



**Etudes techniques d'avant-projet détaillé des travaux de
réhabilitation et de renforcement de la route Koupela-Frontière
du Niger**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER GENIE CIVIL
OPTION : ROUTES ET OUVRAGES D'ART

Présenté et soutenu publiquement le 02 Novembre 2016 par

Hugues-Eymard SEDEGO

Dr Abdou LAWANE
Enseignant-Chercheur 2iE

M. Alban DODJO
Ingénieur des Etudes

Jury d'évaluation du stage :

Président : M. BOUREIMA

Membres et correcteurs : M. LAWANE
M. OUEDRAOGO
M. LO

Promotion 2015/2016

DEDICACE

Nous tenons à dédier ce document :

- ✚ A Dieu le créateur pour la santé dont il me gratifie chaque jour de ma vie
- ✚ A mon père **Jeremie SEDEGO** qui n'a jamais ménagé ses efforts pour m'offrir le meilleur
- ✚ A ma mère et mes sœurs pour leurs prières, soutien et encouragement
- ✚ A ma binôme et amie de toujours **Lafissou KOUACOU**
- ✚ A tous mes amis, camarades et proches qui chacun à leur manière m'ont apporté leur soutien

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont tout d'abord à Dieu le Père sans qui rien de tout cela n'aurait été possible et aux personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail. Ensuite, nous souhaitons adresser nos remerciements:

- ✚ Au Docteur Abdou LAWANE, directeur de mémoire, enseignant à 2^{ie} qui a été très disponible et impliqué
- ✚ A monsieur Ousmane TIENDREBEOGO, directeur général de ACE Ingénieurs Conseils pour nous avoir acceptés au sein de son entreprise
- ✚ A monsieur Alban DADJO, ingénieur à ACE Ingénieurs Conseils, maître de stage, pour ses conseils et éclaircissements
- ✚ A tout le corps professoral de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 2IE pour ces années de formation et de sacrifices
- ✚ A tous mes camarades de classe, plus particulièrement la promotion de master II ROA

RESUME

Le présent mémoire qui a pour thème « Etudes techniques d'avant-projet détaillé de réhabilitation et de renforcement de la route Koupela-Frontière du Niger » s'inscrit dans le cadre de la réhabilitation d'un tronçon de la route communautaire CU2a long de 252 km. Cependant, le tronçon soumis à l'étude va du Pk 0+000 au Pk 10+000 soit une longueur de 10 km.

Cette étude vise à concevoir une route qui réponde à la fois aux normes d'une route communautaire telles que prescrites par l'UEMOA et à la durée de vie projetée de 20 ans, à évaluer les matériaux et moyens financiers à mobiliser pour la mise en œuvre du projet et à évaluer les impacts possibles sur l'environnement ainsi que les mesures pouvant les atténuer.

L'étude de conception géométrique suivant les vitesses de références adaptées aux zones d'étude à savoir en agglomération et hors agglomération s'est faite sur COVADIS et a abouti à la réalisation d'un axe en plan, de profils en long et en travers.

L'étude géotechnique a abouti à la détermination des caractéristiques des zones d'emprunt, à la détermination de la classe de trafic qui est un T4 ainsi que l'état de dégradation de la chaussée qui est un Q5. A partir de ces études, il en découle que la solution de réhabilitation la plus adaptée est un renforcement de la chaussée actuelle et grâce au Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux CEBTP, le dimensionnement donne une couche de fondation de 25 cm graves latéritiques naturels améliorées à 3% de ciment, une couche de base de 8 cm de grave bitume et une couche de roulement de 5 cm de béton bitumineux à module élevé.

L'assainissement de la route s'est fait grâce à l'étude hydrologie et hydraulique qui ont respectivement permis la détermination des débits de projet et les dimensions des ouvrages d'assainissement qui sont essentiellement constitués de dalots et de caniveaux.

Afin de limiter les impacts possibles du projet sur son milieu récepteur une étude environnementale a été menée. Quant à l'estimation des coûts du projet, elle a abouti sur un montant de 4 236 171 491 FCFA toutes taxes comprises.

Mots clés : Réhabilitation-Renforcement-Chaussée-Routes Communautaires

ABSTRACT

This work which topic is « Technical studies of before detailed project of rehabilitation and enhancement of the road Koupela-Frontière du Niger » is registered in the frame of the rehabilitation of communal road CU2a which length is 252 kilometers. However, this study concerned a 10 kilometers piece of that road that goes from PK 0+000 to PK 10+000.

Etudes techniques d'avant-projet détaillé des travaux de réhabilitation et de renforcement de la route Koupela-Frontière du Niger

This study's target is to design a road that responds to communal road standards as prescribed by the UEMOA, the 20 years lifetime of the road, to evaluate the material and financial needs of the project, the environmental impacts and ways to ease it.

The geometrical design following speed standards according to whether in town or not has been done with COVADIS and led to horizontal alignment and several profiles.

The geotechnical study led to the determination of careers' characteristics, to the traffic class which is a T4 and also to the roadway degradation's level that is a Q5. From these studies, it is shown that the road's rehabilitation solution is the actual roadway enhancement and thanks to the « Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux CEBTP » the sizing of the foundation's lateritic gave layer 25 centimeters, the serious bitumen in based layer is 8 centimeters and the rolling layer has 5 centimeters of bituminous concrete at high performance.

The road's sanitation has been done thanks to the hydrological and hydraulic studies that helped to determine the project's debits and the sizes of the gutters and box culvert.

To reduce impacts on nature, an environmental study has been made and the project cost study gave a budget of 4 236 171 491 FCFA all taxes included.

Keywords : Rehabilitation-enhancement-roadway-comunal road

Listes des abréviations

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

A.C.E : Associed Consulting Engineers

CEBTP : Centre Expérimental de recherche de d'étude du Bâtiment et des Travaux Publics

CCTP : Cahier de Clauses Techniques et Particulières

LNBTP : Laboratoire National du Bâtiment et de Travaux Publics

CBR: Californian Bearing Ratio

OPM: Optimum Proctor Modifié

TMJA : Trafic Moyen Journalier Annuel

CEIH : Comité Inter Africain d'Etudes Hydrauliques

BAEL : Béton Armé à Etat Limite

EIE : Etude d'Impact Environnemental

SIDA : Syndrome de l'Immunodéficience Acquis

PK : Point Kilométrique

RN : Route Nationale

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

ICTAVRU : Instruction sur les Conditions Technique d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines

U.E.M.O.A : Union Économique et Monétaire Ouest-Africain

RIAM : Rapid Impact Assesment Matrix

FAO : Food and Agriculture Organisation

Tables des matières

DEDICACE	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME	iii
ABSTRACT.....	iii
Listes des abréviations	iv
Tables des matières	v
Liste des tableaux.....	ix
Liste des Figures	x
INTRODUCTION	1
Chapitre 1 : Présentation du projet et de la structure d'accueil.....	2
1. Présentation de la structure d'accueil.....	2
1.1. Généralité sur la structure d'accueil.....	2

Etudes techniques d'avant-projet détaillé des travaux de réhabilitation et de renforcement de la route
Koupela-Frontière du Niger

1.2.	Domaines d'activités.....	2
1.3.	Organigramme de ACE.....	3
2.	Présentation du projet.....	3
2.1.	Contexte général du projet.....	3
2.2.	Localisation de la zone de projet.....	4
2.3.	Diagnostic de l'axe Koupela-Frontière du Niger.....	4
2.3.1.	Etats des lieux de la géométrie de la route.....	4
2.3.2.	Etat des lieux de la structure de chaussée.....	5
2.3.3.	Etat des lieux des ouvrages d'assainissements.....	6
2.4.	Cadre de l'étude.....	7
2.5.	Objectifs du projet.....	7
2.6.	Objectifs de l'étude.....	8
2.6.1.	Description générale du tronçon projeté.....	8
3.	Méthodologie de l'étude.....	8
3.1.	Matériels.....	8
3.2.	Méthodes.....	9
Chapitre 2 : Conception géométrique.....		11
2.1.	Etude topographique.....	11
2.2.	Normes et caractéristiques de l'aménagement routier.....	11
2.3.	Tracé en plan.....	11
2.4.	Profil en long.....	12
2.5.	Profil en travers type.....	13
Chapitre 3 : Etude géotechnique.....		15
3.1.	Etude du trafic.....	15
3.1.1.	Données du trafic.....	15
3.1.2.	Estimation du trafic de dimensionnement.....	15
3.2.	Etude des déflexions.....	17
3.3.	Choix de la solution.....	18
3.4.	Caractérisation des zones d'emprunt.....	18
3.5.	Dimensionnement de la structure de renforcement.....	19
Chapitre 4 : Conception et dimensionnement des ouvrages de drainage et d'assainissement de la route.....		23
3.1.	Etude hydrologie.....	23
3.1.1.	Etudes pluviométriques et climatiques.....	23
3.1.2.	Paramètres hydrologiques.....	24

Etudes techniques d'avant-projet détaillé des travaux de réhabilitation et de renforcement de la route
Koupela-Frontière du Niger

3.1.3.	Evaluation des crues.....	25
3.1.	Etude hydraulique	28
3.1.1.	Dimensionnement hydraulique des caniveaux.....	28
3.1.2.	Dimensionnement hydraulique des dalots	29
4.3.	Dimensionnement structural des ouvrages d'assainissement.....	31
4.3.1.	Dimensionnement des caniveaux	31
4.3.2.	Dimensionnement du dalot	33
Chapitre 5: Sécurité routière		35
5.1.	Signalisation routière	35
5.1.1.	Signalisation verticale	35
5.1.2.	Signalisation horizontale.....	35
5.2.	Sécurité routière	36
5.3.	Eclairage public.....	36
Chapitre 6 : Etude d'Impact Environnemental et estimation du coût du projet.....		38
6.1.	Etude d'Impact Environnemental	38
6.1.1.	Cadre législatif et réglementaire	39
6.1.2.	Impacts du projet sur l'environnement	39
6.1.3.	Analyse des impacts avec RIAM	41
6.1.4.	Mesures d'atténuations	43
6.2.	Estimation du coût du projet	43
Conclusion		45
Bibliographie.....		47
Annexes.....		48
Annexe 1 : Etude du trafic		48
Annexe 2 : Note de calcul alizé		50
Annexe 3 : Valeurs et classes des déflexions.....		56
Annexe 4 : Résultats des essais Los Angeles et Micro Deval.....		59
Annexe 5 : Etude hydrologique et hydraulique.....		60
1.	Etude hydrologique	60
2.	Etude hydraulique	69
Annexe 6 : Note de calcul caniveau 150 × 150 cm ²		73
1.	Hypothèses et données de calcul.....	73
1.1.	Normes de calcul.....	73
1.2.	Caractéristiques des matériaux.....	73

Etudes techniques d'avant-projet détaillé des travaux de réhabilitation et de renforcement de la route
Koupela-Frontière du Niger

1.3. Caractérisation et description du dalot	73
2. Calcul des sollicitations	74
3. Calcul des sections d'armatures	77
Annexe 7 : Note de calcul de dalot 200× 200 cm2	83
1. Hypothèses et données de calcul.....	83
2. Calcul des sollicitations	84
3. Calcul des sections d'armatures	95
Annexe 8 : Estimation des coûts du projet.....	105
Annexe 9 : Signalisation routière.....	109
Annexe 10 : Etude d'impact environnemental.....	111
Annexe 11 : Listing de l'axe en plan 1	114
Annexe 12 : Profil en long 1	117
Annexe 13 : Plan de coffrage dalot.....	118
Annexe 14 : Plan de ferrailage dalot.....	119
Annexe 15 : Plan de coffrage et de ferrailage caniveau.....	120

Liste des tableaux

Tableau 1: Structure de chaussée existante.....	5
Tableau 2: Tableau de combinaison des dégradations.....	6
Tableau 3: Dalots existants sur la route.....	6
Tableau 4: Caniveaux existants le long de la chaussée.....	7
Tableau 5: Normes de tracé de l'axe en plan.....	12
Tableau 6: Normes de tracé du profil en long.....	13
Tableau 7: Evolution du trafic moyen journalier.....	15
Tableau 8: Données de calcul du trafic.....	16
Tableau 9: Récapitulatif des résultats de calcul du trafic.....	16
Tableau 10: Tableau d'évaluation de la portance et de la qualité des structures en fonction des déflexions.....	17
Tableau 11: Grille de décision.....	18
Tableau 12: Caractéristiques des zones d'emprunt (Source : Rapport géotechnique).....	18
Tableau 13: Structures de chaussée en fonction du trafic.....	20
Tableau 14: Variantes de structures de renforcement.....	20
Tableau 15: structures de chaussées.....	21
Tableau 16: Données de calcul Alizée.....	21
Tableau 17: Structure obtenue après calcul Alizée.....	21
Tableau 18: Valeurs de contraintes admissibles et obtenues.....	22
Tableau 19: Structure optimisée après calcul Alizée.....	22
Tableau 20: Valeurs de contraintes admissibles et calculées.....	22
Tableau 21: Saisons et durée.....	23
Tableau 22: Pluviométrie de la ville de Koupela.....	24
Tableau 23: Caractéristiques physiques des bassins versants.....	25
Tableau 24: Débits de projet.....	27
Tableau 25: Débits projets pour les caniveaux.....	28
Tableau 26: Sections de caniveaux déterminées.....	28
Tableau 27: Sections de dalots obtenues.....	30
Tableau 28: Charges de dimensionnement.....	31
Tableau 29: Sollicitations de calcul.....	32
Tableau 30: Armatures du caniveau.....	32
Tableau 31: Charges de dimensionnement de dalot.....	33
Tableau 32: Sollicitations de calcul des armatures du dalot.....	34
Tableau 33: Armatures de dalot.....	34
Tableau 34: Résultats de l'analyse RIAM phase de construction.....	41
Tableau 35: Résultats de l'analyse RIAM phase d'exploitation.....	42
Tableau 36: Tableau récapitulatif des coûts du projet.....	44
Tableau 37: Coefficient d'agressivité des essieux.....	49
Tableau 38: Catégories de déflexion.....	56
Tableau 39: Tableau des déflexions.....	56
Tableau 40: Normes des essais Los Angeles et Deval humide.....	59
Tableau 41: Résultats Essais Los Angeles pk113.....	59
Tableau 42: Résultats essais Micro-Deval pk 113.....	59
Tableau 43: Résultats méthode Orstom.....	66
Tableau 44: Coefficient de ruissellement pour la méthode rationnelle.....	68

Etudes techniques d'avant-projet détaillé des travaux de réhabilitation et de renforcement de la route
Koupela-Frontière du Niger

Tableau 45:Matrice de Léopold	111
Tableau 46: Description des tranches de l'analyse RIAM	112

Liste des Figures

Figure 1: Organigramme de ACE	3
Figure 2: Présentation de la zone de projet (Source : Google Earth).....	4
Figure 3: Classification de l'état apparent de la chaussée	6
Figure 4:Organisation de la méthode d'étude.....	10
Figure 5:Classes de trafic	16
Figure 6: Localisation des carrières	19
Figure 7: Localisation pluviométrique de la zone projet	24
Figure 8:Chargement piédroit	32
Figure 9:Chargement dalle	32
Figure 10: Facette de l'environnement	38
Figure 11: Variation de la pluviométrie	60
Figure 12: Pluviométrie interannuel de Koupela	60
Figure 13: Loi normale de Gauss sur Hyfran.....	62
Figure 14:AJustement de la loi de Gumbel.....	62
Figure 15: Localisation et superficie des bassins versants	63
Figure 16: Variations du coefficient d'abattement avec la surface pour différentes pluviométries	64
Figure 17: Coefficient de ruissellement	65
Figure 18: Temps de base en fonction de la superficie	65
Figure 19: Coefficient de Montana	68

INTRODUCTION

Le Burkina Faso est un pays enclavé où les infrastructures routières représentent le moyen de communication le plus important. En effet, elles assurent la majorité des échanges commerciaux à l'intérieur du pays et avec les pays voisins. Les moyens de transport aériens sont faibles et le pays ne dispose que d'une seule ligne de voie ferrée qui le relie à la Côte d'Ivoire.

