons ensuite au classement des données de façon croissante afin de déterminer les fréquences expérimentales, la variable réduite et les paramètres de la loi.

2. Analyse des pluies journalières maximales

La fréquence expérimentale et la variable réduite sont calculées pour toutes les données par :

- Formule Hazen : $F(x) = \frac{r-0,5}{n}$ avec $n=30$ la taille de l'échantillons et r le rang, pour la fréquence expérimentale
- $u = -\ln[-\ln(F(x))]$

Année	Précipitation X (mm)	Valeurs classées de X (mm)	Rang (r)	Fréquence F(x)	Ui
1988	77.9	26.3	1	0.01667	-1.40961
1989	45.8	30.6	2	0.05000	-1.09719
1990	49.3	33.7	3	0.08333	-0.91024
1991	38.8	35.5	4	0.11667	-0.76474
1992	66.4	35.7	5	0.15000	-0.64034
1993	44.7	37.2	6	0.18333	-0.52854
1994	41.7	38.8	7	0.21667	-0.42487
1995	42.1	41.7	8	0.25000	-0.32663
1996	30.6	41.7	9	0.28333	-0.23201
1997	44.8	42.1	10	0.31667	-0.13968
1998	72.8	44.1	11	0.35000	-0.04862
1999	41.7	44.7	12	0.38333	0.04202
2000	56.8	44.8	13	0.41667	0.13300
2001	37.2	45.8	14	0.45000	0.22501
2002	35.5	48.1	15	0.48333	0.31876
2003	56.9	49.3	16	0.51667	0.41497
2004	33.7	50.2	17	0.55000	0.51444
2005	67.5	56.8	18	0.58333	0.61805
2006	48.1	56.9	19	0.61667	0.72686
2007	44.1	59.3	20	0.65000	0.84215
2008	61.6	60	21	0.68333	0.96555
2009	35.7	61.6	22	0.71667	1.09918
2010	68.4	61.8	23	0.75000	1.24590
2011	64.2	64.2	24	0.78333	1.40978
2012	60	66.4	25	0.81667	1.59690
2013	50.2	67.5	26	0.85000	1.81696
2014	59.3	68.4	27	0.88333	2.08705
2015	61.8	72.8	28	0.91667	2.44172
2016	26.3	77.9	29	0.95000	2.97020
2017	78.7	78.7	30	0.98333	4.08595

Les paramètres de la loi sont $1/a$ et X_0 et se calcul avec les formules suivantes :

- $1/a = 0,78 * \delta$
- $X_0 = X_m - 0,577 * 1/a$

Le tableau suivant contient les valeurs des paramètres de la loi ainsi que les valeurs minimales et maximales des pluies.

1/a	11.17
Xo	44.97
Min	26.3
Max	78.7

II. Méthode rationnelle

$$Q = 0,278 CIA$$

- Temps de concentration

$$Tc = \frac{L^{1,15}}{52H^{0,38}}$$

Avec H : la dénivelée et L : longueur de l'écoulement

$$Tc = \frac{292,89^{1,15}}{52 * 484^{0,38}} = \mathbf{5,14 mn}$$

- Intensité de la pluie $I = aTc^{-b}$

Avec a et b les coefficients de Montana dépendant de la zone d'étude et de la période de retour.

Ainsi, les choix pour l'Afrique de l'ouest sont a = 7,5 et b = 0,5

Soit $I = 7,5 * 5,14^{-0,5}$

→ $I = \mathbf{3,31 mm/mn}$ → $I = \mathbf{198,6 mm/h}$

- Coefficient de ruissellement

Du tableau du coefficient de ruissellement, étant en présence d'un terrain dénudé, d'un petit bassin et d'une pente inférieure à 5% ; le coefficient est de 0,8

→ $C = 0,8$

D'où $Q = \frac{0,278 * 0,8 * 198,6 * 0,2333}{3,6}$

→ $Q = \mathbf{2,86 m^3/s}$

III. Méthode ORSTOM

L'objectif de cette méthode est l'évaluation du débit de crue décennale sur les bassins du sahel et de la zone tropicale sèche. Néanmoins cette méthode est appliquée quand certaines contraintes sont réunies. Le bassin doit avoir au moins une superficie de 10 ha.

$$Q_{r10} = A * P_{10} * K_{R10} * \alpha_{10} * \frac{S}{T_{b10}} \quad \text{Avec}$$

Q_{r10} : débit de pointe de ruissellement de la crue décennale

A : coefficient d'abattement

K_{R10} : coefficient de ruissellement décennal

P_{10} : pluie décennale journalière

α_{10} : coefficient de pointe de crue décennale

S : superficie du bassin versant

T_{b10} : temps de base de la crue décennale

1. Détermination des différents paramètres

❖ Coefficient d'abattement

Il permet de déterminer la pluie moyenne sur tout le bassin versant étant donné que la distribution de la pluie sur le bassin versant n'est pas homogène.

$$A = 1 - 0,001(9\log_{10}T - 0,042P_{an} + 152)\log_{10}S$$

T : période de retour (10 ans)

S : superficie du bassin versant en Km²

P_{an} : pluviométrie annuelle, moyenne (769,5 mm)

Soit $A = 1 - 0,001(9\log_{10}10 - 0,042 * 769,5 + 152)\log_{10}(0,2333)$

→ **$A = 1,08$**

❖ Pluie décennale journalière

Elle correspond à la valeur de la pluie décennale humide à la probabilité de dépassement de 10% ($P=0,01$) ou de non dépassement de 90% ($F=0,9$) et est déterminée à l'aide de l'étude statistique des pluies journalières. Dans le tableau suivant, les intervalles de confiance à 90%.

F	Up	Xp	Borne inférieure	Borne supérieure
0.01	-1.527	27.910	22.263	33.556
0.05	-1.097	32.714	28.236	37.192
0.10	-0.834	35.654	31.761	39.547
0.90	2.250	70.117	60.630	79.604
0.95	2.970	78.160	66.220	90.099
0.99	4.600	96.372	78.747	113.996

La valeur prise est celle de la borne supérieure **$P_{10} = 79,604$**

❖ Coefficient de ruissellement décennal

Il est donné par plusieurs facteurs qui sont : la classe d'infiltration du bassin, la hauteur de pluie et l'indice global de pente Ig . Le coefficient de ruissellement est estimé par interpolation entre les coefficients $Kr70$ et $Kr100$ qui sont obtenus par courbes empiriques ou formules analytiques de la forme : $Kr70$ ou $Kr100 = \frac{a}{(s+b)} + c$

Pour bassin à superficie inférieure à 10 km^2 , ces coefficients sont déterminés à l'aide de courbe empirique.

Ainsi, avec la classification de quantitative de Rodier, il faut déterminer la classe d'infiltration du bassin versant. Cette classification comprend six (6) classes :

- TI (P1) : bassin rigoureusement imperméable, sans irrégularités, n'existant pas à l'état naturel (aire en béton non fissuré)
- I (P2) : bassin imperméable. Pas moins de 85 à 90% de la surface est constitué de sols imperméables
- PI : bassin naturel particulièrement imperméable qui est à la frontière des classes TI et I
- RI (P3) : bassin relativement imperméable. Mélange en portions à peu près égales de sols imperméables (I) et des sols perméables (P) ci-après
- P (P4) : bassin perméable
- TP : bassin très perméable

NB : les notations entre parenthèse sont de l'ancienne nomenclature utilisée par Rodier et Auvrey en 1965

Le bassin versant de notre étude est de type perméable constitué en grande partie de sol sableux.

❖ L'indice global de pente Ig

L'indice est déterminé par la formule ci-après $Ig = \frac{D}{L}$

Où D est la dénivelée exprimée en mètre (m) et L la longueur du rectangle équivalent

Néanmoins, la longueur du rectangle équivalent étant généralement proche de celle du plus long cours d'eau, Ig reste voisin de la pente longitudinale.

On considère la classe de pente Ig bornant supérieurement la valeur de l'indice de pente choisie, dans notre cas Ig aura comme valeur moyenne supérieure égale à 7.

Les paramètres caractéristiques a , b et c des bassins en fonction de l'indice global de pente Ig et de la perméabilité sont présentés dans le tableau suivant :

$$I_g = \frac{484-472}{292,9} * 100 \rightarrow I_g = 4,1$$

Détermination des paramètres a,b et c							
Peréabilite du bassin	Indice global I _g	Kr70 pour pluie journalière décennale			Kr100 pour pluie journalière décennale		
		a	b	c	a	b	c
PI	15	3650	51	27	5528	69	28
	7	2636	41	23	3656	51	26
	3	2239	39	22	2727	44	25
I	15	1455	33	21	1833	38	24
	7	1140	30	20	1476	37	22
	3	825	25	19	1125	32.5	20
RI	15	329	18.5	16.5	421	20.5	17.5
	7	239	17.5	14.5	300	20	15
	3	164	17	10.5	250	20	12
P	15				200	20	8
	7	131	13.8	5	150	20	6
TP	7	35	5	1.5	67	14	2

Calcul de Kr₇₀

$$Kr_{70} = \frac{a}{(s+b)} + c \rightarrow Kr_{70} = \frac{131}{(0.2333+13.8)} + 5$$

Kr70 = 14.34 %

Calcul de Kr₁₀₀

$$Kr_{100} = \frac{a}{(s+b)} + c \rightarrow Kr_{100} = \frac{150}{(0.2333+20)} + 6$$

Kr100 = 13.41 %

Kr₁₀ est obtenue par interpolation linéaire entre Kr₇₀ et Kr₁₀₀

$$\begin{cases} P_{10} = 70 \text{ mm} \rightarrow Kr_{70} = 14.34 \% \\ P_{10} = 79,604 \text{ mm} \rightarrow Kr_{10} = ? \\ P_{10} = 100 \text{ mm} \rightarrow Kr_{100} = 13.41 \% \end{cases} \rightarrow \frac{Kr_{70}-Kr_{10}}{Kr_{70}-Kr_{100}} = \frac{70-79,604}{70-100}$$

$$Kr_{10} = Kr_{70} - \frac{(Kr_{70}-Kr_{100}) * (70-79,604)}{70-100} = 14,34 - \frac{(14,34-13,41) * (70-79,604)}{70-100}$$

→ Kr10 = 14,04 %

❖ Coefficient de pointe de la crue décennale α_{10}

La forme de l'hydrogramme de ruissellement renseigne sur la valeur de e coefficient. Pour le climat sahélien, le tableau ci-après renseigne sur les valeurs moyennes fonctions de la surface du bassin.

Surface bassin versant (km ²)	2	10	25	50	100
Coefficient α_{10}	2.6	2.6	2.5	3	3.1

Notre bassin versant d'étude étant inférieur à un (1) km², le coefficient $\alpha_{10} = 2,6$

❖ Temps de base de la crue décennale T_{b10}

Il s'agit du tps qui s'écoule entre le début et la fin du ruissellement rapide. Il est donné par la formule suivante :

Pour un indice d'infiltration P : $T_{b10} = 19,6 * S + 218$ Avec $\begin{cases} S < 6 \text{ km}^2 \\ Ig = 7 \text{ m/km} \end{cases} 10^6$

$T_{b10} = 19,6 * 0,2333 + 218$

$T_{b10} = 222,57 \text{ mn}$

❖ Détermination du débit de crue décennale

$Q_{r10} = A * P_{10} * K_{R10} * \alpha_{10} * \frac{S}{T_{b10}} \rightarrow Q_{r10} = 1,08 * 0,079604 * 0,1404 * 2,6 * \frac{0,2333 * 10^6}{222,57 * 60}$

$Q_{r10} = 0,55 \text{ m}^3/\text{s}$

Pour un indice d'infiltration P, dans la zone sahélienne, le débit de crue décennale est obtenu par la relation suivante :

$Q_{10} = 1,06 * Q_{r10} \rightarrow Q_{10} = 1,06 * 0,55$

$Q_{r10} = 0,58 \text{ m}^3/\text{s}$

2. Choix du débit de ruissellement

Bassin versant	Superficie (km ²)	Méthode rationnelle (m ³ /s)	Méthode ORSTOM (m ³ /s)	Débit retenu (m ³ /s)
BV1	0,2333	2,86	0,58	2,86

IV. Etude hydraulique : Dimensionnement

Cette étude permettra de structurer et de dimensionner l'ouvrage adéquat pour faire évacuer le débit obtenu de l'étude hydrologique pour ainsi protéger la route de cette traversé d'eau.

Pour se faire on choisit une première valeur de la hauteur D admissible pour l'ouvrage. Après qui on choisit la valeur de la largeur B de sorte à ne pas dépasser la valeur de la vitesse maximale

$$V=3,5 \text{ m}^3/\text{s} \text{ de formule } V = \frac{Q}{BD}$$

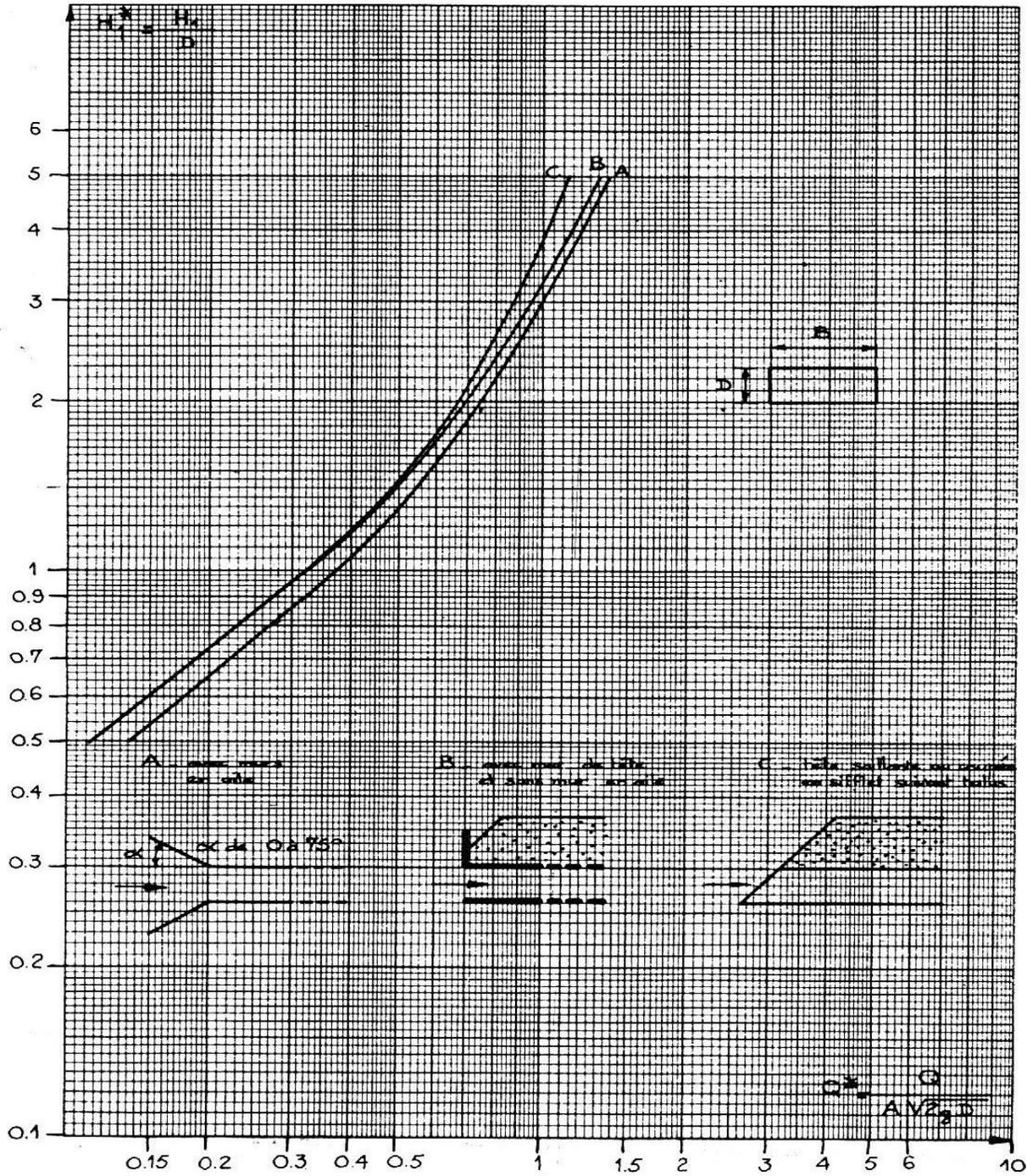
Les valeurs B, D et Q étant connues, on calcule ainsi $Q * = \frac{Q}{BD\sqrt{2gD}}$. A l'aide de l'abaque, on a alors $H1 * = \frac{H_1}{D}$ dont on vérifiera la compatibilité avec le projet.

Hypothèses : la hauteur D = 1 m et la largeur B = 2 m

$$Q * = \frac{Q}{BD\sqrt{2gD}} = \frac{2,86}{1*2\sqrt{2*9,8*1}}$$

$$Q * = 0,32$$

Sortie libre, dalot rectangulaire



D'après la courbe A de l'abaque, $H^* = 0,89$

$$H^* = \frac{H_1}{D} = 0,89 \quad \rightarrow \quad H_1 = 0,89 \text{ m}$$

On a alors $H_1 = 0,89 \text{ m} < D = 1 \text{ m}$: la profondeur est acceptable.