C'est donc grâce aux réseaux routiers que le Burkina Faso a accès aux ports des pays limitrophes tels que la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Bénin et le Togo. La connexion avec les pays non côtiers se fait également par des routes nationales (RN). La RN4 relie par exemple la capitale à plusieurs grandes villes du pays et au Niger. La section de la RN4 qui relie la ville de Koupela à la frontière du Niger est un tronçon de la route communautaire (CU2a), défini par l'UEMOA, longue de 4158 Km. Elle relie : Dakar-Tambacounda-Kidira-Kayes-Diéma-Bamako-Sikasso-Bobo Dioulasso-Ouagadougou-Niamey-Zinder-N'guiguimi-frontière du Tchad. Elle est donc d'une importance capitale pour une meilleure intégration économique, physique et culturel de la sous-région.

L'absence ou la mauvaise qualité des infrastructures de cet axe pourrait empêcher une partie de la population riveraine de participer activement au développement économique régional, rendant ainsi les produits sous-régionaux moins compétitifs sur le marché et ainsi accroître la fracture sociale.

Aujourd'hui, l'axe Koupela-Frontière du Niger, dont les infrastructures sont vieilles de 33 années, connaît une dégradation prononcée et ne peut plus assurer ses fonctions précédemment citées. Il est donc primordial d'effectuer des travaux sur ce tronçon. Ainsi le gouvernement du Burkina Faso a initié une étude de ce tronçon et a obtenu le financement de l'Union européenne pour les travaux. Notre mémoire de fin d'étude dont le thème est « Etudes techniques d'avant-projet détaillé de réhabilitation et de renforcement de la route Koupela-Frontière du Niger » qui concerne 10 km de ce tronçon, entre dans ce cadre.

Cette étude vise à actualiser les études précédemment menées en 2012 par le bureau TECHNI CONSULT afin de proposer des solutions adaptées pour la réalisation d'une chaussée de meilleure qualité répondant à la fois aux normes et exigences techniques des routes communautaires et aux contraintes économiques du Burkina Faso.

Le présent mémoire qui fait une synthèse de cette étude est composé de 6 chapitres :

- Le premier chapitre présente le projet, la structure d'accueil du stage et la méthodologie de l'étude ;
- Le 2^e chapitre traite de la conception géométrique de la route ;
- Le 3^e chapitre aborde la conception et le dimensionnement de la structure de chaussée ;
- Le 4^e chapitre montre la conception et le dimensionnement des ouvrages de drainage et d'assainissement de la route ;
- Le 5^e chapitre intitulé sécurité routière présente les études sur la signalisation de la voie, l'éclairage public et la sécurité routière ;
- Le 6^e et dernier chapitre traite de l'étude d'impact environnementale et de l'estimation du coût du projet ;

Chapitre 1 : Présentation du projet et de la structure d'accueil

ACE Ingénieurs Conseils nous a reçus en stage dans le cadre de notre mémoire de fin d'étude pour l'obtention d'un diplôme de master d'ingénieur. Dans ce chapitre, nous allons présenter ACE la structure d'accueil, ensuite nous présenterons le projet ainsi que la méthodologie adoptée pour l'étude de projet.

1. Présentation de la structure d'accueil

1.1. Généralité sur la structure d'accueil

Associated Consulting Engineers (ACE) est un bureau d'étude pluridisciplinaire reconnu sous le statut juridique de société à responsabilité limitée (SARL). Situé dans la ville de Ouagadougou plus précisément dans le secteur 8 Gounghin, Rue Zoalga 8.24, ACE exerce ses activités aussi bien au Burkina Faso qu'à l'étranger notamment dans la zone UEMOA et est inscrit auprès des organismes de financement.

Dirigé par M. Ousmane TIENDREBEOGO, ACE possède un personnel technique compétent constitué d'Ingénieurs du bâtiment et des travaux publics, de topographes, de géotechniciens. A cela s'ajoutent des moyens matériels importants et de dernières générations qui leur permettent d'intervenir efficacement dans les disciplines du développement économique et social

1.2. Domaines d'activités

Grâce à ses compétences humaines (Ingénieurs et techniciens expérimentés) ACE, intervient à tous les stades de mise en œuvre des projets : identification, reconnaissance des sites de projets, études de faisabilité, études préliminaires, études détaillées, préparation des cahiers de charges et des documents d'appel d'offres, assistance au maître d'ouvrage pour l'analyse des offres des entreprises, surveillance et contrôle des travaux, assistance technique, conseils. Les différents domaines d'intervention sont :

- Les infrastructures qui concernent principalement :
 - Les routes bitumées ;
 - Les voiries et réseaux divers ;
 - La réhabilitation d'infrastructures ;
 - La topographie ;
 - Les pistes rurales.
- Les bâtiments et ouvrages d'art qui concernent principalement :
 - Le bâtiment ;
 - Les structures métalliques et bois ;
 - Les ouvrages d'art ;
 - L'architecture.
- L'aménagement hydraulique et environnement :
 - L'aménagement hydro-agricole ;
 - Les barrages ;
 - L'hydrologie et l'hydrogéologie.

1.3. Organigramme de ACE

L'organigramme du bureau d'études ACE se présente comme suit :

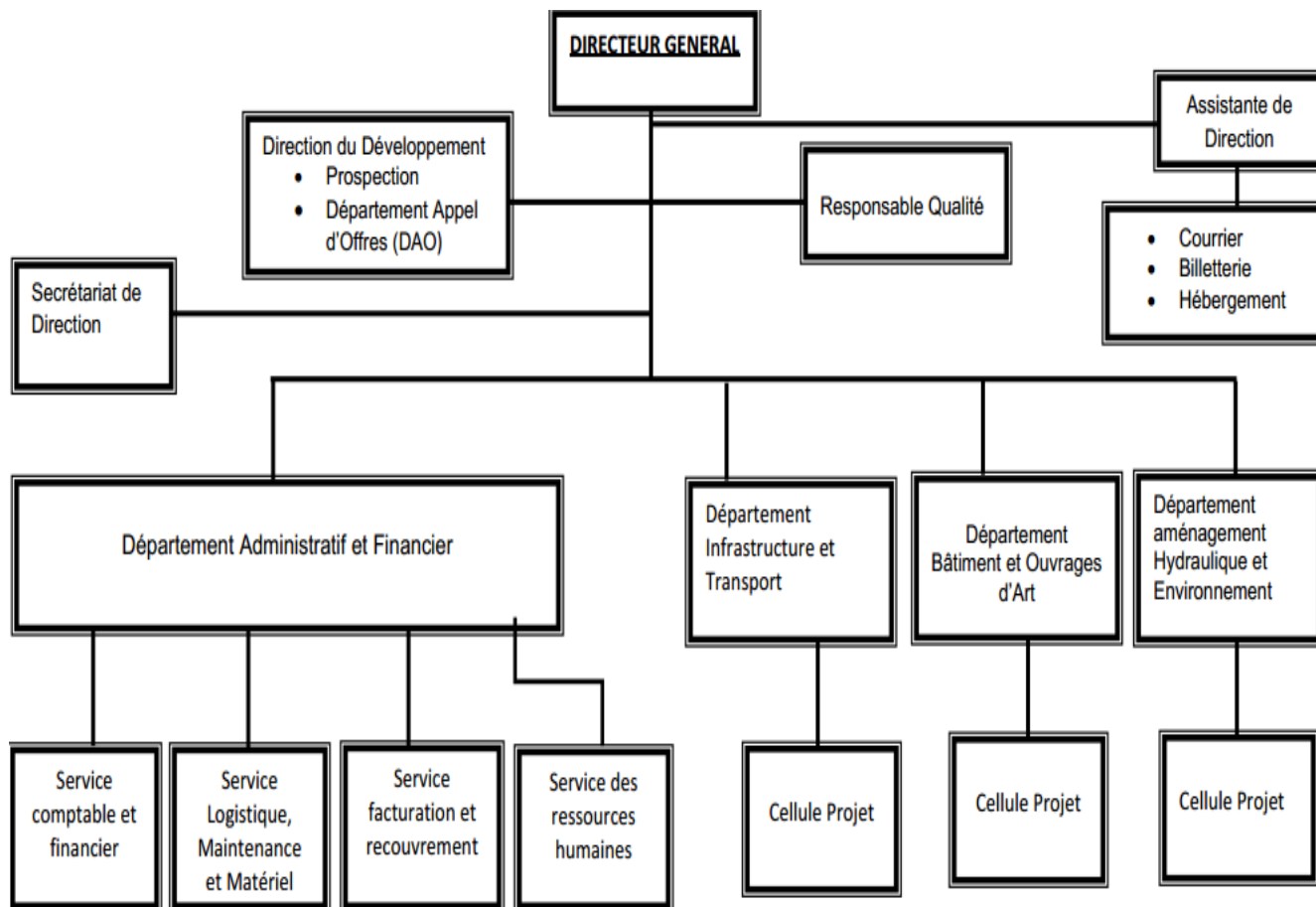


Figure 1: Organigramme de ACE

2. Présentation du projet

2.1. Contexte général du projet

Le Burkina Faso est un pays où les infrastructures routières représentent le moyen de communication le plus important. La route permet au Burkina d'avoir un accès sur les ports de ses pays limitrophes ayant une ouverture maritime. La connexion avec les pays non côtiers et le désenclavement des zones traversées par la RN 4 revêt un intérêt économique certain pour ce pays pour lequel les échanges commerciaux se font essentiellement par la route. La RN 4 relie plusieurs grandes villes du pays à la capitale ainsi que les capitales Burkinabè et Nigérienne. De plus, cette section de route est une section de la route communautaire Cu2a reliant plusieurs grandes villes de la sous-région. C'est un élément important pour une bonne intégration économique, physique et culturelle de la sous régionale.

Au vu de ce rôle primordial qu'occupent les infrastructures routières dans l'intégration sous régionale, l'Union Économique et Monétaire Ouest Africaine (UEMOA), a mis en place un programme d'actions communautaires des infrastructures et des transports routiers (PACITR) avec pour objectif de mettre à niveau toutes les routes communautaires. Le gouvernement Burkinabè a quant à lui mis en place le Programme Économique Régional (PER). Une étude d'APD de réhabilitation et de renforcement de la section de la RN 4

a alors été demandé afin d'envisager les travaux sur ce tronçon important tant pour l'UEMOA que pour le Burkina Faso

2.2. Localisation de la zone de projet

Situé à environ 142 km de la capitale Ouagadougou et à 375,4 km de la capitale nigérienne Niamey, entre 0°21'07.65'' de longitude Ouest et 12°10'53.73'' de latitude nord, la zone de projet débute à Koupéla chef-lieu de la province de Kouritenga dans la région du centre-est. Long de dix (10) km, le tronçon de l'étude traverse une partie de la ville de Koupéla à savoir du Pk 0+000 au Pk 3+628. La figure 2 présente le début du tronçon ainsi que la partie en agglomération du tronçon d'étude.

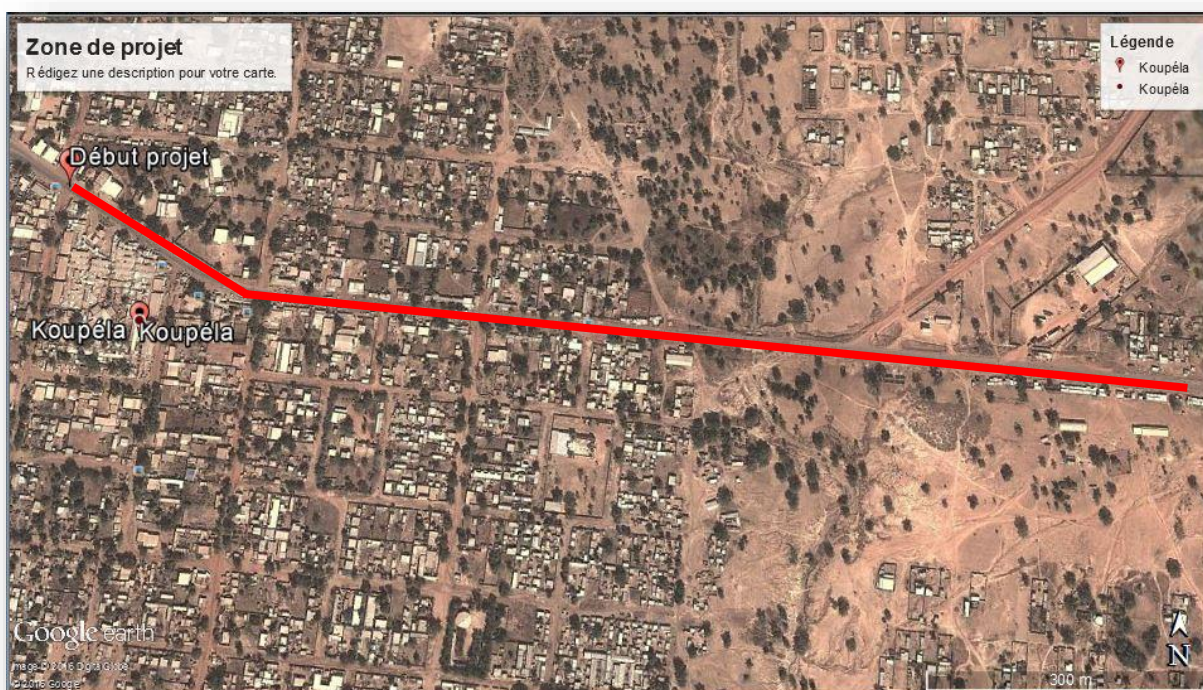


Figure 2: Présentation de la zone de projet (Source : Google Earth)

2.3. Diagnostic de l'axe Koupéla-Frontière du Niger

Réalisée en 1983, la route soumise à l'étude n'arrive plus à assurer sa fonction première qui est de permettre une meilleure circulation des personnes et des biens. Avant d'entamer les travaux il est important de réaliser un état des lieux de cette route. Les différentes observations faites sur cette route sont présentées dans ce paragraphe.