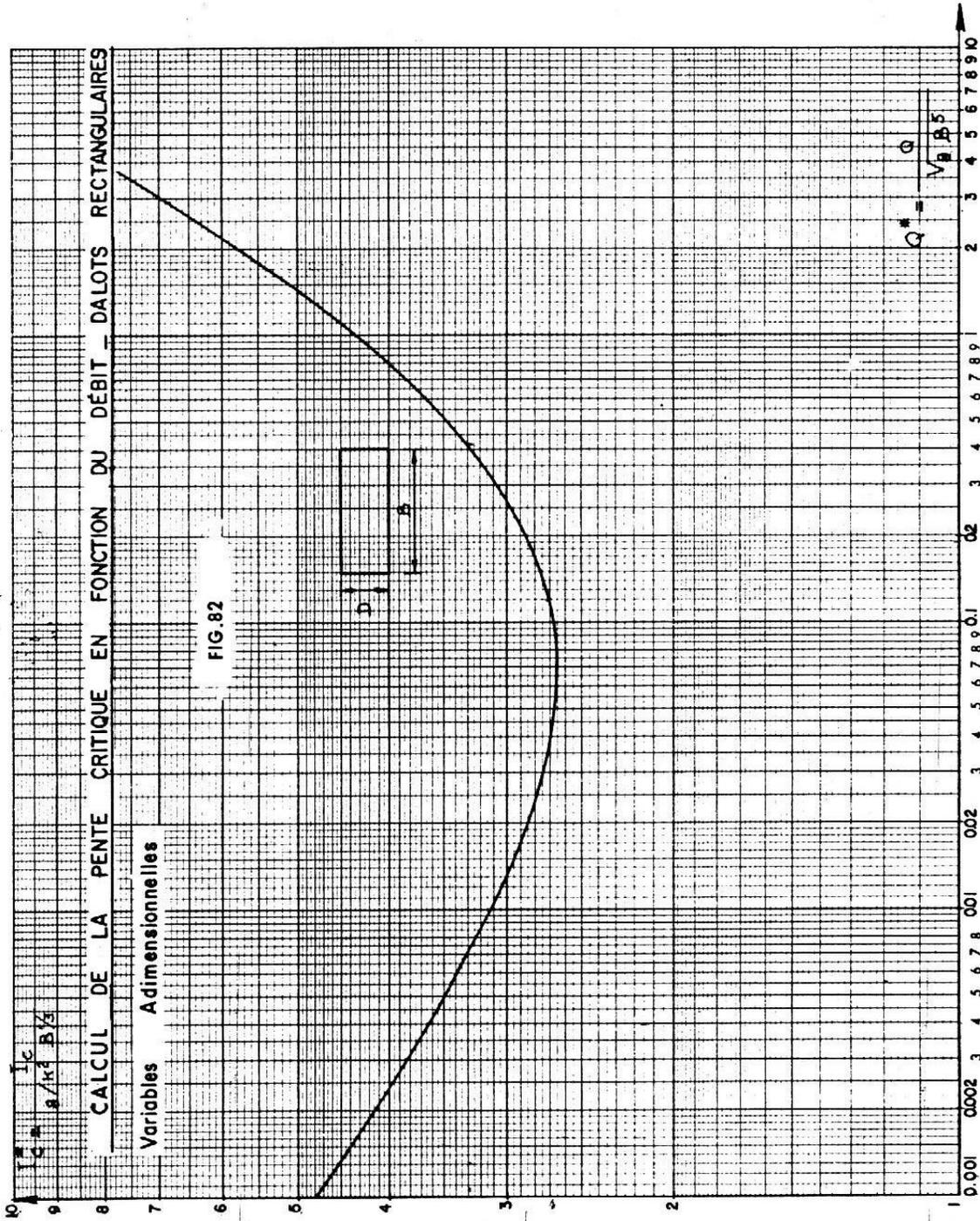
❖ Pente critique du dalot :

Il est nécessaire de s'assurer que l'ouvrage est capable d'évacuer le débit critique, correspondant à la hauteur amont. Dans ce cas, il faut au moins que la pente du canal soit au moins égale à la pente critique.

On calcule alors Q^* :

$$Q^* = \frac{Q}{gB^5} = \frac{2,86}{9,8 * 2^5}$$

$$Q^* = 0,009$$



La courbe de la pente critique en fonction du débit du dalot donne :

$$I^*_{c} = \frac{I_c}{g/k^2 * B^{1/3}} = 3,18 \quad \text{avec } K = 67 \text{ pour le béton}$$

$$\rightarrow I_c = 3,18 * \frac{9,8}{67^2} * 2^{1/3}$$

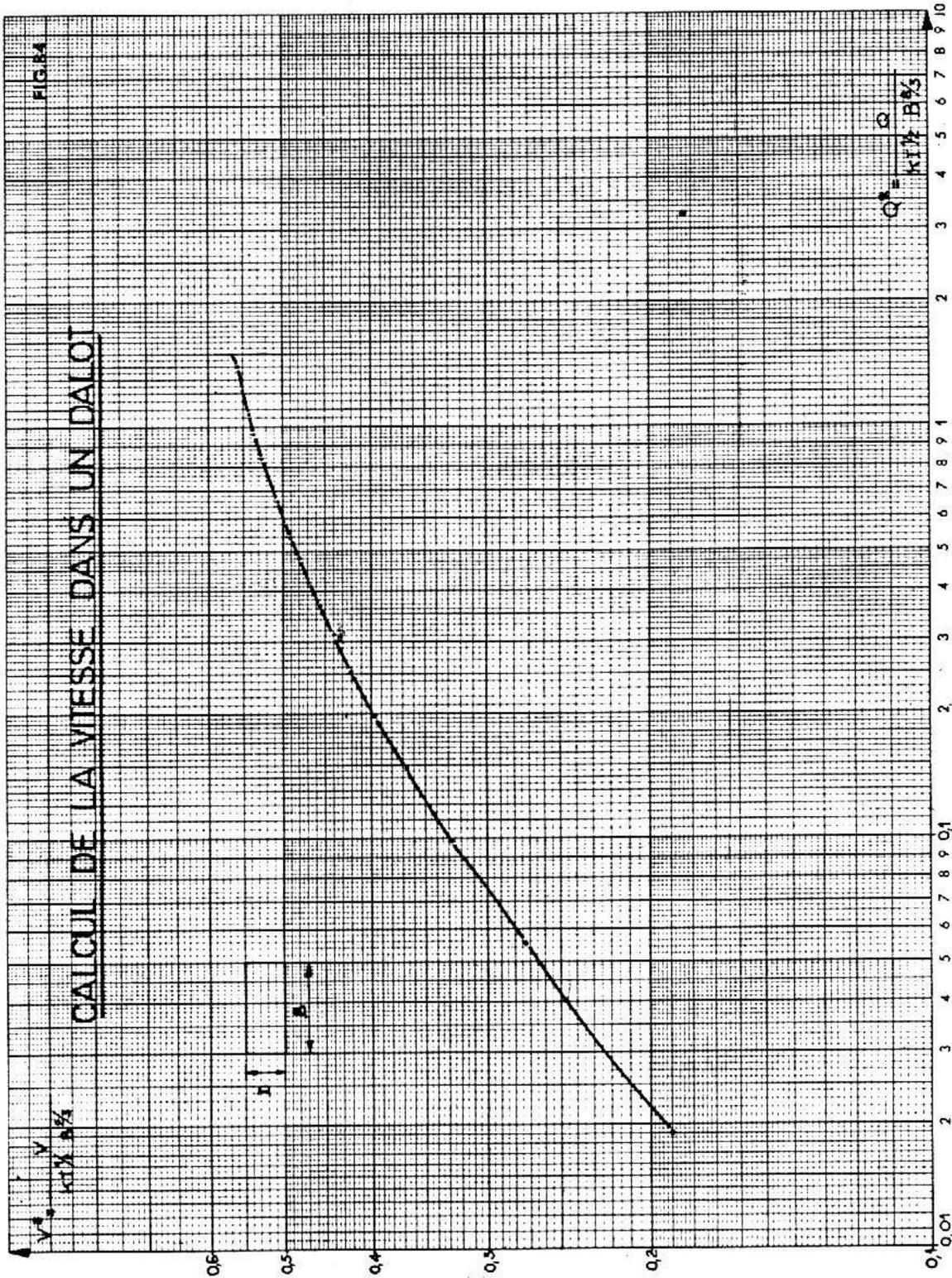
$$I_c = 0,0088$$

❖ Vérification de la vitesse d'écoulement dans l'ouvrage

$$V = k * Ic^{1/2} * B^{2/3} * V^* \quad \text{avec } K = 67 \text{ pour le béton}$$

$$Q^* = \frac{Q}{k * Ic^{1/2} * B^{8/3}} = \frac{2,86}{67 * 0,0088^{1/2} * 2^{8/3}}$$

$$Q^* = 0,072$$



$$V^* = 0,295 \text{ m/s}$$

$$V = k * Ic^{1/2} * B^{2/3} * V^* = 67 * 0,0088^{1/2} * 2^{2/3} * 0,295$$

$$\rightarrow V = 2,94 \text{ m/s}$$

$V < 3,5 \text{ m/s}$ alors la vitesse est adaptée pour le dalot.