2.3.1. Etats des lieux de la géométrie de la route

Avec une longueur de dix (10) km, la chaussée objet de l'étude présente :

- Une largeur de 7 m pour les 2 voies de circulation ;
- Deux accotements non revêtus d'1 mètre de large chacun.

2.3.2. Etat des lieux de la structure de chaussée

2.3.2.1. Identification de la route en étude

L'identification de la route existante s'est faite à travers des sondages réalisés le long du tronçon de l'étude. Ces sondages, 25 au total, ont permis d'obtenir la composition de la structure de chaussée existante ainsi que les caractéristiques des différentes couches constituant la chaussée. La structure existante se présente comme indiqué dans le tableau 1 :

Tableau 1: Structure de chaussée existante

Couche de roulement en enduit superficiel tri-couche de 7 cm
Couche de base de 20cm en GLN CBR de 79 à 98% de l'OPM
Couche de Fondation de 30cm en GLN CBR de 70 à 98% de l'OPM
Couche de forme de 70cm en GLN CBR de 79 à 98% de l'OPM

GLN: Graveleux Latéritique Naturel

OPM: Optimun Proctor Modifié

CBR: California Bearing Ratio

Les résultats de l'identification de la structure de chaussée présentés dans le tableau 1 montre que le CBR de la couche de base qui est de 79 n'est pas conforme aux normes qui exigent un CBR d'au moins 80% à 98% de l'OPM pour la couche de base.

2.3.2.2. Relevés visuels de la chaussée

Ils concernent les caractéristiques géométriques de la chaussée, à savoir les dégradations qu'on observe sur la chaussée et permettent de déterminer l'état apparent de la route. Sur le tronçon d'étude, nous observons des dégradations qui sont essentiellement :

- Des fissures sur la couche de roulement de la chaussée ;
- Des déformations ;
- Des ornières ou nids de poules ;
- Des épaufrures ;
- Des arrachements.

Ces dégradations, particulièrement les fissurations et les déformations s'observent tout le long du tronçon. Avec la combinaison de ces deux types de dégradations qui s'obtient par le tableau 2, on obtient un chiffre qui correspond à un état de chaussée indiqué dans la figure 3 extraite du **Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux**. Nous pouvons alors déterminer l'état apparent de la chaussée.

Tableau 2: Tableau de combinaison des dégradations

Déf. \ Fissures	Fissures		
	1	2	3
1	1	2	3
2	3 *	4	5
3	5 *	6	7

* cas les plus rares.

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

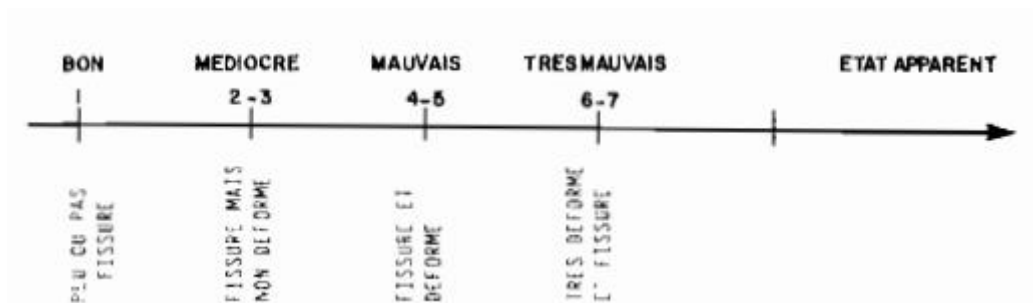


Figure 3: Classification de l'état apparent de la chaussée

Nous avons des déformations et des fissures sur plus de 50% de notre tronçon d'étude.

Fissurations → 3

Déformations → 3

La combinaison des deux types de dégradations donne un score de 7 ce qui correspond conformément à la figure 3 à une chaussée en très mauvais état apparent.

2.3.3. Etat des lieux des ouvrages d'assainissements

En parcourant le tronçon concerné par notre étude, on rencontre des ouvrages d'évacuation des eaux constitués essentiellement de :

- Dalots cadres dans lesquels la dalle, les piédroits et le radier constituent une structure rigide en béton armé ;
- Buses en béton armé ;
- Caniveaux en traversée d'agglomération.

Les dimensions et coordonnées de ces ouvrages sont consignées dans les tableaux 3 et 4.

Tableau 3: Dalots existants sur la route

Etudes techniques d'avant-projet détaillé des travaux de réhabilitation et de renforcement de la route
Koupela-Frontière du Niger

Numéro de l'ouvrage	Points kilométriques (Pk)	Type d'ouvrage existant	Dimensions hydrauliques
1	0+908	Dalot	2 x 2,5 x 2
2			2 x 2,00 x 2,00
3	2+920		1 x 6,5 x 2,5
4	3+032		2 x 2,00 x 2,00
5	3+561		3 x 2,00 x 2,00
6	4+314	Buse	1 x Ø100
7	5+193		2 x Ø100
8	5+715	Dalot	1 x 6,5 x 3
9	5+907	Buse	2 x Ø100
10	7+400	Dalot	2 x 2,00 x 2,00
11	8+706		3 x 2,00 x 2,00

Tableau 4: Caniveaux existants le long de la chaussée

Caniveau				
Longueur (m)	Pk début	Pk fin	Section de droite (m x m)	Gauche de gauche (m x m)
908	0+000	0+908	0,6 x 0,6	0,6 x 0,6
1586	0+908	2+494	0,8 x 0,8	1,5 x 1,5
426	2+494	2+920	0,8 x 0,8	1,00 x 1,00

L'analyse de ces ouvrages ne donne qu'une indication sur les ouvrages projetés. Il est à noter que tous les ouvrages existants sont en bon état de fonctionnement. Pour l'ouvrage du PK 0+908, les visites du site ont révélé un affouillement d'un mètre.

2.4. Cadre de l'étude

L'étude consiste à proposer un Avant-Projet Détaillé (APD) sur la réhabilitation et le renforcement de la section RN 04 allant de Koupela à la frontière du Niger d'une longueur totale de 252 km.

Le présent mémoire concerne un tronçon long de (dix)10 km, allant du PK 0+000 qui se trouve dans la ville de Koupela au PK 10+00.

Le projet soumis à l'étude s'inscrit dans le Programme Économique Régional (PER) du gouvernement et le Programme d'Actions Communautaires des Infrastructures et des Transports Routiers (PACITR) de l'UEMOA.

2.5. Objectifs du projet

Ce projet vise les objectifs qui sont inscrits dans le Programme Sectoriel des Transports Routiers (PSTR) de l'UEMOA à savoir :

- L'uniformisation du niveau de service des routes revêtues du réseau communautaire ;
- L'aménagement et le bitumage des maillons manquants du réseau communautaire ;

- L'amélioration de la compétitivité des économies des États membres de l'Union, par la fluidité des échanges et la réduction des coûts de transport routier dans les différents États ;
- La réduction de la pauvreté par l'amélioration des conditions de vie des populations ;
- La réduction des coûts sociaux de l'insécurité routière.

❖ Les objectifs spécifiques du projet sont :

- Désenclaver les zones traversées ;
- Assurer le raccordement de futures dessertes locales ;
- Faciliter les échanges commerciaux entre le Burkina Faso et ses voisins (le Niger, le Mali, le Bénin) ;
- Faciliter le développement économique intégré ;
- Faciliter l'accroissement du commerce des produits agricoles ;
- Augmenter les opportunités pour les activités commerciales ;
- Permettre aux villages isolés d'améliorer leur accès aux services gouvernementaux et aux personnels d'assistance technique et de vulgarisation ;
- Contribuer à l'intégration des villages situés dans la zone d'influence de cette route dans un cadre plus large d'économie régionale et internationale ;
- Réduire à la fois le coût de transport et la durée de voyage ;
- Améliorer l'accès aux services sociaux tels que l'éducation et la santé ;
- Augmentation du trafic routier et la réduction des coûts d'exploitation des véhicules.

2.6. Objectifs de l'étude

Les objectifs visés par l'étude sont :

- Réaliser une conception géométrique conforme aux prescriptions et normes de sécurité et de confort requis pour les usagers ;
- Dimensionner une structure de chaussée qui permettra à la fois à la route de supporter les charges et de tenir le temps de la durée de vie projetée ;
- Assurer un bon assainissement de la route ;
- Evaluer les impacts des travaux à entreprendre sur l'environnement et proposer des mesures pour les atténuer ;
- Evaluer les moyens financiers à mobiliser pour mener à bien les travaux.

2.6.1. Description générale du tronçon projeté

Les caractéristiques recherchées pour la nouvelle chaussée se déclinent comme suit :

- Un tracé en plan qui suit l'ancien axe afin d'éviter au maximum les expropriations ;
- Une chaussée de 9,45 mètres de largeur en traversée d'agglomération et 7,2 mètres hors agglomération ;
- Un corps de chaussée redimensionné et renforcé ;
- Des accotements revêtus ;
- Un réseau d'assainissement en traversé d'agglomération notamment dans les tronçons privés de caniveaux. Les ouvrages d'assainissement en bon état de fonctionnement seront conservés ;

3. Méthodologie de l'étude

3.1. Matériels

L'étude que nous avons menée s'est faite grâce à des moyens qui sont :

➤ La recherche documentaire

Elle concerne l'ensemble des ouvrages consultés dans le cadre de l'étude. Ces différents ouvrages ont été utiles dans la conception de la chaussée, la détermination des débits et les différents dimensionnements. Tous les ouvrages consultés sont présentés dans la bibliographie.

➤ Les données du projet

Elle consiste à recueillir l'ensemble des données liées au projet. Ces données spécifiques à ce présent projet seront utilisées dans les différentes études qui suivront afin d'aboutir à des propositions adaptées à ce projet. Ce sont entre autres :

- Les données topographiques ;
- Les données du trafic ;
- Le rapport topographique ;
- Les données de pluviométrie de la zone ;
- Les spécifications techniques prescrites dans le CCTP.

➤ Traitement des données

Une fois collectées les données de l'étude ont été traitées sur ordinateur au moyen de logiciels et programme de calcul tels que :

- Alizé pour le dimensionnement de la structure de chaussée dont les résultats sont présentés en annexe 2 ;
- Excel pour le calcul des déflexions dont les résultats sont présentés en annexe 3;
- Covadis pour la conception géométrique de la route et la détermination des cubatures ;
- Autocad, utilisé pour les illustrations des ouvrages.

Le paragraphe suivant illustre la démarche de notre étude.

3.2. Méthodes

Cette partie présente la démarche que nous avons adoptée afin de mener à bien notre étude. Cette démarche est illustrée par la figure 4 ci-après :

Etudes techniques d'avant-projet détaillé des travaux de réhabilitation et de renforcement de la route Koupela-Frontière du Niger

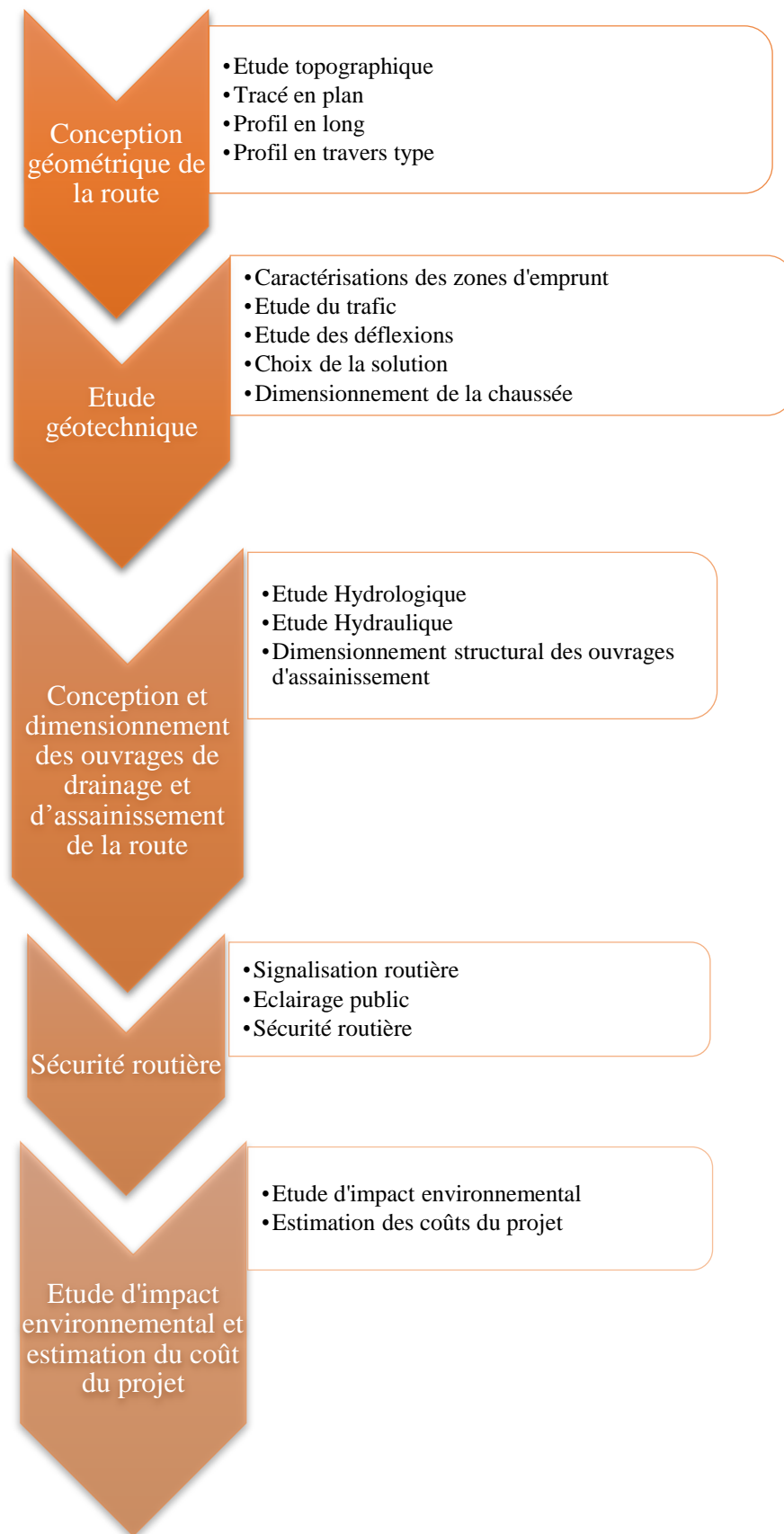


Figure 4: Organisation de la méthode d'étude

Chapitre 2 : Conception géométrique

Ce chapitre aborde la conception géométrique de la chaussée. Pour ce faire, nous allons d'abord présenter les études topographiques qui ont permis de recueillir les données nécessaires à la conception géométrique du projet ensuite nous présenterons les différentes étapes de la conception ainsi que les résultats obtenues.