V. Etude structurale

1. Prédimensionnement

Les dimensions des différentes parties constitutives du dalot sont déterminées. L'épaisseur sera considérée la même (uniforme) pour le radier le tablier et les pieddroits.

L'épaisseur du dalot est prise égale au quinzième de la longueur l représentant la dimension la plus grande de la cellule hydraulique. Soit :

$$e = \frac{l}{15} \quad ; \text{ avec } l = 2 \text{ m} \rightarrow e = \frac{200}{15}$$

$$e_1 = 13,33 \text{ cm}$$

Nous allons utiliser la condition de la longueur en fonction de la hauteur de remblais pour s'assurer de l'absence d'acier comprimés et d'acier transversale dans le tablier.

$$\text{Pour } H < 2 \text{ m on a } e = \frac{l}{10} - 5 \text{ cm} \rightarrow e = \frac{200}{10} - 5$$

$$e_2 = 15 \text{ cm}$$

L'épaisseur à prendre est égale à : $e = \max(e_1, e_2) = e = \max(13,33; 15)$

$$e = 15 \text{ cm}$$

Cependant, de l'absence des goussets sur le dalot nous allons épaissir les pieddroits et les traverses.

L'épaisseur considérée est donc la suivante : $e = 20 \text{ cm}$

2. Détermination des charges, efforts et sollicitations

❖ Hypothèses de calcul

Les calculs seront effectués par bande de 1.00 m linéaire.

➤ Acier :

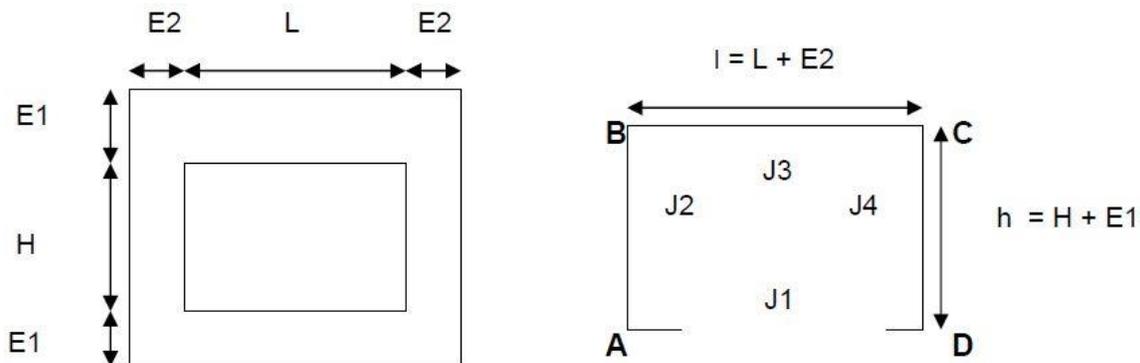
- Nuance : Acier à haute adhérence Fe 400
- Limite d'élasticité garantie Fe = 400 MPa
- Contrainte de calcul de l'acier à l'ELU $\sigma_s = \frac{Fe}{1.15} = \frac{400}{1.15} = 348 \text{ MPa}$

- Contrainte de calcul de l'acier à l'ELS $\bar{\sigma}_s = \min \left\{ \frac{2}{3} fe; \max(0.5fe; 110\sqrt{1.6 \times f_{c28}}) \right\} = 200 \text{ MPa}$

- Enrobage = 3 cm.
- Béton :
 - Poids volumique : 25 kN/m³
 - Fissuration préjudiciable pour notre dalot triple ouvertures.
 - Résistance nominale à 28j :
 - A la compression $f_{c28} = 25$ MPa
 - A la traction $f_{tj} = 0.6 + 0.06f_{c28}$
 - Contrainte limite du béton : $\bar{\sigma}_{bc} = 0.6f_{c28} = 0.6 \times 25 = 15$ MPa
- Remblai :
 - Vu la présence de remblai sur le tablier, on prend comme densité de terre ~ 20 kN/m³
 - Le coefficient de poussée des terres sera $K_a = 0.33$

Dalot 1*2,00*1,00 avec une épaisseur $e = 20$ cm

Les valeurs de sollicitations M et N (moments et efforts) seront déterminés sur la base d'un calcul en cadre fermé à partir des formules provenant de l'ouvrage de **KLEINLOGEL** de l'ouvrage « Etude Technique Détaillée et d'Aménagement de la Suite de la Voie BK17 de la Branche du Canal GOUNTE-YENA »



Dalot type

Schéma statique de calcul

Schéma statique de calcul du cadre simple

$$J_i = \frac{b_i \cdot E_i^3}{12}; \text{ avec } b_i = 1\text{m}$$

J_i : inertie de l'élément i ;

$E_i = 20$ cm : épaisseur de l'élément i ;

$h = 1,20$ m : hauteur entre fibres moyennes ;

$l = 2,20$ m : longueur entre fibre moyenne.

- Calcul des constantes

$$J_1 = J_2 = J_3 = J_4$$

$$k_1 = \frac{J_3}{J_1} = 1$$

$$k_2 = k_1 * \frac{h}{l} = 1 * \frac{1,20}{2,20} \rightarrow k_2 = 0,545$$

$$K_1 = 2k_2 + 3 = 2 * 0,545 + 3 \rightarrow K_1 = 4,09$$

$$K_2 = 3k_1 + 2k_2 = 3 * 1 + 2 * 0,545 \rightarrow K_2 = 4,09$$

$$K_3 = 3k_1 + 1 - \frac{k_1}{5} = 3 + 1 - \frac{1}{5} \rightarrow K_3 = 3,8$$

$$K_4 = 6 \frac{k_1}{5} + 3k_2 = 6 * \frac{1}{5} + 3 * 0,545 \rightarrow K_4 = 2,835$$

$$F_1 = K_1 * K_2 - k_2 = 4,09 * 4,09 - 0,545^2 \rightarrow F_1 = 16,43$$

$$F_2 = 1 + k_1 + 6k_2 = 1 + 1 + 6 * 0,545 \rightarrow F_2 = 5,27$$

- Conventions

- N_1 : effort normal dans le radier;
- N_2 : effort normal dans le piédroit de gauche
- N_{2b} : effort normal dans le piédroit de droite
- N_3 : effort normal dans le tablier.

a. Sous l'action des charges permanentes au niveau du tablier

❖ Charges permanentes au niveau du tablier

Poids propre du tablier $P = 25 * e * 1 = 25 * 0,2 * 1,00 = 5 \text{ kN/m}$:

Remblai sur dalot, $e = 0,2$ m d'où $P = 20 * e * 1,00 = 20 * 0,2 = 4 \text{ kN/m}$

Couche de roulement $e = 0,05$; $P = 24 * e * 1,00 = 24 * 0,05 = 1,2 \text{ kN/m}$

Trottoirs $P = 0,3 * 22 = 6,6 \text{ kN/m}$

On a $P_1 = \sum P_i = 5 + 4 + 1,2 + 6,6 = 16,8 \text{ kN/ml}$

➤ Détermination des moments hyperstatiques:

$$M_A = - \frac{P_1 l^2 (k_1 K_1 - k_2)}{4 F_1} = - \frac{16,8 * 2,20^2 (1 * 4,09 - 0,545)}{4 * 16,43} \rightarrow M_A = -4,39$$

$$M_B = - \frac{P_1 l^2 (K_2 - k_1 k_2)}{4 F_1} = - \frac{16,8 * 2,20^2 (4,09 - 1 * 0,545)}{4 * 16,43} \rightarrow M_B = -4,39$$

➤ Détermination des efforts normaux

$$N_1 = \frac{M_B - M_A}{h} + \frac{M_D - M_A}{l} = 0$$

$$N_3 = \frac{M_C - M_B}{l} + \frac{M_A - M_B}{h} = 0$$

$$N_2 = \frac{P_1 l}{2} + \frac{M_A - M_B}{h} + \frac{M_C - M_B}{l} = \frac{16,8 * 1,20}{2} + 0 \rightarrow N_2 = 10,08$$

$$N_{2b} = \frac{P_1 l}{2} + \frac{M_B - M_C}{l} + \frac{M_D - M_C}{h} = \frac{16,8 * 1,20}{2} + 0 \rightarrow N_{2b} = 10,08$$