2.1. Etude topographique

L'étude topographique est nécessaire pour déterminer les caractéristiques physiques de la chaussée et de la zone de projet. Elle permet de collecter les données nécessaires à la :

- Matérialisation de la chaussée existante et des éléments physiques existants ;
- Conception géométrique de la nouvelle route.

Le bureau a donc procédé à une étude topographique sur l'emprise de la chaussée existante. Cette étude a été faite suivant une approche méthodique qui est :

- Le levé de l'axe de la route existant, de ses amorces ;
- Le levé des éléments physiques importants (dalots, arbres, logements) ;
- Le Levé des regroupements de maisons ;
- Le Levé des champs le long de la route ;
- L'implantation d'une polygonale.

Le levé devant matérialiser la route existante comprend 7 points transversaux dont 1 sur l'axe de la voie et 3 points de part et d'autre de l'axe. Cet alignement de points transversaux se répartit le long de la route avec un intervalle longitudinal de 50m entre les points transversaux. Les levés et implantation de polygonal se sont fait avec la station totale.

L'ensemble de ces levés a été effectué en coordonnées X, Y, Z puis rattaché au nivellement général du Burkina. Le traitement de ces données s'est fait à l'aide de l'ordinateur par les logiciels AUTOCAD, COVADIS.

2.2. Normes et caractéristiques de l'aménagement routier

Une bonne conception routière est conditionnée par le respect d'un certain nombre de normes et principes. Ces normes sont définies en fonction du type de route ainsi que du niveau de confort et de sécurité que l'on souhaite offrir aux usagers. Dans le cadre de notre projet, les normes ICTAAL ou ICTARN, celles de l'ARP [Aménagement des Routes Principales (Ministère de l'équipement, Direction des Routes – France, 1994)] ont été retenues.

La conception a été faite à l'aide du logiciel COVADIS. Pour ce faire, nous disposions comme données d'entrée, de fichiers de levés topographiques et d'un fond topographique sur AUTOCAD. Elle a été effectuée sur la base de l'axe de la voie existante tout en respectant les rayons de raccordement et les distances d'alignement droit et de visibilité. L'objectif étant de limiter au maximum les démolitions, les décapages et tous les autres travaux supplémentaires.

2.3. Tracé en plan

Il donne l'axe de la nouvelle construction ainsi que la longueur totale du projet. Dans notre étude le tracé en plan suit au mieux l'axe existant afin de respecter l'emprise existante limité par les lotissements en agglomération.

La vitesse de référence retenue pour la traversée d'agglomération est de 50 km/h et de 100 km/h hors agglomération. Pour ces vitesses de référence, les normes ICTAVRU utilisées pour la conception propose des rayons minimaux de courbes pour assurer aux usagers le minimum de confort et de sécurité. Ces normes sont présentées en tableau 5 ci-dessous.

Tableau 5: Normes de tracé de l'axe en plan

Désignation du paramètre		Symbole et unité	Catégorie de la route				
			4 ^e	3 ^e	2 ^e	1 ^e	Except.
Rayon en plan RH(m)	Vitesse de référence	Vr (km/h)	40	60	80	100	120
	Dévers maximal	δM (%)	7	7	7	7	7
	Minimal absolue (dévers δM)	RHm	40	120	240	425	665
	Minimal normal (dévers)	RHN ($\delta\%$)	120 (5%)	240 (5%)	425 (5%)	665 (4%)	1000 (4%)
	Au dévers minimal	RH' (2,5%)	250	450	650	900	1500
	Non déversé	RHnd	400	600	900	1300	1800

2.4. Profil en long

Le profil en long est une coupe longitudinale de la route. La ligne rouge projet qui la matérialise représente les altitudes de l'axe de la chaussée terminée en tout point de la route. Elle suit de plus près le profil en long de la route existante tout en respectant les normes géométriques fixées par ICTAVRU dans le but de minimiser les terrassements et d'assurer confort, visibilité et sécurité aux usagers de la route. Ces normes sont fonctions de la vitesse de référence et de l'angle de raccordement qui peut être saillant (point haut) ou entrant (point bas). Selon qu'on soit en agglomération ou en rase campagne, nous avons 2 vitesses de références donc 2 catégories de routes à savoir une route de 3^e catégorie et une autre de 1^{er} catégorie. Le tableau 6 présente les rayons minimaux à utiliser pour chaque cas de figure.

Tableau 6: Normes de tracé du profil en long

Désignation du paramètre		Symbole et unité	Catégorie de la route				
			4 ^e	3 ^e	2 ^e	1 ^e	Except.
	Vitesse de référence	Vr (Km/h)	40	60	80	100	120
	Déclivité maximal en rampe	πM (%)	8	7	6	5	4
Rayon en angle saillant RV(m)	Minimal absolue	RVm	500	1500	3000	6000	12000
	Minimal normal	RHN	1500	3000	6000	12000	12000
Rayon en angle rentrant RV' (m)	Minimal absolue	RVm'	700	1500	2200	3000	4200
	Minimal normal	RVN'	1500	2200	3000	4200	6000

2.5. Profil en travers type

C'est la coupe transversale de la chaussée. Elle permet de déterminer les volumes de cubatures à mobiliser. Bien modélisés, les profils en travers permettent l'évacuation des eaux de ruissellement superficielles vers les ouvrages d'assainissement. Plusieurs profils en travers type ont été modélisés pour tenir compte des caractéristiques variables de la chaussée tout le long du projet. Notre projet comportera donc 2 profils en travers types. Les profils en travers sont constitués comme suit :

❖ Profil en travers type 1

C'est le profil qui sera utilisé en traversé d'agglomération du PK 0+000 au PK 2+920.

- Plate-forme : 13,8 m ;
- Chaussée : 2 x 4,7 m ;
- Accotements revêtus : 2 x 2 m ;
- Dévers de la chaussée : 2,5% ;
- Dévers accotements : 3% ;
- Caniveau : Dimensions variables ;
- Bordures T2.

❖ Profil en travers type 2

C'est le profil qui sera utilisé en rase campagne du PK 2+920 au PK 10+000.

- Plate-forme : 10,2 m ;
- Chaussée : 2 x 3,6 m ;

Etudes techniques d'avant-projet détaillé des travaux de réhabilitation et de renforcement de la route
Koupela-Frontière du Niger

- Accotements revêtus : 2 x 1,5m ;
- Dévers de la chaussée : 2,5% ;
- Dévers accotements : 3%.

Chapitre 3 : Etude géotechnique

L'étude géotechnique dans tout projet routier est un élément essentiel dans l'exécution de la route. Cette étude vise dans le cadre de notre projet à :

- Déterminer la qualité et la portance de la chaussée en place ;
- Etudier le trafic que la chaussée doit supporter durant sa durée de vie ;
- Etudier les déflexions de la chaussée ;
- Déterminer la portance et les caractéristiques des matériaux des zones d'emprunt ;
- Dimensionner la nouvelle structure de chaussée renforcée.

La détermination de ces éléments se fait à travers :

- L'aperçu visuel de la chaussée existante ;
- Les essais au Laboratoire ;
- Les mesures de déflexion ;
- Les sondages réalisés le long de la route.

Les essais réalisés au laboratoire sont essentiellement :

- Des essais d'identification de caractéristique des matériaux à savoir la limite d'Atterberg ;
- Les essais de portance CBR ;

La poutre Benkelman a servi à l'auscultation de la chaussée. Les données obtenues ont été traitées sur ordinateur par EXCEL et ALIZE et les résultats sont en annexe 2 et 3.

3.1. Etude du trafic

3.1.1. Données du trafic

Les données utilisées pour l'estimation du trafic ont été obtenues auprès des services de la Direction Générale des Routes (DGR) et d'un comptage effectué par le bureau d'étude. Ces données concernent le trafic moyen journalier annuel (TMJA), tous types de véhicules confondus avec un pourcentage moyen de poids lourds dans le trafic de 38 %. Ces données de la campagne de comptage de la DGR entre 2000-2010 sont consignées dans le tableau 7.

Tableau 7:Evolution du trafic moyen journalier (source DGR)

Route	Origine	Fin	Longueur (km)	Trafic moyen journalier annuel										
				2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
RN 04	Koupela	Lim	30,935	572	654	655	623	750	697	602	696	813	698	868

3.1.2. Estimation du trafic de dimensionnement

L'estimation du trafic de dimensionnement a été faite en considérant le trafic projeté qui est le trafic de l'année de mise en service à savoir 2019 pour une durée de vie de vingt ans (20), un taux d'accroissement annuel exponentiel de trafic de cinq pour cent (5%) et une répartition transversale de 0,65. Le trafic induit de poids lourd est estimé à 14% du trafic de l'année de mise en service. Le coefficient d'agressivité moyen (CAM) a été obtenu grâce au tableau 37 extrait du **Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux**.

Les formules d'estimation du trafic projeté et du nombre d'essieux standards équivalents (NESE) sont extraites respectivement du **Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour pays tropicaux** et du **Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux** et sont :

$$TMJA_{2019} = TMJA_{2010} \times (1 + i)^{n'-1}$$

$$NESE = 365 \times t \times A \times n \times \frac{(1 + i)^{n-1}}{n \times i}$$

Avec :

$TMJA_{2019}$: Trafic moyen journalier annuel à la date de mise en service soit 2019

n' : nombre d'année entre l'année de comptage et l'année de mise en service de la route

i : taux d'accroissement du trafic en pourcentage

n : Durée de vie projeté de la route

t : trafic des poids lourds à l'année de mise en service

A : coefficient d'agressivité moyen

Tableau 8: Données de calcul du trafic

Données de calcul du trafic	
$TMJA_{2010}$	330
n'	8
i	0,05
A	0,86
n	20

Le tableau présente les résultats des calculs du nombre d'essieux standard équivalent

Tableau 9:Récapitulatif des résultats de calcul du trafic

$TMJA_{2010}$	$TMJA_{2019}$	$NESE$
330	556	4033354

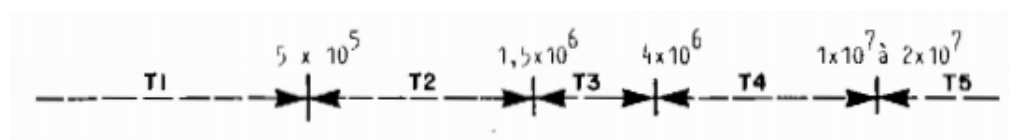


Figure 5:Classes de trafic

On obtient: $4 \times 10^6 < NESE < 1 \times 10^7$

Ce qui nous donne d'après la figure 5, une classe de trafic T4

3.2. Etude des déflexions

Les valeurs de déflexion sont obtenues en effectuant des mesures tout le long de la voie de façon alternée. Les mesures sont faites suivant le schéma voie gauche de la chaussée, puis sur l'axe de la chaussée, ensuite à voie droite de la chaussée, puis axe et voie gauche. Elles se font avec la poutre Benkelman qui elle permet la mesure ponctuelle de la déformation de la structure de chaussée sous une charge appliquée de 13 tonnes, charge de référence au Burkina Faso. Les mesures de déflexions considérées sont celle de la campagne de mesures de déflexions menée par le bureau d'étude TECHNI-CONSULT. La déflexion caractéristique est ensuite obtenue par la formule :

$$D_{90} = D_{m500} + 1,3 \times \text{Ecart type}$$

Avec :

$$D_{90} = \text{Déflexion caractéristique}$$

$$D_{m500} = \text{Déflexion moyenne sur 500 mètres}$$

Les valeurs de déflexions caractéristiques obtenues sont pour la plupart supérieures à la valeur d_2 qui est de 75/100 mm comme représenté sur le graphique ci-dessous. Les valeurs de déflexion supérieures à d_2 indiquent une chaussée de faible portance et de structure de mauvaise qualité comme indiqué dans le tableau 10.