➤ Détermination des moments à mi- portée

$$M_{BC-tablier} = \frac{P_1 l^2}{8} + \frac{M_B + M_C}{2} = \frac{16,8 * 1,20^2}{8} + \frac{-4,39 - 4,39}{2} = -1,366$$

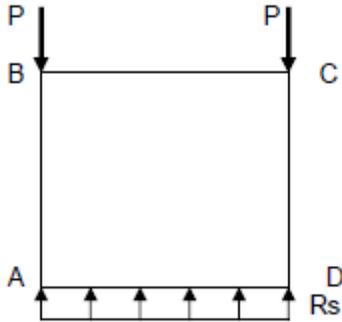
$$M_{AD-radier} = \frac{P_1 l^2}{8} + \frac{M_A + M_D}{2} = \frac{16,8 * 1,20^2}{8} + \frac{-4,39 - 4,39}{2} = -1,366$$

$$M_{AB-piedroit gauche} = \frac{M_A + M_B}{2} = \frac{-4,39 - 4,39}{2} = -4,39$$

$$M_{CD-piedroit droite} = \frac{M_C + M_D}{2} = \frac{-4,39 - 4,39}{2} = -4,39$$

SOUS L'ACTION PERMANENTE TABLIER	Moments	
	MA = MD = MB = MC	-4,39
	Efforts normaux	
	N1 = N3	0
	N2 = N2b	10,08
	Moments à mi- portée	
	MBC-tablier = MAD-radier	-1,366
	MAB-piédroit gauche = MAB-piédroit droite	-4,39

b. Sous l'action du poids des piédroits



$$P = 25 * e * h = 25 * 0,2 * 1,2 = 6 \text{ kN}$$

$$R_s = \frac{2P}{l} = \frac{2 * 6}{2,2} = 5,46 \text{ kN/ml}$$

➤ Détermination des moments hyperstatiques

$$M_A = -\frac{P l k_1 K_1}{2 F_1} = -\frac{6 * 2,2 * 1 * 4,09}{2 * 16,43} = 1,64$$

$$M_B = \frac{P l k_1 k_2}{2 F_1} = \frac{6 * 2,2 * 1 * 0,545}{2 * 16,43} = 0,219$$

➤ Détermination des efforts normaux

$$N_1 = \frac{3 P l k_1 (1 + k_2)}{2 h F_1} = \frac{3 * 6 * 2,2 (1 + 0,545)}{2 * 1,2 * 16,43} = 1,55$$

$$N_3 = -N_1 = -1,55$$

$$N_2 = P = 6$$

$$N_{2b} = P = 6$$

➤ Détermination des moments à mi- portée

$$M_{BC\text{-tablier}} = \frac{M_B + M_C}{2} = \frac{0,219 + 0,219}{2} = 0,219$$

$$M_{AD\text{-radier}} = \frac{R_s l^2}{8} + \frac{M_A + M_D}{2} = \frac{5,46 * 1,2^2}{8} + \frac{1,64 + 1,64}{2} = 2,623$$

$$M_{AB\text{-piédroit gauche}} = \frac{M_A + M_B}{2} = \frac{1,64 + 0,219}{2} = 0,93$$

$$M_{AB\text{-piédroit droite}} = \frac{M_C + M_D}{2} = \frac{0,219 + 1,64}{2} = 0,93$$

SOUS L'ACTION DU POIDS DES PIEDROITS	Moments	
	MA=MD	1,64
	MB=MC	0,219
	Efforts normaux	
	N1	1,55
	N3	-1,55
	N2 = N2b	6.00
	Moments à mi portée	
	MBC-tablier	0,219
	MAD-radier	2,623
MAB-piédroit gauche = MAB-piédroit droite		0,93

c. Sous l'action de la poussée des terres

$$\sigma_1 = \gamma z_1 = 0,33 * 20 * 0,6 = 3,96 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_2 = \gamma z_2 = 0,33 * 20 * 1,80 = 11,88 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1 = 7,92 \text{ kN/m}^2$$

➤ Détermination des moments hyperstatiques

$$M_A = -\frac{k_2(k_2 + 3) \sigma_1 h^2}{4F_1} - \frac{k_2(3k_2 + 8)\Delta\sigma h^2}{20F_1}$$

$$= -\frac{0,545(0,545 + 3)3,96 * 1,2^2}{4 * 16,43} - \frac{0,545(3 * 0,545 + 8)7,92 * 1,2^2}{20 * 16,43} = -0,35$$

$$M_B = -\frac{k_2(3k_1 + k_2) \sigma_1 h^2}{4F_1} - \frac{k_2(7k_2 + 2k_2)\Delta\sigma h^2}{20F_1}$$

$$= -\frac{0,545(3 + 0,545)3,96 * 1,2^2}{4 * 16,43} - \frac{0,545(7 * 0,545 + 2 * 0,545)7,92 * 1,2^2}{20 * 16,43}$$

$$= -0,179$$

➤ Détermination des moments à mi- portée

$$M_{BC\text{-tablier}} = \frac{M_B + M_C}{2} = \frac{-0,179 - 0,179}{2} = -0,179$$

$$M_{AD\text{-radier}} = \frac{M_A + M_D}{2} = \frac{-0,35 - 0,35}{2} = -0,35$$

$$M_{AB\text{-piédroit gauche}} = \frac{\sigma_1 h^2}{8} + \frac{\Delta\sigma h^2}{8} + \frac{M_A + M_B}{2} = \frac{3,96 * 1,2^2}{8} + \frac{7,92 * 1,2^2}{8} + \frac{-0,35 - 0,179}{2}$$

$$= 1,87$$

$$M_{CD-\text{piedroit droite}} = M_{AB-\text{piedroit gauche}} = 1,87$$

➤ Détermination des efforts normaux

$$N_1 = \frac{(\sigma_1 + 2\sigma_2) h}{6} + \frac{M_B - M_A}{h} + \frac{M_D - M_A}{l} = \frac{(3,96 + 2 * 11,88) 1,2}{6} + \frac{-0,179 + 0,35}{1,2} + 0$$

$$= 5,69$$

$$N_3 = \frac{(2\sigma_1 + \sigma_2) h}{6} + \frac{M_C - M_B}{l} + \frac{M_A - M_B}{h} = \frac{(2 * 3,96 + 11,88) 1,2}{6} + 0 + \frac{-0,35 + 0,179}{1,2}$$

$$= 3,16$$

$$N_2 = N_{2b} = 0$$

SOUS L'ACTION DE LA POUSSEE DES TERRES	Moments	
	MA=MD	-0,35
	MB=MC	-0,179
	Efforts normaux	
	N1	5,69
	N3	3,16
	N2 = N2b	0.00
	Moments à mi- portée	
	MBC-tablier	-0,179
	MAD-radier	-0,35
	MAB-piédroit gauche = MCD-piédroit droite	1,87

d. Sous l'action du convoi de camions

➤ Valeur de la surcharge

$$\text{Calcul de la charge répartie : } q_1 = \frac{640 \times 1}{2,2 \times 5} = 58,18 \text{ kN/m}^2$$

Coefficient de majoration dynamique :

$$\delta = 1 + \frac{0,40}{1+0,2L} + \frac{0,60}{1+4\frac{G}{S}}$$

Avec :

- L : longueur de la travée étudiée, L = 2 m
- G : Poids total de ladite travée, G = P₁ × L = 16,8 × 2 = 33,6 kN
- S : Poids total maximal des essieux du Système Bt, S = S = 58,18 × 2 = 116,36 kN

$$\delta = 1 + \frac{0.40}{1+(0.2 \times 2)} + \frac{0.60}{1+4 \times \frac{33.6}{116.36}} \cong 1,56$$

D'où une surcharge uniformément répartie :

$$q = q_1 \times \delta = 58,18 \times 1,56 = 91,02 \text{ kN/ml}$$

➤ Détermination des moments hyperstatiques

$$M_A = -\frac{q l^2 (k_1 K_1 - k_2)}{4F_1} = -\frac{58,18 * 2,2^2 (4,09 - 0,545)}{4 * 16,43} = -15,19$$

$$M_B = -\frac{q l^2 (K_2 - k_1 k_2)}{4F_1} = -\frac{58,18 * 2,2^2 (4,09 - 0,545)}{4 * 16,43} = -15,19$$

➤ Détermination des moments à mi- portée

$$M_{BC\text{-tablier}} = \frac{q l^2}{8} + \frac{M_B + M_C}{2} = \frac{58,18 * 2,2^2}{8} + \frac{-15,19 - 15,19}{2} = 20$$

$$M_{AD\text{-radier}} = \frac{q l^2}{8} + \frac{M_A + M_D}{2} = \frac{58,18 * 2,2^2}{8} + \frac{-15,19 - 15,19}{2} = 20$$

$$M_{AB\text{-piedroit}} = \frac{M_A + M_B}{2} = \frac{-15,19 - 15,19}{2} = -15,19$$

➤ Détermination des efforts normaux

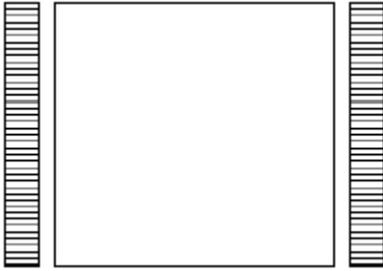
$$N_1 = N_3 = 0$$

$$N_2 = N_{2b} = \frac{q l}{2} = \frac{58,18 * 2,2}{2} = 64$$

SOUS L'ACTION DU CONVOI DE CAMIONS DE TYPE Bc-Niger	Moments	
	MA = MD = MB = MC	-15,19
	Efforts normaux	
	N1 = N3	0.00
	N2 = N2b	64
	Moments à mi- portée	
	MBC-tablier = MAD-radier	20
	MAB-piédroit gauche = MCD-piédroit droite	-15,19

e. Sous l'action de la surcharge routière de remblai

$$q = 10 \text{ kN/m}^2$$



$$\sigma = k q = 0,33 * 10 = 3,3 \text{ kN/m}^2$$

$$R = \sigma h = 3,3 * 1,2 = 4 \text{ KN/m}$$

➤ Détermination des moments hyperstatiques

$$M_A = -\frac{k_2(k_2 + 3)\sigma h^2}{4F_1} = -\frac{0,545(0,545 + 3)3,3 * 1,2^2}{4 * 16,43}$$

$$M_D = M_C = M_B = M_A = -0,14$$

➤ Détermination des moments à mi- portée

$$M_{AB-\text{piedroit}} = \frac{\sigma h^2}{8} + \frac{M_A + M_B}{2} = \frac{3,3 * 1,2^2}{8} + \frac{-0,14 - 0,14}{2} = 0,45$$

$$M_{AD-\text{radier}} = M_{BC-\text{tablier}} = \frac{M_A + M_D}{2} = \frac{-0,14 - 0,14}{2} = -0,14$$

➤ Détermination des efforts normaux

$$N_1 = \frac{\sigma h}{3} = \frac{3,3 * 1,2}{3} = 1,32$$

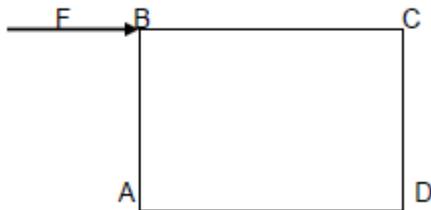
$$N_3 = \frac{\sigma h}{2} = \frac{3,3 * 1,2}{2} = 1,98$$

$$N_2 = N_{2b} = 0$$

SOUS L'ACTION DE LA SURCHARGE ROUTIERE DE REMBLAI	Moments	
	MA = MD = MB = MC	-0,14
	Efforts normaux	
	N1	1.32
	N3	1.98
	N2 = N2b	0.00
	Moments à mi- portée	
	MBC-tablier = MAD-radier	-0,14
MAB-piédroit	0.45	

f. Sous l'action de la force de freinage

Nous avons 2 essieux de 130 kN chacun placé côte à côte



$$F = 260/5.00 = 52 \text{ kN/ml}$$

➤ Détermination des moments hyperstatiques

$$M_A = \pm \frac{F h K_3}{2 F_2} = \pm \frac{52 * 1,2 * 3,8}{2 * 5,27} = \pm 22,5$$

$$M_B = \pm \frac{F h K_4}{2 F_2} = \pm \frac{52 * 1,2 * 2,835}{2 * 5,27} = \pm 16,78$$

➤ Détermination des moments à mi-travée

$$M_{BC} = M_{AD} = 0$$

$$M_{AB} = -\frac{M_A + M_B}{2} = -\frac{22,5 + 16,78}{2} = -19,64$$

➤ Détermination des efforts normaux

$$N_1 = \pm \frac{F}{2} = \pm \frac{52}{2} = 26$$

$$N_3 = -N_1 = -26$$

$$N_{2b} = \pm \frac{F h K_4}{l F_2} = \pm \frac{52 * 1,2 * 2,835}{2,2 * 5,27} = 15,26$$

SOUS L'ACTION DE LA FORCE DE FREINAGE	Moments	
	MA = MD	±22,5
	MB = MC	±16,78
	Efforts normaux	
	N1	±26.00
	N3	±26.00
	N2 = N2b	±15.26
	Moments à mi- portée	
	MBC-tablier = MAD-radier	0.00
	MAB-piédroit gauche = MCD-piédroit droite	-19,64

		M _A	M _{AB}	M _B	M _{BC}	M _C	M _{CD}	M _D	M _{DA}	N ₁	N ₂	N _{2b}	N ₃
	1	-4,39	-4,39	-4,39	-1,366	-4,39	-4,39	-4,39	-1,366	0	10,08	10,08	0
	2	1,64	0,93	0,219	0,219	0,219	0,93	1,64	2,623	1,55	6,00	6,00	-1,55
	3	-0,35	1,87	-0,179	-0,179	-0,179	1,87	-0,35	-0,35	5,69	0,00	0,00	5,69
	4	-15,19	-15,19	-15,19	20	-15,19	-15,19	-15,19	20	0,00	64	64	0,00
	5	-0,14	0,45	-0,14	-0,14	-0,14	0,45	-0,14	-0,14	1,32	0,00	0,00	1,98
	6	22,5	-19,64	16,78	0,00	16,78	-19,64	22,5	0,00	26,00	15,26	15,26	26,00
Charges permanentes	1+2+3	-3,1	-1,59	-4,35	1,326	-4,35	-1,59	-3,1	0,91	7,24	16,08	16,08	4,14
Charges variables	4+5+6	7,17	-34,38	1,45	19,86	1,45	-34,38	7,17	19,86	27,32	79,26	79,26	27,98

3. Calcul des armatures :

a. Calcul des armatures du tablier :

$b = 1.00 \text{ m}$; $h = 0.20 \text{ m}$; $d = 0.9h = 0.18 \text{ m}$; $d' = 0.1h = 0.02 \text{ m}$; $Fb = 14.16 \text{ MPa}$; $Fsu = 348 \text{ MPa}$

➤ Armatures d'appuis aux abouts B et C (lit supérieur)

- Calcul à l'Etat Limite Ultime

$$M_u = 1.35G + 1.6Q$$

$$M_u = 1.35 * 4.35 + 1.6 * 1.45 = 8,19 \text{ kN.m}$$

$$\mu = \frac{M_u}{bd^2Fb} = 0.018$$

$$\mu < \mu_{AB} = 0.186$$

- Calcul de μ_L

$$\mu_L = 0.39 \text{ Pour les aciers FeE400 MPa}$$

$$\mu < \mu_L$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2 * 0.018})$$

$$\alpha = 0.023 < \alpha_{AB} = 0.259 \Rightarrow \text{Pivot A}$$

- Bras de levier:

$$Z_u = d(1 - 0.4\alpha) = 0.18(1 - 0.4 * 0.022) = 0.18 \text{ m}$$

$$A_{St} = \frac{M_u}{Z_u * f_{su}} = \frac{8,19 \cdot 10^{-3}}{0.18 * 348} = 1,31 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{St} = 1,31 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

- Calcul à l'Etat Limite de Service

$$M_{ser} = G + 1.2Q$$

$$M_{ser} = 4.35 + 1.2 * 1.45 = 6.09 \text{ kN.m}$$

- Le moment résistant $M_{r_{serb}}$

$$M_{r_{serb}} = \frac{bd^2}{2} \bar{\sigma}_{bc} \times \bar{\alpha}_{ser} \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right)$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n\bar{\sigma}_{bc}}{n\bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201.6} = 0.53$$

$$\text{Alors : } M_{r_{serb}} = \frac{1 \times 0.18^2}{2} \times 15 \times 0.53 \times \left(1 - \frac{0.53}{3}\right)$$

$$M_{r_{serb}} = 0.106 \text{ MN.m} > M_{ser} \Rightarrow \text{pas d'aciers comprimés}$$

- Section d'aciers principaux :

$$A_{pr} = \frac{M_{ser}}{d \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{st}} = \frac{6,09.10^{-3}}{0,18 \left(1 - \frac{0,53}{3}\right) \times 201,6} = 2,04.10^{-4} m^2$$

$$A_{pr} = 2,04.10^{-4} m^2$$

- Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4}$$

- Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4}$$

$$A_{rep} = \frac{8,42.10^{-4}}{4} = 2,1.10^{-4} m^2$$

- Condition de non fragilité :

$$A_{min} = \frac{0,23 \times ft28 \times b \times d}{fe} = \frac{0,23 \times 2,1 \times 1 \times 0,18}{400} = 2,17.10^{-4} m^2$$