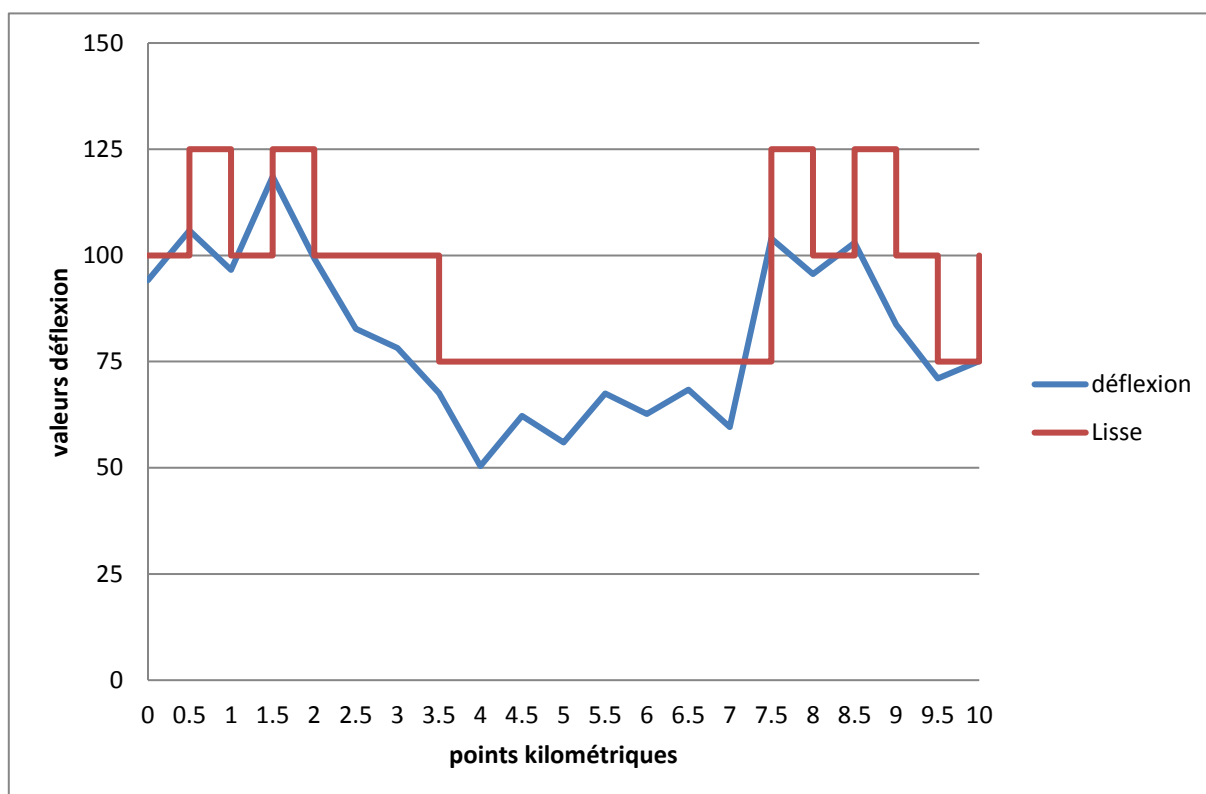


Tableau 10: Tableau d'évaluation de la portance et de la qualité des structures en fonction des déflexions

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

3.3. Choix de la solution

La solution à appliquer au sujet de notre étude géotechnique est en rapport direct avec la qualité des structures désignée par Q_i avec un indice i variant entre 1 et 5. En nous référant au tableau 11 de la « grille de décision », la chaussée de l'étude avec un score de 7 pour l'état apparent de la chaussée et des déflexions élevées correspond à une structure de qualité Q_5 et la solution à retenir est un renforcement.

Tableau 11: Grille de décision

État apparent	Déflexion	Déflexion		Élevée
		Faible	d_1	
Bon	1	Q_1	Q_2	Q_3
Fissuré non déformé	2-3	Q_2	Q_3	Q_4
Déformé et fissuré	4-7	Q_3	Q_4	Q_5

Entretien (entre Q_2 et Q_3)
Renforcement (entre Q_3 et Q_4)

3.4. Caractérisation des zones d'emprunt

Au total 38 gites de matériaux ont été localisés et sondés le long de l'axe Koupela-frontière du Niger. Les structures des corps de chaussée seront constituées de matériaux provenant de ces carrières d'où la nécessité de déterminer les caractéristiques physiques de ces matériaux qui sont consignés dans le tableau 12. Les carrières C5, C8, C13, C24 ont été retenues pour la couche de base et de fondation. Ces quatre zones d'emprunt cumulent 122 114 m³.

Tableau 12: Caractéristiques des zones d'emprunt (Source : Rapport géotechnique)

Identité de la carrière			Granulométrie <0,08mm	Limites d'Atterberg		OPM		CBR		Gonflement %
Carrière	Pk	Capacité (m ³)		LL	IP	γ_a	W %	95 %	98 %	
C4	9+550	28 801	13,4	38,1	14,3	2,24	8,7	91	111	0,46
C5	17+150	30 720	17,1	41,4	18,5	2,27	7,4	95	155	0,07
C8	17+450	55 077	15,9	33,3	13,2	2,22	9,4	96	110	0,10
C13	51+425	7 516	7,6	35,7	14,7	2,24	8,1	84	148	0,03

Le cahier des clauses techniques particulières impose les caractéristiques suivantes :

- Pour une couche de base, un matériau qui a :
 - Un indice de plasticité (IP) <15 ;

- Une densité sèche γ_d à l'OPM $\geq 2t/m^3$;
 - Un indice portant CBR à 95% de l'OPM ≥ 80 ;
 - Granulométrie : 25% passant au tamis de $80 \mu m$;
 - Gonflement admissible : 0,5%.
- Pour une couche de fondation, un matériau qui a :
- Un indice de plasticité (IP) ≤ 30 ;
 - Une densité sèche à l'OPM $\geq 2t/m^3$;
 - Un indice portant CBR à 95% de l'OPM ≥ 30 ;
 - Granulométrie : 25% passant au tamis de $80 \mu m$;
 - Gonflement admissible : 0,5%.

La figure 6 présente la localisation des carrières identifiées le long de la zone projet

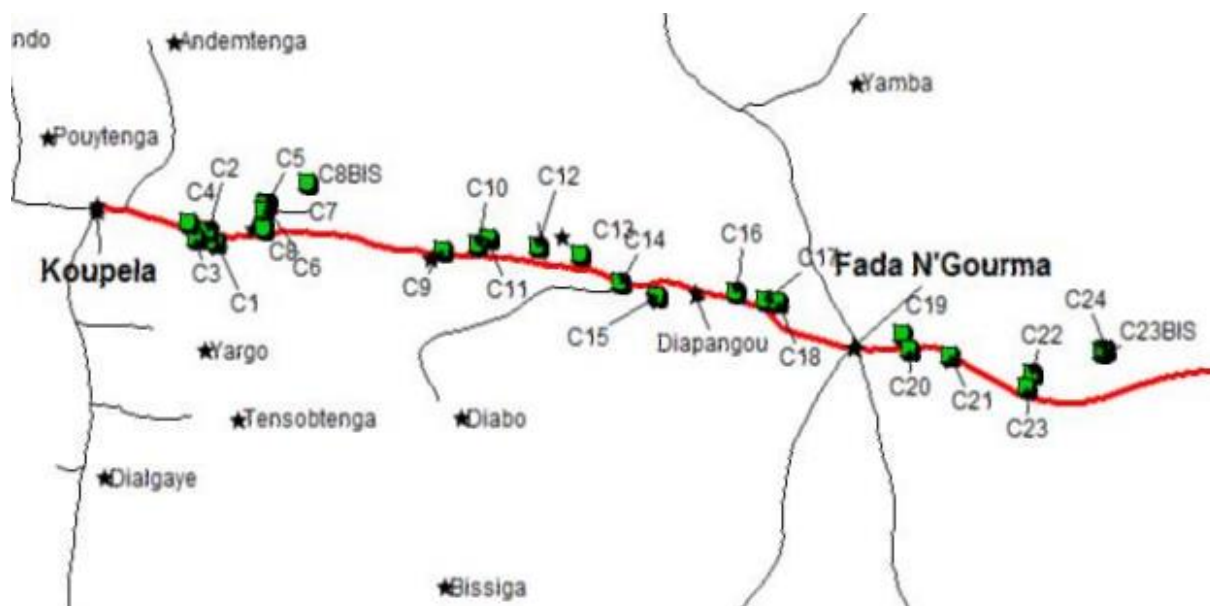


Figure 6: Localisation des carrières

Parmi les gîtes de matériaux identifiés, sept sont des gîtes de roches massives dont trois ont été retenus par le bureau pour le projet. Ces gîtes produiront les granulats concassés nécessaires pour le revêtement, la couche de base et le béton hydraulique. Les essais LOS ANGELES et MICRO DEVAL en présence de l'Eau, exécutés sur des échantillons de roche ont donné des résultats concluants exposés en annexe 4.

3.5. Dimensionnement de la structure de renforcement

Pour les chaussées de qualité Q₅ et pour une classe de trafic T₄, le **Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux** préconise l'utilisation d'une couche de renforcement traitée. L'utilisation de graveleux non traités comme indiquée dans le tableau 13 est irréaliste.

Tableau 13: Structures de chaussée en fonction du trafic

	2 couches	
	Renforcement pour trafic léger ou moyen T1, T2, (T3)	Renforcement pour trafic moyen ou lourd T3, T4, T5
Béton bitumineux : Couche mince ≤ 6 cm	X (une couche)	
Béton bitumineux : Couche épaisse > 6 cm à 2x7 cm		X
Graveleux latéritique ciment	X	
Concassé 0/31,5	X	
Tout-venants naturels	X	
Sable (limoneux ou argileux) ciment	X	
Sable laitier	X	
Grave ciment		X
Sable bitume	X	
Grave bitume		X

Les structures de renforcement proposées par le **Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux** sont fonction de la classe de trafic et de la qualité Q_i de la chaussée. Pour le Q_5-T_4 correspondant à l'étude le manuel propose les options présentées dans le tableau suivant :

Tableau 14: Variantes de structures de renforcement

Variantes	Structures de renforcement sur support tri-couche
Variante 1	6 cm BB/15 cm GB
Variante 2	6 cm BB/ 25 cm GC

BB : Béton Bitumineux

GB: Grave Bitume

GC: Grave Ciment

GLN: Graveleux latéritique naturel

La variante 1 est retenue car elle présente une épaisseur de couche moins importante et est plus économique. La structure retenue est présentée dans le tableau 15

Etudes techniques d'avant-projet détaillé des travaux de réhabilitation et de renforcement de la route
Koupela-Frontière du Niger

Tableau 15: structures de chaussées

Couches de chaussée existantes			Couche de renforcement Variante 1	
Fondation	Base	Couche de roulement	Base	Couche de roulement
30 cm de GLN	20 cm de GLN	7 cm d'enduit superficiel	15 cm de GB	6 cm de BB

La couche de base existante sera recyclée et améliorée au ciment. Une récente expérience menée sur l'axe Sakoinzé-Boromo montre qu'un dosage de ciment de 2,5-3% permet d'augmenter de 200% la portance de matériaux ayant un CBR à 98% de l'OPM compris entre 30-40. Le gain de portance aura pour incidence l'augmentation du module statique du matériau.

En partant de la structure de renforcement proposée par le CEBTP, nous allons calculer la structure par la méthode rationnelle de calcul en utilisant le logiciel Alizé III du LCPC. Les données de calcul du trafic sont dans le tableau 16.

Tableau 16: Données de calcul Alizée

Données d'entrées de calcul dans le logiciel Alizé III du LCPC		
Structure de renforcement proposée par le CEBTP	Couche de roulement	6 cm de BB
	Couche de base	15 cm de GB
TMJA ₂₀₁₉	365	
Taux d'accroissement	5%	
Durée de vie projetée	20 ans	

Les résultats consignés dans le tableau 17 ont été obtenus après des itérations sur le logiciel Alizé.

Tableau 17: Structure obtenue après calcul Alizée

Structure de renforcement obtenue après calcul le logiciel Alizé III du LCPC	
Couche de roulement	5 cm de BB
Couche de base	12 cm de GB

Pour la structure de base calculée sur le logiciel Alizée III du LCPC, on a une optimisation de la chaussée avec des gains d'épaisseur de couches de chaussées de 1 cm et 3 cm respectivement sur le BB et le GB par rapport à la structure proposée par le CEBTP avec des déformations et contraintes admissibles vérifiées présentées comme présenté dans le tableau 16 grâce à l'amélioration en ciment du matériau de la couche de base existante. Une couche de géogrid sera placée sur la couche de sol ciment pour éviter les remontées de fissures vers les couches supérieures.

Etudes techniques d'avant-projet détaillé des travaux de réhabilitation et de renforcement de la route
Koupela-Frontière du Niger

Tableau 18: Valeurs de contraintes admissibles et obtenues

Valeurs admissibles des contraintes			Valeurs obtenues des contraintes		
BB Epsilon T (μdef)	GB Epsilon T (μdef)	GLAC Sigma T (MPa)	BB Epsilon T (μdef)	GB Epsilon T (μdef)	GLAC Sigma T (MPa)
134,9	122,5	0,317	34,7	122,1	0,191

Pour une meilleure optimisation de la structure de renforcement, nous nous proposons de remplacer la couche de roulement en BBSG utilisée précédemment pour le calcul par une couche de Béton Bitumineux à module élevé (BBME).

Tableau 19: Structure optimisée après calcul Alizée

Structure optimisée pour calcul avec le logiciel Alizé III du LCPC	
Couche de roulement	5 cm de BBME
Couche de base	12 cm de GB
Structure de renforcement optimisée obtenue après calcul avec le logiciel Alizé III du LCPC	
Couche de roulement	5 cm de BBME
Couche de base	8 cm de GB

En remplaçant le BBSG par un BBME pour la couche de roulement l'épaisseur de GB nécessaire passe de 12 cm à 8 cm comme indiqué par le tableau 19. Soit un gain de 4 cm sur la GB avec des contraintes admissibles respectées présentées dans le tableau 20.

Tableau 20: Valeurs de contraintes admissibles et calculées

Valeurs admissibles des contraintes			Valeurs obtenues des contraintes		
BBME Epsilon T (μdef)	GB Epsilon T (μdef)	GLAC Sigma T (MPa)	BBME Epsilon T (μdef)	GB Epsilon T (μdef)	GLAC Sigma T (MPa)
88,8	139,7	0,317	2,1	125,8	0,110

Bien que le BBME soit plus cher que le BBSG, le gain de 4 cm sur le GB couvre largement la hausse de coûts engendrée au niveau de la couche de roulement tout en donnant les garanties quant à la capacité de la chaussée à supporter les charges de circulation tout le long de sa durée de vie. De plus, le BBME présente l'avantage de mieux résister à l'orniérage. Pour les raisons technico-économiques évoqués précédemment nous retenons pour le renforcement de la chaussée la structure présentée dans le tableau.