Sections retenues pour le ferrailage des armatures du tablier en travée :

- Section d'aciers principaux :

$$A_{pr} = 8,42.10^{-4} m^2$$

- Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = 2,17.10^{-4} m^2$$

b. Calcul des armatures du radier :

b = 1.00 m; h = 0.20 m; d = 0.9h = 0.18 m; d' = 0.1h = 0.02 m; Fb = 14.16 MPa; Fsu = 348 MPa

- Armatures d'appuis aux abouts A et D (lit inférieur)

- Calcul à l'Etat Limite Ultime

$$M_u = 1.35G + 1.6Q$$

$$M_u = 1.35 \times 3,1 + 1.6 \times 7,17 = 15,67 kN.m$$

$$\mu = \frac{M_u}{bd^2 Fb} = 0.034$$

$$\mu < \mu_{AB} = 0.186$$

- Calcul de μ_L

$$\mu_L = 0.39 \text{ Pour les aciers FeE400 MPa}$$

$$\mu < \mu_L$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.034})$$

$$\alpha = 0.043 < \alpha_{AB} = 0.259 \Rightarrow \text{Pivot A}$$

- Bras de levier :

$$Z_u = d(1 - 0.4\alpha) = 0.18(1 - 0.4 \times 0.043) = 0.18m$$

$$A_{St} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}} = \frac{15,67 \cdot 10^{-3}}{0.18 \times 348} = 2,5 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$A_{St} = 2,5 \cdot 10^{-4} m^2$$

- Calcul à l'Etat Limite de Service

$$M_{ser} = G + 1.2Q$$

$$M_{ser} = 3,1 + 1.2 \times 7,17 = 11,7 \text{ kN.m}$$

- Le moment résistant $M_{r_{serb}}$

$$M_{r_{serb}} = \frac{bd^2}{2} \bar{\sigma}_{bc} \times \bar{\alpha}_{ser} \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right)$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n\bar{\sigma}_{bc}}{n\bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,6} = 0.53$$

D'où :

$$M_{r_{serb}} = \frac{1 \times 0.18^2}{2} \times 15 \times 0.53 \times \left(1 - \frac{0.53}{3}\right)$$

$$M_{r_{serb}} = 0.106 \text{ MN.m} > M_{ser} \Rightarrow \text{pas d'aciers comprimés}$$

- Section d'aciers principaux :

$$A_{pr} = \frac{M_{ser}}{d \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{st}} = \frac{11,7 \cdot 10^{-3}}{0,18 \left(1 - \frac{0,53}{3}\right) \times 201,6} = 5,6 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$A_{pr} = 3,92 \cdot 10^{-4} m^2$$

- Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4}$$

$$A_{rep} = \frac{3,92 \cdot 10^{-4}}{4} = 0,98 \cdot 10^{-4} m^2$$

- Condition de non fragilité :

$$A_{min} = \frac{0.23 \times ft28 \times b \times d}{f_e} = \frac{0.23 \times 2,1 \times 1 \times 0,18}{400} = 2,17 \cdot 10^{-4} m^2$$

Sections retenues pour le ferrailage des armatures du tablier en travée :

- Section d'aciers principaux :

$$A_{pr} = 3,92.10^{-4}m^2$$

- Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = 2,17.10^{-4}m^2$$

- Armatures en travée AD (lit supérieur)

- Calcul à l'Etat Limite Ultime

$$M_u = 1.35G + 1.6Q$$

$$M_u = 1.35 \times 0,91 + 1.6 \times 19,86 = 33 \text{ kN.m}$$

$$\mu = \frac{M_u}{bd^2F_b} = 0.072$$

$$\mu < \mu_{AB} = 0.186$$

- Calcul de μ_L

$$\mu_L = 0.39 \text{ Pour les aciers FeE400 MPa}$$

$$\mu < \mu_L$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.072})$$

$$\alpha = 0.093 < \alpha_{AB} = 0.259 \Rightarrow \text{Pivot A}$$

- Bras de levier :

$$Z_u = d(1 - 0.4\alpha) = 0.18(1 - 0.4 \times 0.093) = 0.17 \text{ m}$$

- La section d'aciers :

$$A_{St} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}} = \frac{33.10^{-3}}{0.17 \times 348}$$

$$A_{St} = 5,56.10^{-4} m^2$$

- Calcul à l'Etat Limite de Service

$$M_{ser} = G + 1.2Q$$

$$M_{ser} = 0,91 + 1.2 \times 19,86 = 24,74 \text{ kN.m}$$

- Le moment résistant $M_{r_{serb}}$

$$M_{r_{serb}} = \frac{bd^2}{2} \bar{\sigma}_{bc} \times \bar{\alpha}_{ser} \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right)$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n\bar{\sigma}_{bc}}{n\bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201.6} = 0.53$$

$$\text{D'où : } M_{r_{serb}} = \frac{1 \times 0.18^2}{2} \times 15 \times 0.53 \times \left(1 - \frac{0.53}{3}\right)$$

$$M_{r_{serb}} = 0.106 \text{ MN.m} > M_{ser} \Rightarrow \text{pas d'aciers comprimés}$$

- Section d'aciers principaux :

$$A_{pr} = \frac{M_{ser}}{d \left(1 - \frac{\alpha_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{st}} = \frac{24,74 \cdot 10^{-3}}{0,18 \left(1 - \frac{0,53}{3}\right) \times 201,6} = 8,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{pr} = 8,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

- Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4}$$

$$A_{rep} = \frac{8,28 \cdot 10^{-4}}{4} = 2,07 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

- Condition de non fragilité :

$$A_{min} = \frac{0.23 \times ft28 \times b \times d}{fe} = \frac{0.23 \times 2,1 \times 1 \times 0,18}{400} = 2,17 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Sections retenues pour le ferrailage des armatures du tablier en travée :

- Section d'aciers principaux :

$$A_{pr} = \mathbf{8,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

- Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = \mathbf{2,17 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

c. Calcul des armatures des piédroits

$b = 1.00 \text{ m}$; $h = 0.20 \text{ m}$; $d = 0.9h = 0.18\text{m}$; $d' = 0.1h = 0.02 \text{ m}$; $Fb = 14.16 \text{ MPa}$; $Fsu = 348 \text{ MPa}$

- Calcul à l'Etat Limite Ultime

$$M_u = 1.35G + 1.6Q$$

$$M_u = 1.35 \times 1,59 + 1.6 \times 34,38 = 57,15 \text{ kN.m}$$

$$N_u = 1.35 \times 16,08 + 1.6 \times 79.26 = 148,52 \text{ kN}$$

- L'excentricité e

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{57,15}{148,52} = 0,38 \text{ m}$$

- Calcul de l'effort de compression maximal

$$Nb_{max} = b \times h \times Fbc = 1 \times 0.20 \times 14.16 = 2.83$$

- Le coefficient de remplissage :

$$\varphi_1 = \frac{Nu}{Nb_{max}} = \frac{148,52}{2832} = 0.052$$

- L'excentricité relative :

$$\ell < 2/3 \Rightarrow \ell = \frac{1 + \sqrt{9 - 12\psi_1}}{4(3 + \sqrt{9 - 12\psi_1})} = \frac{1 + \sqrt{9 - 12 \times 0.061}}{4(3 + \sqrt{9 - 12 \times 0.061})} = 0.16$$

$$\ell = 0.16$$

$$e_{Nc} = \ell \times h = 0.032$$

$e > e_{Nc} \Rightarrow$ section partiellement comprimée

- Calcul du moment fictif :

$$M_{fictif} = Nu \times e_A \quad \text{Avec } e_A = e + (d - 0.5h)$$

$$e_A = 0.38 + (0.18 - 0.5 \times 0.20) = 0.46m$$

$$M_{fictif} = 0.068 \text{ MN.m}$$

$$\mu = \frac{M_{fictif}}{bd^2F_b} = 0.15$$

$$\mu < \mu_{AB} = 0.186$$

- Calcul de μ_L

$$\mu_L = 0.39 \text{ Pour les aciers FeE400 MPa}$$

$$\mu < \mu_L$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.15}) = 0.2$$

- Bras de levier :

$$Z_u = d(1 - 0.4\alpha) = 0.18(1 - 0.4 \times 0.2) = 0.17 \text{ m}$$

- Section d'aciers fictifs :

$$A_{St} = \frac{M_{fictif}}{Z_u \times f_{su}} = \frac{0.068}{0.17 \times 348} = 11,49.10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{St} = 11,49.10^{-4} \text{ m}^2$$

- Section d'aciers réels :

$$A_{St,réel} = A_{St,fictif} - \frac{Nu}{F_{Su}} = 11,49.10^{-4} - \frac{0.148}{348} = 2,11.10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{St,réel} = 7,24.10^{-4} \text{ m}^2$$

- Calcul à l'Etat Limite de Service

$$M_{ser} = G + 1.2Q = 1,59 + 1.2 \times 34,38 = 42.85 \text{ kN.m}$$

- Le moment réduit $M_{r_{serb}}$

$$M_{r_{serb}} = \frac{bd^2}{2} \bar{\sigma}_{bc} \times \bar{\alpha}_{ser} \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right)$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n\bar{\sigma}_{bc}}{n\bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201.6} = 0.53$$

$$D'où : M_{r_{serb}} = \frac{1 \times 0.18^2}{2} \times 15 \times 0.53 \times \left(1 - \frac{0.53}{3}\right)$$

$$M_{r_{serb}} = 0.106 \text{ MN.m} > M_{ser} \Rightarrow \text{pas d'aciers comprimés}$$

- Section d'aciers principaux :

$$A_{pr} = \frac{M_{ser}}{d \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{st}} = \frac{42,85 \cdot 10^{-3}}{0,18 \left(1 - \frac{0,53}{3}\right) \times 201,6} = 14,34 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{pr} = 14,34 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

- Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4} = \frac{14,34 \cdot 10^{-4}}{4} = 3,59 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

- Condition de non fragilité :

$$A_{min} = \frac{0.23 \times ft28 \times b \times d}{fe} = \frac{0.23 \times 2,1 \times 1 \times 0,18}{400} = 2,17 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Sections retenues pour le ferrailage des armatures du tablier en travée :

- Section d'aciers principaux :

$$A_{pr} = 14,34 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

- Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = 3,59 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Sollicitations considérées		Valeurs	Aciers principaux		Acier de répartition		
			Théorique (cm ²)	Choix	Théorique (cm ²)	Choix	
Tablier	Moment fléchissant	Travée	33,57	8,42	8HA12 St = 10 cm	2,17	4HA10 St = 19,2 cm
		Appuis	8,19	2,17	4HA10 St = 19,2 cm	2,17	4HA10 St = 19,2 cm
Radier	Moment fléchissant	Travée	33	8,28	8HA12 St = 10 cm	2,17	4HA10 St = 19,2 cm
		Appuis	15,67	3,92	4HA12 St = 19 cm	2,17	4HA10 St = 19,2 cm
Piédroits	Moment fléchissant	57,15	14,34	8HA16 St = 9,7 cm	3,59	4HA12 St = 19 cm	
	Effort normal	148,52					

Annexe 6 : Devis quantitatif et estimatif

Cette partie comprend le tableau de détermination du débit quantitatif et estimatif du projet. Les montants sont hors taxe.

N° Prix	Désignations	Unités	Quantités	P.U. (F CFA)	Montant (HT- HD) F CFA
100	INSTALLATION DE CHANTIER				
101	Installation des bases	FF	1	2,189,991,569	2,189,991,569
102	Installation Centrale de Concassage	FF	1	783,960,448	783,960,448
103	Amenée et repli du matériel	FF	1	525,277,331	525,277,331
104	Installation de la Mission de contrôle	FF	1	296,821,293	296,821,293
105	Forage pour approvisionnement de l'eau	ml	350	354,452	124,058,200
106	Provisions déplacement des réseaux divers existants (Téléphone,électricité et eau)				
106,1	Réseaux SONITEL (Téléphonique)	FF	1	144,485,944	144,485,944
106,2	Réseaux NIGELEC (électricité)	FF	1	70,224,904	70,224,904
106,3	Réseaux SEEN ET SPEEN (eau)	FF	1	394,302,347	394,302,347
	Sous total 100				4,529,122,036
200	DEGAGEMENT DES EMPRISES ET TERRASSEMENTS				
201	Nettoyage de l'emprise	m2	87,980	445	39,151,100
202	Déblai meuble mis en remblai ou en dépôt	m3	16,676	4,961	82,729,636
203	Déblai rocheux mis en dépôt	m3	294	25,000	7,350,000
204	Remblais provenant d'emprunt	m3	3,101	7,717	23,930,417
205	Abattage et déssouchage d'arbre de circonférence supérieure à 1m	U	61	121,201	7,393,261
206	Démolition d'ouvrages existants en béton ou en maçonnerie	m3	1,787	73,331	131,042,497
207	Démolition des constructions existantes:				

207,1	Construction en dur	m2	1,050	19,674	20,657,700
207,2	Construction en banco	m2	0	14,819	-
208	Dépose de buses métalliques ou en béton	U	3	934,932	2,804,796
209	Purge de mauvais sols	m3	657	14,554	9,561,978
210	Plus-value de transport aux prix au-delà de 3 km	m3*km	140,944	265	37,350,160
211	Scarification de la chaussée existante	m2	6,260	1,081	6,767,060
212	Finition de la plate-forme des terrassements	m2	14,085	276	3,887,460
	Sous total 200				372,626,065
300	CHAUSSEES ET DEPENDANCES				
301	Grave latéritique pour couche de fondation	m3	10,984	9,392	103,161,728
302	Grave latéritique pour couche de base	m3		9,646	-
302'	Sol ciment pour couche de base	m3	10,435	25,500	266,092,500
303	Plus-value de transport aux prix au-delà de 5 km	m3*km	134,083	265	35,531,995
304	Couche d'imprégnation	m2	42,378	1,420	60,176,760
305	Couche d'accrochage	m2	42,378	583	24,706,374
306	Couche de roulement en beton bitumineux (BB 0/10)	m3	2,119	326,459	691,766,621
307	Mise en œuvre monocouche	m2	42,378	1,791	75,898,998
308	Enduit superficiel en bicouche	m2		3,318	-
309	Plus-value pour transport de granulat de toutes dimensions pour bétons, enduit superficiel et enrobés	m3*km	116,892	244	28,521,648
	Sous total 300				1,285,856,624
400	ASSAINISSEMENT - DRAINAGE				
401	Fouilles en terrain meuble ou rippable	m3	3,905	8,900	34,754,500
402	Remblai pour bloc technique et assise de dalle	m3	372	17,575	6,537,900
403	Dalot de type 1,00x2,00x1,00	ml	19	55,000	1,017,500

404	Caniveau en béton armé 1,00x1,00 m	ml	2,030	247,924	503,285,720
405	Dalle de couverture pour caniveaux 1,00x1,00m	ml	2,030	76,299	154,886,970
406	Fourniture et mise en œuvre de gabions	m3	36	92,881	3,343,716
407	Fourniture et mise en œuvre de perré maçonné	m2	4,675	30,411	142,171,425
408	Béton de propreté dosé à 150 kg/m3	m3	1,134	134,207	152,190,738
409	Béton dosé à 350 kg/m3	m3	2,277	181,398	413,043,246
410	Acier haute adhérence pour béton armé	Kg	89,816	1,240	111,371,840
411	Coffrages	m2	2,761	19,080	52,679,880
412	Descente d'eau en maçonnerie sur remblais	m3	119	125,663	14,953,897
413	Bordure de trottoir type T2	ml	16,732	24,106	403,341,592
414	Bordures arasées	ml	556	20,744	11,533,664
415	Pavé autobloquant	m2	10,032	27,147	272,338,704
	Sous total 400				2,277,451,292
500	ENVIRONNEMENT				
501	Plantations d'alignements et d'ombrages	U	251	11,310	2,838,810
	Sous total 500				2,838,810
600	SIGNALISATION				
601	Signalisation horizontale				-
601,1	Bande de peinture blanche continue ou discontinue d'axe de module T'1 de largeur 0,12 m (2U)	ml	1,517	1,399	2,122,283
601,2	Bande continue ou discontinue de largeur 0.18m (3U)	ml	0	1,654	-
602	Signalisation verticale				
602,1	Panneaux de danger, de police, d'interdiction, de priorité, de prescription et de balise	U	109	204,686	22,310,774
602.2	Panneaux directionnels et d'indication	U	2	293,970	587,940
	Sous total 600				25,020,997
700	ECLAIRAGE PUBLIC				

701	Fourniture et pose des candélabres et accessoires				
701,1	Simple crosse	U	46	2,787,538	128,226,748
701,2	Double crosse	U	56	3,482,401	195,014,456
	Sous total 700				323,241,204
800	FEUX OPTIQUES				
801	Fourniture et Pose de feux optiques	U	8	6,217,995	49,743,960
	Sous total 800				49,743,960
	TOTAL GENERAL EN FRANCS CFA HORS TOUTES TAXES, HORS DROITS DE DOUANES, HORS ENREGISTREMENT				8,865,900,988