Chapitre 4 : Conception et dimensionnement des ouvrages de drainage et d'assainissement de la route

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'étude hydrologique qui a permis la détermination des débits du projet, ensuite nous aborderons le dimensionnement des sections hydrauliques de la route et enfin le dimensionnement structural des ouvrages d'assainissement.

3.1. Etude hydrologie

Les études hydrologiques des bassins versants ont pour objectif de déterminer les différents débits de projet en vue d'un dimensionnement optimal des ouvrages d'assainissement. Plusieurs facteurs rentrent dans la détermination des débits de crue à savoir les caractéristiques physiques du bassin versant (superficie, relief) et la pluviométrie.

Afin de mener à bien l'étude, la récolte des données s'est faite suivant la démarche et les outils suivants:

- Sorties sur le terrain ;
- Utilisation d'images satellitaires prises avec le logiciel GoogleEarth ;
- les cartes topographiques au 1/200 000ème ;
- Les données de la station pluviométrique de Koupela ;
- Google Mapper.

Les paramètres hydrologiques et les formules CIEH, ORSTOM et la méthode rationnelle utilisée pour l'évaluation des débits de crue décennale pour le dimensionnement hydraulique sont extraites du manuel de la FAO, de « Hydraulique Routière ».

3.1.1. Etudes pluviométriques et climatiques

Dans la zone du projet nous avons deux saisons. Une pluvieuse et l'autre sèche, réparties comme indiqué dans le tableau 21 :

Tableau 21: Saisons et durée

Saison	Saison sèche	Saison pluvieuse
Durée	Octobre-Mai 8 mois	Juin-Septembre 4mois

Les stations météorologiques les plus proches, qui disposent des données d'observations sur une période assez longue est la station de Koupela de 2001 à 2011. Le cumul pluviométrique de la saison des pluies représente 80% des apports du cumul pluviométrique annuelle. La figure 8 présente la localisation du projet par rapport aux courbes de niveau du Burkina Faso.

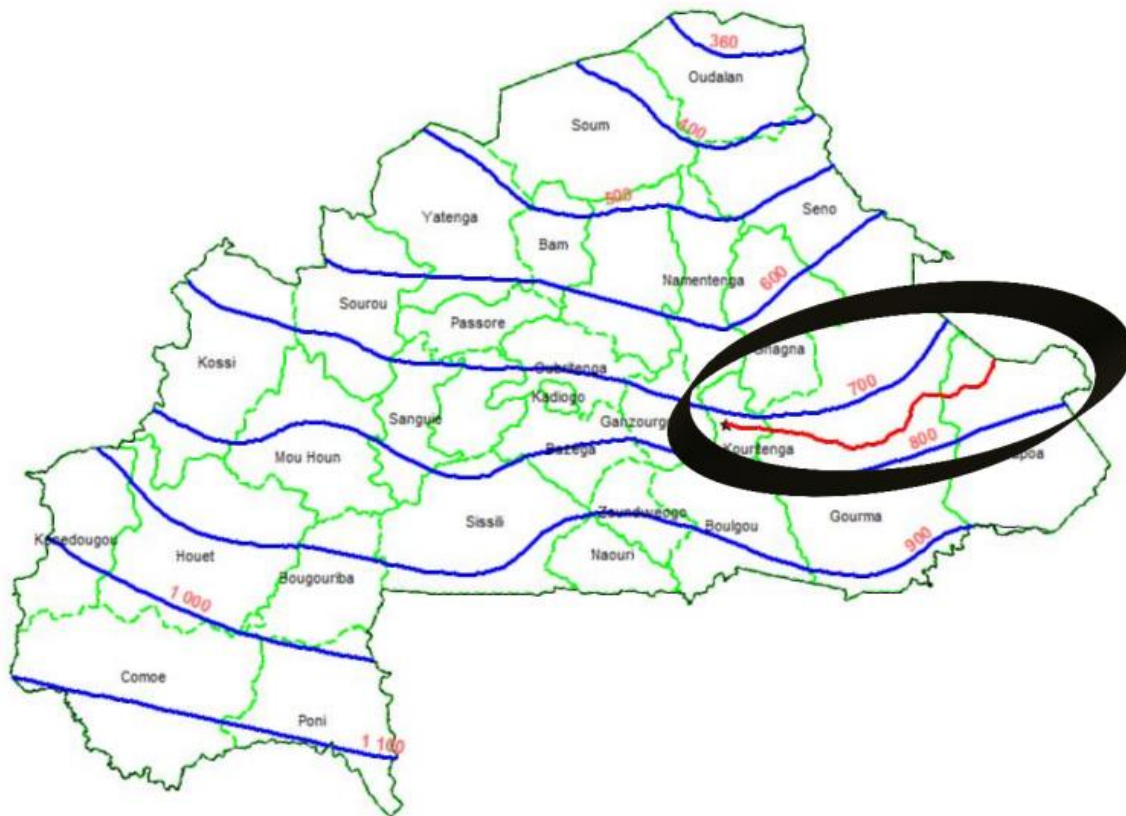


Figure 7: Localisation pluviométrique de la zone projet

La variation interannuelle de la pluviométrie sur la période d'observation comme indiquée dans le tableau 22 présente le minimum et le maximum de pluviométrie enregistrée :

Tableau 22: Pluviométrie de la ville de Koupela

	Minimum (mm)	Maximum (mm)	Moyenne (mm)
Pluviométrie de Koupela de 2001-2011	663,4	969,1	793,0091

3.1.2. Paramètres hydrologiques

Les paramètres hydrologiques tels que la superficie du bassin versant, le périmètre ont été obtenus respectivement par planimétrie et mesure du pourtour à l'aide du logiciel Autocad. Les paramètres complémentaires tels que l'indice de compacité, la longueur du rectangle équivalent ont été obtenus par les formules empiriques suivantes :

➤ Indice de compacité : $I_c = 0,28 \frac{P}{S^{0.5}}$

➤ La longueur du rectangle équivalent:

$$L_{eq} = S^{1/2} \cdot \left(I_c / 1,128 \right) \cdot \left[1 + \left(1 - \left(1,128 / I_c \right)^2 \right)^{1/2} \right]$$

➤ L'indice global de pente : $I_g = \frac{\Delta H}{L_{eq}}$

Avec ΔH : la dénivelée correspondante à 5% et 95% de la courbe hypsométrique. Cette valeur peut être estimée par interpolation des altitudes correspondantes à 20% et à 80 % de la superficie dans le cas d'une faible densité de courbes de niveaux sur les bassins.

➤ Perméabilité des bassins

La présence de couverture végétale nous permet de caractériser la perméabilité des bassins de l'étude dans les types RI. Les bassins de type RI sont « bassins relativement imperméable constitués d'une couverture végétale non négligeable qui gêne la formation de pellicules imperméables, de sols à recouvrement gravillonnaire continu d'épaisseur notable, de certaines arènes granitiques et, enfin, de sols avec des formation pelliculaires fragiles. »

➤ Relief des bassins versants : Sur les bassins versants de l'étude nous avons deux classes de pente :

- R3 : pente modérés comprises entre 0,5 à 1%
- R5 : pentes fortes, pentes longitudinales entre 2% et 5%, et pentes transversales entre 8% et 20%

Tableau 23: Caractéristiques physiques des bassins versants

Points kilométriques PK	Surface (km ²)	Périmètre (km)	Indice globale de pente (m/km)	Type de relief	Perméabilité	Longueur Thalweg	ΔH (ml)
0+908	7,15	10,76	6,4	R3	P3	3,45	22,02
2+920 à 3+032	5,55	11	5			2,96	14,81
3+561 à 5+193	2,7	7,22	8,4			1,69	14,29
5+715 à 5+907	1,57	5,07	5,7			1,44	8,20
7+400	0,77	3,72	5,4			0,75	4,10
8+706	0,57	3,73	40	R5		0,25	10,00

Les bassins versants et leur localisation sont en annexe 5

3.1.3. Evaluation des crues

a) Débits projets pour les dalots

Pour le calcul du débit de projet trois méthodes ont été retenues à savoir :

- La méthode Rationnelle : Elle est utilisée pour les bassins versants de superficie inférieure à 4 km². Sa formule est la suivante :

$$Q = 0,278 CIA$$

C: coefficient de ruissellement

I: Intensité de l'averse decennale en mm/h

A: aire du bassin versant en km²

- La méthode ORSTOM : Elle est utilisée pour le calcul des débits décennaux des cours d'eau dont les bassins versants ont une superficie supérieure à 0,2 Km² et inférieure à 200 Km². Sa formule est la suivante :

$$Q_{\max 10} = A \times P_{10} \times K_{r10} \times a_{10} \times \frac{S}{T_{b10}}$$

$Q_{\max 10}$: débit maximal décennale (m³/s)

A: Coefficient d'abattement

P_{10} : précipitation décennale ponctuelle journalière (mm)

K_{r10} : coefficient de ruissellement décennal

a_{10} : coefficient de pointe décennal

S: superficie du bassin versant (km²)

T_{b10} : temps de base décennal (s)

- La méthode CIEH : Elle est utilisée pour le calcul des débits décennaux des cours d'eau dont les bassins versants ont une superficie à compris entre 2 et 2000 km². Sa formule est :

$$Q_{10} = a \times S^s \times P_{an}^p \times I_g^i \times K_{r10}^k \times Dd^d$$

a, s, p, i, k, d sont des coefficient à déterminer

Q_{10} : débit de crue décennale (m³/s)

S: superficie du bassin versant (km²)

P_{an} : pluie annuelle moyenne (mm)

I_g : indice global de pente (m/km)

K_{r10} : coefficient de ruissellement décennal

Dd : densité de drainage (km⁻¹)

Le débit obtenu sera majoré de 20% pour tenir compte des variations climatiques. Ce pourcentage a été déterminé à partir de l'expérience du bureau d'étude

Pour l'étude, le débit le plus élevé entre la méthode CIEH, ORSTOM et rationnel sera retenu pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques.

Les débits projets obtenues sont présentés dans le tableau 24 ci-après. Le détail des calculs est en annexe 5.

Tableau 24: Débits de projet

Bassin Versant		Méthode rationnelle	ORSTOM	CIEH (m ³ /s)						Débit projet
PK	Superficie (km ²)	Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₁₀ ²	Q ₁₀ ²⁶	Q ₁₀ ⁴¹	Q ₁₀ ⁴²	Q ₁₀ ⁴⁴	Q ₁₀ ⁴⁵	Q ₁₀ (m ³ /s)
0+908	7,15	-	15,8	19,30	17,22	25,04	18,09	15,42	13,36	30,05
2+920 à 3+032	5,55	-	12,9	14,38	15,06	21,31	13,54	13,42	12,01	25,57
3+561 à 5+193	2,7	29,2	9,7	12,75	11,59	17,25	12,58	11,18	9,54	29,2
5+715 à 5+907	1,57	22,6	6,3	-	-	-	-	-	-	22,6
7+400	0,77	14,1	4,0	-	-	-	-	-	-	14,10
8+706	0,57	28,3	8,3	-	-	-	-	-	-	28,3

b) Débits projets pour les caniveaux

Pour le calcul des débits à évacuer, c'est la méthode CAQUOT qui est retenue. Cette formule a été élaboré par le groupement BCEOM et SAHEL CONSULT. Elle dérive de la méthode rationnelle et ne s'applique qu'au bassin versant urbanisé de superficie inférieur à 400ha et avec des pentes moyennes comprises entre 0.002 et 0,05 m/m. Elle s'exprime sous la forme :

$$Q(F) = k \cdot C^m \cdot I^n \cdot A^p$$

Nous utiliserons les expressions adaptées pour la ville de Ouagadougou, selon les périodes de retours respectivement de 5 et 10 ans :

$$Q_5 = 2,03C^{1.16}I^{0.23}A^{0.83}$$

$$Q_{10} = 2,38C^{1.16}I^{0.23}A^{0.83}$$

Pour la zone sahélo soudanienne dans laquelle se trouve le Burkina Faso la formule de proposée « **Hydraulique routière** » est la suivante :

$$Q = 0,85C^{1.11}I^{0.2}A^{0.8}$$

Le débit projet sera choisi entre le débit quinquennal et celui de la formule proposée par le document « **Hydraulique routière** » puis majoré de 20% pour tenir compte du changement climatique (Voir détails calculs en annexe 5). Les débits obtenus sont consignés dans le tableau 25 ci-après :

Etudes techniques d'avant-projet détaillé des travaux de réhabilitation et de renforcement de la route Koupela-Frontière du Niger

Tableau 25: Débits projets pour les caniveaux

Pk bassin versant	Superficie du bassin versant (ha)		Débit quinquennal Q_5 (m ³)		Débit décennal Q_{10} (m ³)		Débit Q (m ³)		Débit projet Q_{projet} (m ³)	
	Droite	Gauche	Droite	Gauche	Droite	Gauche	Droite	Gauche	Droite	Gauche
0+908	2,85	1,71	1,39	0,92	1,63	1,08	0,66	0,44	1,67	1,1
2+500	3,6	11,86	1,28	3,41	1,5	4	0,63	1,63	1,54	4,09
2+920	2,85	8,33	0,98	2,36	1,15	2,77	0,49	1,15	1,18	2,84

3.1. Etude hydraulique

3.1.1. Dimensionnement hydraulique des caniveaux

Les calculs hydrauliques de vérifications des sections en place ont été réalisés avec la formule de MANNING-STRICKLER qui est :

$$Q = K_s \cdot \sqrt{I} \frac{[y(b + my)]^{5/3}}{[b + 2y\sqrt{1 + m^2}]^{2/3}}$$

✓ Vérification aux conditions limites :

Il sera question ici de vérifier la condition de vitesse limite pour voir s'il y aura des dépôts de matériaux ou érosion,

Avec la vitesse V comprise entre 0,5m/s et 3,5m/s

$$Q = V \times S \quad V = K \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

✓ Calcul de débit limite d'érosion :

$$Q_{er} = V_{max} \times S$$

✓ Conclusion

$V_{max} > V$ et $Q_{er} > Q_c$, alors il n'y aura ni érosion, ni engorgement. Les sections choisies peuvent être considérées définitivement

Tableau 26: Sections de caniveaux déterminées

Caniveau			Débit à évacuer (m ³ /s)		Débit évacué par les caniveaux (m ³ /s)		Sections de caniveaux retenues (m x m)	
Longueur (m)	Pk début	Pk fin	Droite	Gauche	Droite	Gauche	Droite	Gauche
908	0+000	0+908	1,67	1,1	2,3	2,3	0,6 x 0,6	0,6 x 0,6
1586	0+908	2+494	1,54	4,09	2,63	14,04	0,8 x 0,8	1,5 x 1,5
426	2+494	2+920	1,18	2,84	2,14	3,89	0,8 x 0,8	1,00 x 1,00

Note de calcul en annexe 5

3.1.2. Dimensionnement hydraulique des dalots

Le pré-dimensionnement des dalots va consister à vérifier la capacité d'évacuation des débits de projet déterminés en utilisant les dimensions de dalots existants le long de la chaussée. Cependant, les buses seront remplacées par des dalots et les deux dalots du Pk 0+0908 remplacés par un seul dalot à plusieurs cellules.

a) Hypothèses et méthodes

- L'hypothèse de calcul fonctionnement retenue est celle de la sortie libre, cela signifie que le niveau de l'eau à l'exutoire immédiat de l'ouvrage est en dessous du bord supérieur de l'ouvrage. Ce qui correspond aux observations faites sur le terrain. Notre ouvrage fonctionne en sortie dénoyée ou libre.
- La méthode utilisée est celle des grandeurs réduites proposée par la BCEOM (VAN TUU et al., 1981) par le calcul de variables adimensionnelles Q^* et H^* .

En premier lieu, on vérifie que la hauteur d'eau H_1 en amont de l'ouvrage est inférieure ou égale à 1,25 fois la hauteur intérieure D de l'ouvrage. Pour ce faire, on détermine la variable adimensionnelle :

$$Q^* = \frac{Q}{B \cdot D(2g \cdot D)^{1/2}}$$

Dans cette formule, Q représente le débit de crue et B la largeur intérieure de l'ouvrage. La courbe expérimentale $H^*1 = f(Q^*)$ permet de déterminer la variable adimensionnelle H^*1 . On détermine ensuite H_1 par la formule suivante :

$$H_1^* = \frac{H_1}{D}$$

On s'assure donc que la condition suivante est vérifiée : $H_1 \leq 1,25 \times D$

En second lieu, on détermine la pente critique I_c de l'ouvrage. Cette pente intervient dans le calcul de la vitesse d'eau dans l'ouvrage. Pour ce faire, on détermine d'abord la variable adimensionnelle :

$$Q^* = \frac{Q}{(g \cdot B^5)^{1/2}}$$

La variable adimensionnelle I^*c est ensuite déterminée à l'aide de la courbe expérimentale $I^*c = f(Q^*)$. On calcule alors I_c par la formule suivante :

$$I_c^* = \frac{I_c}{g/(K^2 \cdot B^{1/3})}$$

Enfin, on détermine la vitesse V de l'eau dans l'ouvrage. Pour ce faire, on calcule la variable adimensionnelle :

$$Q^* = \frac{Q}{(K \cdot I_c^{1/2} \cdot B^{8/3})}$$

Ensuite, on détermine la variable adimensionnelle V^* par la courbe expérimentale :

$$V^* = f(Q^*)$$

Enfin, la vitesse V de l'eau dans le dalot se calcule par la formule suivante :

$$V^* = \frac{V}{(K \cdot I_c^{1/2} \cdot B^{2/3})}$$

Dans cette formule, K désigne le coefficient de rugosité. La vitesse V doit être inférieure ou égale à 3,5 m/s. Il faut noter que dans le cadre de cette approche, les dimensions D et B sont choisies au départ par le concepteur. Il suit la démarche que nous venons de décrire jusqu'au calcul de la vitesse V. Ensuite, il s'assure que cette vitesse V est inférieure ou égale à 3,5 m/s. Si cette condition n'est pas vérifiée, il fixe judicieusement de nouvelles valeurs pour D et B et reprend la même démarche. Il procède ainsi par itération jusqu'à obtenir une vitesse finale inférieure ou égale à 3,5 m/s. En somme, les valeurs de D et B qui permettent d'obtenir une vitesse V inférieure ou égale à 3,5 m/s constituent la section d'ouverture recherchée.

Au terme de cette démarche (voir en annexe 5 le calcul des variables adimensionnelles), les sections des ouvrages obtenus sont ci-dessous répertoriés dans le tableau 27.

Tableau 27: Sections de dalots obtenues

Débit du bassin versant (m ³ /s)	PK Ouvrages Hydrauliques	Ouvrages		
		Types d'ouvrages	Section (m)	Débit évacué par l'ouvrage (m ³ /s)
30,05	0+908	Dalot	3 x 3 x 3	32
	2+902		1 x 6,5 x 2,5	26
25,57	3+032		2 x 2,00 x 2,00	17
	3+561		3 x 2,00 x 2,00	22
29,20	4+314		1 x 1,00 x 1,00	1,75
	5+193		1 x 2,00 x 2,00	7,5
	5+715		1 x 6,5 x 3	26
22,60	5+907		1 x 2,00 x 2,00	7,5
	7+400		2 x 2,00 x 2,00	17
14,10	8+706		3 x 2,00 x 2,00	22

On constate que tous les ouvrages existants ont une capacité d'évacuation de débit supérieure au débit à l'exutoire du bassin versant à l'exception de l'ouvrage du Pk 8+706 qui présente un déficit d'évacuation. Cependant, cet ouvrage ne sera pas remplacé pour les raisons qui suivent :

- Elle est en bon état de fonctionnement ;

- Elle n'a jamais été débordée même pendant les pluies diluviennes du 1^{er} septembre 2009 ;

4.3. Dimensionnement structural des ouvrages d'assainissement

Les ouvrages d'assainissement retenus pour le projet, à savoir les dalots et les caniveaux sont en béton armé. Le dimensionnement structural consistera donc à déterminer la section d'armatures à utiliser pour ces ouvrages.

4.3.1. Dimensionnement des caniveaux

Nous avons retenus les caniveaux de sections $150 \times 150 \text{ cm}^2$ comme caniveau type pour la détermination des armatures.

❖ Charges de dimensionnement

Pour le calcul des armatures, nous avons dans un premier temps procédé à la détermination des charges à appliquer au caniveau. Ces charges ont été obtenues conformément au Fascicule 62 du CPC Conception, calcul et épreuves des ouvrages d'arts titre 2 pour la détermination des surcharges routières. Les différents éléments du caniveau à savoir le radier, les piédroits et les dalottes sont dimensionnés de façon indépendante. Dans le tableau 28 on peut voir les différentes charges appliqués au caniveau. Les détails du calcul sont à l'annexe 6.

Tableau 28: Charges de dimensionnement

Charges permanentes (kN)				Charges routières (kN)
Poids propre			Poussée des terres	
Tablier	piédroit	feuillure		Radier
5	9	0,975	35,415	100

❖ Sollicitations de calcul

A partir des charges du tableau 28 nous avons déterminé les différentes sollicitations s'appliquant aux différents éléments du caniveau. La détermination des différentes sollicitations s'est faite par les combinaisons suivant :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ELU: } 1,35G + 1,5Q \\ \text{ELS: } G + Q \end{array} \right.$$

Avec $\left\{ \begin{array}{l} G: \text{Charges permanentes} \\ Q: \text{charges routières} \end{array} \right.$

Les détails de ce calcul sont à voir dans l'annexe 6 et le tableau 29 présente les sollicitations de calcul déterminé. Les chargements sont présentés par les figures 8 et 9.

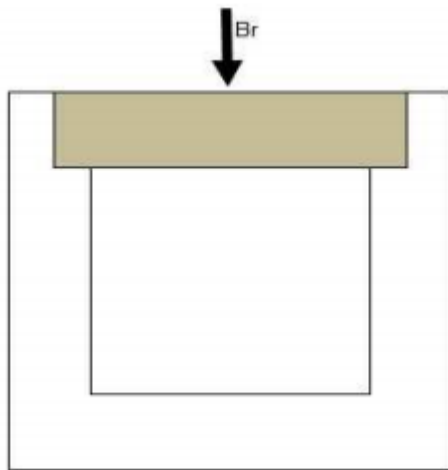


Figure 9:Chargement dalle

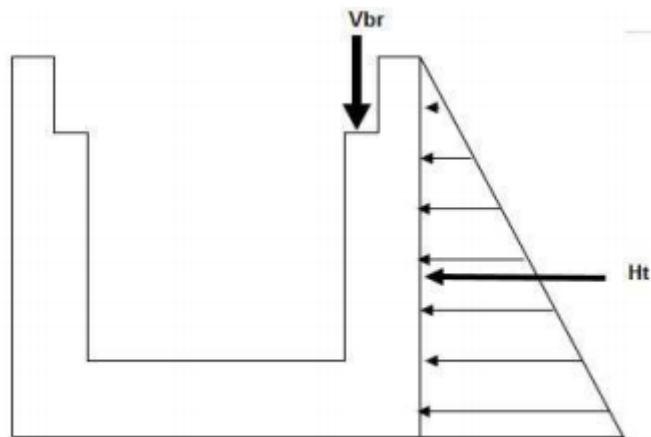


Figure 8:Chargement piédroit

Tableau 29: Sollicitations de calcul

Sollicitations	Dalette		Piédroit		Radier	
	ELU	ELS	ELU	ELS	ELU	ELS
Moment (kN.m)	61,875	42,95	12,42	9,2		
Effort Normal (kN/ml)	-	-	87,66	59,375	-	-
Effort tranchant (kN/ml)			-	-		

❖ Calcul des armatures

Avec les sollicitations consignées dans le tableau 29, le calcul des armatures se fera suivant les règles de calcul béton armé définies dans le BAEL 91 modifié 99. La dalle sera dimensionnée en flexion composée car elle est soumise au moment fléchissant et à l'effort normal. Les piédroits seront dimensionnés eux en flexion simple. Les armatures déterminées pour les piédroits seront aussi utilisés pour le radier.

Tableau 30: Armatures du caniveau

Eléments de structures	Sections d'armatures		Espacement (cm)
Dalette	Inférieur	HA12	5
	Supérieur	HA8	
	Transversal	HA8	20
Piédroit	Principal	HA8	15
	Transversal	HA8	
Radier	Principal	HA8	15
	Transversal	HA8	

Les plans de coffrage et de ferrailage sont en annexe 15.

4.3.2. Dimensionnement du dalot

Comme pour le dimensionnement béton armé des caniveaux, nous avons retenus le dalot de section $200 \times 200 \text{ cm}^2$ comme référence de dimensionnement.

❖ Méthode de calcul

De manière générale, on mènera le calcul par bande 1,00 mètre linéaire de largeur de dalot. Notre ouvrage est un dalot à une ouverture. Les valeurs des efforts et sollicitations M et N (moments et efforts normaux) seront déterminés sur la base de calcul en cadre simple à partir des formules provenant de l'ouvrage «Formulaires des cadres simple» de KLEINLOGEL.

❖ Charges de dimensionnement

Pour le calcul des armatures, nous avons dans un premier temps procéder à la détermination des charges à appliquer au dalot. Ces charges ont été obtenues conformément au Fascicule 62 du CPC Conception, calcul et épreuves des ouvrages d'arts Titre 2 pour la détermination des surcharges routières. Les différents éléments du dalot à savoir le radier, les piédroits et le tablier sont dimensionnés de façon indépendante. Dans le tableau 31, on peut voir les différentes charges appliqués au dalot. Les détails du calcul sont à l'annexe 7.

Tableau 31: Charges de dimensionnement de dalot

Charges permanentes (kN)					Charges routières (kN)		
Poids propre					Poussée des terres	Système B_c	Force de freinage
Tablier	Piédroit	Guide roues	Radier	Revêtement			
13,87	11	12,5	29,87	8,4	17,16	480	48

❖ Sollicitations de calcul

A partir des charges du tableau 31, nous avons déterminé les différentes sollicitations s'appliquant aux différents éléments du dalot. Le dimensionnement se fera à l'Etat limite de service. La détermination des différentes sollicitations s'est faite par les combinaisons suivant :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ELU: } 1,35G + 1,6Q \\ \text{ELS: } G + 1,2Q \end{array} \right.$$

Ces coefficients de combinaison de charges sont obtenus par le formulaire des cadres simples de KLEINHOOGEL.

Avec : $\left\{ \begin{array}{l} G: \text{Charges permanentes} \\ Q: \text{charges routières} \end{array} \right.$

Les détails de ce calcul sont à voir dans l'annexe 7 et le tableau 32 présente les sollicitations de calcul déterminées.

Tableau 32: Sollicitations de calcul des armatures du dalot

Eléments de structures		Sollicitations			
		Effort Normal		Moment fléchissant	
		ELU	ELS	ELU	ELS
Tablier	Aux abouts	-31,6	-23,76	12,23	9,26
	En travée			54,28	40,69
Piédroit	En travée	205,6	153,82	14,35	19,11
Radier	Aux abouts	-14,4	-11,021	-76,01	-56,89
	En travée			61,09	45,74

❖ Calcul des armatures

Avec les sollicitations consignées dans le tableau 32 le calcul des armatures se fera suivant les règles de calcul béton armé sont celles définies dans le BAEL 91 modifié 99. Les sections d'armatures se trouvent dans le tableau 33.

Tableau 33: Armatures de dalot

Eléments de structures		Armatures	
		Sections (cm ²)	Espacements
Tablier	Aux abouts	6HA10	15
	En travée	10HA14	15
Piédroit	En travée	4HA12	15
Radier	Aux abouts	10HA16	15
	En travée	8HA16	15

Les plans de coffrage et de ferrailage sont en annexe 13 et 14

Chapitre 5: Sécurité routière

Pour garantir la sécurité et le confort des usagers de la route, l'ingénieur de conception doit respecter les principes de sécurité et faire des aménagements tout le long de la route. Dans cette partie nous nous attèlerons à présenter ces aménagements qui sont essentiellement les signalisations routières et l'éclairage public.

5.1. Signalisation routière

Elle désigne l'ensemble des signaux conventionnels implantés tout le long de la route. Ces signaux sont composés de panneaux, marquage au sol et de feux tricolores. Elle vise essentiellement :

- Informer les usagers sur les règles en vigueur ;
- Orienter dans les déplacements ;
- Discipliner et rendre la circulation fluide ;

Les signalisations se regroupent dans deux ensembles à savoir la signalisation verticale et la signalisation horizontale. Bien conçues et réalisées, elles réduisent les accidents et facilitent la circulation.

5.1.1. Signalisation verticale

Elle concerne les panneaux et les feux tricolores. Ils sont placés aux abords de la chaussée et dans notre étude les types de panneaux qui seront implantés sont :

- Des panneaux triangulaires de type A ou AB comme suit :
 - 2 panneaux de danger type A2b : Ralentisseur de type dos d'âne ;
 - 1 panneau de danger type A3 : Chaussée rétrécie ;
 - 2 panneaux de danger type A13b : Passage piéton ;
 - 1 panneau de danger type A15a1 : Passage d'animaux domestiques ;
 - 4 panneaux de danger type A15b : Passage d'animaux sauvages.
- Des panneaux circulaires de type B :
 - 2 panneaux d'interdiction type B14 : Vitesse limitée à 50 km/h et 90 km/h ;
 - 1 panneau de fin d'interdiction type B33 : Fin de limitation de vitesse à 50km/h.
- Des panneaux de « stop » type AB au nombre de 12
- Des panneaux rectangulaires de type C
 - 2 panneaux C20a : Passage piéton ;
 - 2 panneaux C27 : Surélévation de la chaussée.
- Un panneau de type M pour marquer la sortie d'agglomération

Au total, 29 panneaux de signalisation seront implantés

5.1.2. Signalisation horizontale

Elle regroupe les marquages aux sols et indique clairement les parties des chaussées réservées aux différents sens de circulation ainsi que la conduite à observer par les usagers. Il s'agit essentiellement de :

- Des marquages longitudinaux (lignes d'axe et de rives de chaussée) :
 - Lignes continues d'une longueur totale de 1000 mètres ;

- Lignes discontinues d'une longueur totale de 14500 mètres ;
- Des marquages transversaux (lignes complétant les panneaux "stop" et "cédez le passage" et "lignes d'effet des feux" aux intersections ; des marquages des passages cloutés à l'approche des zones d'équipement socio collectifs (marché, écoles) et aux arrêts de bus. Ces lignes sont longues de 1500 mètres.

5.2. Sécurité routière

Pour assurer une sécurité optimale aux usagers de la voie nous nous sommes conformés aux recommandations du rapport de situation sur la sécurité routière de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) publié en 2009 (voir annexe 9). De plus trois grands principes permettent de garantir la sécurité routière à savoir :

- Le principe de qualité : la qualité d'une route doit respecter cinq exigences :
 - Visibilité ;
 - Lisibilité de la route ;
 - Adaptation de l'infrastructure aux contraintes dynamiques des véhicules ;
 - Possibilités d'évitement et de récupération ;
 - Limitation de la gravité des impacts.
- Le principe de cohérence dans l'espace :
 - Pleine cohérence de tous les éléments de la route avec leur environnement ;
 - Cohérence des caractéristiques de la route le long d'un itinéraire.
- Le principe de la cohérence dans le temps : planification des tracés.

Afin de limiter le risque d'accident, l'étude a prévu :

- Aménagement de ralentisseurs à l'entrée de Koupela et près des lieux publics que la route désert. Ces ralentisseurs seront au nombre de 2 ;
- Des glissières sont sur les ouvrages de franchissement. Ces glissières, métalliques dans notre projet, ont une longueur totale de 84 mètres ;
- Des balises encadrant les dalots afin de les rendre visibles de loin. Au total, 32 balises seront construites ;
- Une signalisation routière bien adéquate.

5.3. Eclairage public

L'éclairage public est un élément de la route qui permet aux usagers de circuler de nuit avec plus de sécurité et de confort. En effet, grâce à une meilleure visibilité, les usagers peuvent distinguer avec plus d'aisance les différentes signalisations et mieux anticiper les obstacles qu'ils pourraient rencontrer sur la route. Dans notre projet l'éclairage sera appliqué du PK 0+000 au PK 2+920. Cette distance correspond au tronçon situé en traversée d'agglomération de notre étude.

❖ Matériel d'éclairage public

Pour l'éclairage de notre tronçon d'étude, nous allons utiliser des lampadaires solaires afin d'être en accord avec la nouvelle politique énergétique du Burkina Faso et pour la promotion des énergies renouvelables. De

plus, ces lampadaires présentent les avantages d'être autonomes et fonctionnent pendant les multiples délestages. Ils sont constitués de :

- Un mat en acier galvanisé ;
- 2 modules photovoltaïques 100wc ;
- 2 batteries solaires de stockages d'énergie ;
- Une lampe LED 20w.

❖ Installations et dispositions

Pour un éclairage optimal de la route certains dispositifs constructifs doivent être respectés. Ces dispositions sont essentiellement la hauteur des lampadaires et leur espacement.

Les lampadaires seront installés en quiconque (gauche, droite, gauche, droite) le long de l'agglomération. Chaque lampadaire, haut de 10 m sera éloigné du précédent de 30 m.

Les dispositifs utilisés sont conformes à ceux déjà réalisés dans la ville de Ouagadougou pour des chaussées de même largeur.

❖ Nombres de lampadaires

Le nombre de lampadaire se détermine par la formule suivante :

$$n = \frac{L}{e} \rightarrow \begin{cases} L = \text{Longueur du tronçon} \\ e = \text{Espacement entre lampadaire} \end{cases}$$

$$\text{On a : } \begin{cases} L = 2920\text{m} \\ e = 30\text{m} \end{cases} \rightarrow n = \frac{2920}{30}$$

$$n = 97,33$$

97 lampadaires seront installés le long du tronçon en agglomération à savoir du PK 0+000 au PK 2+920.

Chapitre 6 : Etude d'Impact Environnemental et estimation du coût du projet

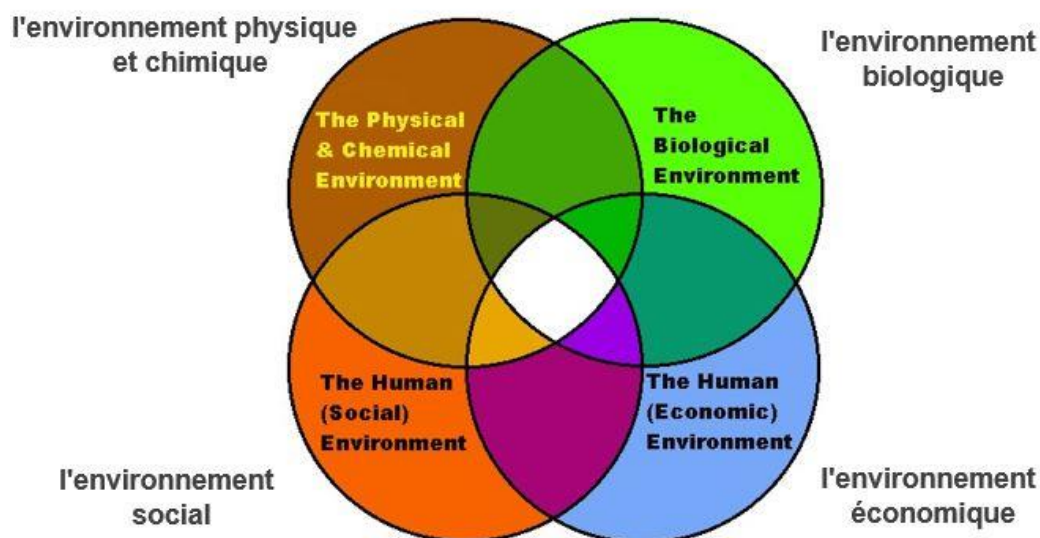
Dans cette partie de l'étude, nous allons dans un premier temps présenter les différents impacts du projet sur l'environnement et les mesures d'atténuation que nous préconisons pour ensuite finir sur l'estimation des coûts du projet.

6.1. Etude d'Impact Environnemental

La construction d'une route présente des répercussions sur le milieu receveur. Ces effets se répartissent sur la phase de construction et d'exploitation de la route. Elles peuvent être :

- Temporaires ou permanents ;
- Réversibles ou irréversibles ;
- De profondes perturbations ou de petites perturbations ;
- D'impacts majeurs ou mineurs ;
- Positifs ou négatifs ;
- De répercussions locales ou nationales.

Les différentes facettes de l'environnement comme indiquées par la figure 11 peuvent être affectées par le projet.



Les 4 facettes de l'environnement

Figure 10: Facette de l'environnement

Physiques / chimiques portant sur des aspects physiques et chimiques de l'environnement, des ressources naturelles et la dégradation de l'environnement physique par la pollution.

Biologique / écologique portant sur les aspects biologiques de l'environnement, y compris les ressources naturelles renouvelables, la conservation de la biodiversité, les interactions entre espèces, et la pollution de la biosphère

Sociale / culture portant sur les aspects humains de l'environnement, y compris les problèmes sociaux qui affectent les individus et les communautés, avec les aspects culturels, y compris la conservation du patrimoine et du développement humain.

Économique / opérationnel portant sur les conséquences économiques de l'exécution du projet (normalement bénéficiant positif) ainsi que les changements environnementaux causés par le projet (souvent avantage négatif), à la fois temporaire et permanente, ainsi que les complexités de la gestion de projet dans le cadre des activités du projet.

Il convient alors d'identifier et d'analyser les impacts de la réhabilitation de la route. Afin de déterminer les différents impacts et d'en évaluer les répercussions. Pour ce faire nous allons procéder comme suit :

- Identification des composantes environnementales affectées ;
- Identification des impacts positifs et négatifs ;
- Analyse des impacts à l'aide du logiciel RIAM.

Cette étude bien menée permettra de prendre les mesures d'atténuations adéquates

6.1.1. Cadre législatif et réglementaire

Dès le préambule de la constitution du 11 juin 1991, il est mentionné la nécessité absolue de protéger l'environnement. En faisant allusion au décret N° 2001-342/PRES/PM/MEE adopté le 17 juillet 2001, portant contenu, procédure et champ d'application de l'Étude d'Impact sur l'Environnement (É.I.E) et de la Notice d'Impact sur l'Environnement (NIE), le projet réhabilitation de la route RN4 est un projet de catégorie A donc assujetti à Étude Impact sur l'Environnement (E.I.E).

6.1.2. Impacts du projet sur l'environnement

6.1.2.1. Identification des impacts positifs

- Environnement physico-chimique notamment l'embellissement du paysage : La réhabilitation de la route va donner un coup de neuf à la zone concernée. De plus l'amélioration de l'évacuation des eaux de ruissellement superficielles va réduire les flaques d'eau
- Milieu Biologique
- Milieu humain et socio-culturel :
 - Augmentation du confort et de la fluidité de la route pour les usagers : Conséquence directe de sa réhabilitation ;
 - Augmentation du niveau de sécurité de la route : Due à l'augmentation de la qualité de la chaussée réhabilitée et aux mesures de sécurité envisagées ;
 - Diminution du temps de parcours.
- Milieu économique :

- Augmentation des activités génératrices de revenus dans la zone : En effet, la construction de la route va amener des travailleurs qui auront divers besoins notamment en logement, en collation, déplacement et santé. De plus, les échanges avec la sous-région vont s'accroître avec la nouvelle route classée Communautaire par l'UEMOA.
- Création d'emploi : Les travaux qui s'inscrivent dans le cadre des HIMO vont favoriser un fort recrutement de la main d'œuvre locale et ainsi une augmentation des revenus au niveau de la localité.

6.1.2.2. Identification des impacts négatifs

➤ Environnement physico-chimique

- Pollution de l'air : Cette pollution est due à la poussière qui sera occasionnée par les travaux de terrassement sur la chaussée. A cela s'ajoutent les gaz d'échappement des engins de terrassement. Cette pollution se retrouve essentiellement pendant les travaux de construction ;
- Pollution sonore : Elle est occasionnée par le bruit des engins de travaux. Ce qui perturbe la tranquillité des riverains ;
- Pollution des eaux : Le rejet des huiles usées des engins dans la nature est une grande source de pollution pour les sources d'eaux souterraines. Les eaux de surface elles peuvent souffrir de leur forte sollicitation pour la réalisation des travaux. En effet les travaux de terrassement requièrent une grande quantité d'eau. Et ces eaux seront prélevées dans les retenues d'eau à proximité de la zone des travaux ;
- Pollution des sols : Le prélèvement des matériaux dans les zones d'emprunt augmente le tassement des sols à ce niveau. De plus, le rejet des huiles usées de moteurs est un facteur de pollution pour les sols. La destruction de la végétation se trouvant le long de l'emprise de la route peut favoriser l'érosion du sol sous l'action de l'eau et du vent ;
- Imperméabilisation des sols : La route étant couverte de bitume, il est impossible pour l'eau de s'infiltrer dans le sol. En l'absence d'un bon réseau d'assainissement cela pourrait occasionner des inondations

➤ Milieu Biologique

- Destruction de la flore : Elle provient essentiellement du dégagement de l'emprise de la route. En effet pour avoir la largeur d'emprise nécessaire il convient de couper des arbres et de décaper les sols végétaux se trouvant sur cette emprise ;
- Destruction de la faune : Elle est liée à la destruction de la flore et à la pollution des eaux. En effet, la flore est l'habitat naturel d'espèces animales qui seront menacées une fois cette flore détruite. La pollution des eaux a un impact direct et néfaste sur les animaux y vivant.

➤ Milieu humain et socio-culturel :

- Risques de propagation des maladies : La pollution de l'air est un facteur de propagation des maladies respiratoires et représente un vrai danger pour les personnes souffrant de maladies respiratoires. De plus, on a un risque de propagation des MST et des IST pour les ouvriers et les riverains de la route ;

- Conflits avec les autochtones : L'arrivée de personnes étrangères à la zone de projet, aux us et coutumes peut engendrer des problèmes entre nouveaux arrivants et les habitants de ces zones ;
 - Accroissement démographique : Les zones de travaux regroupent des ouvriers qui sont pour la plupart des célibataires.
- Milieu économique notamment la perte de patrimoine : La construction de la route peut entraîner un ralentissement d'activités génératrices de revenus. En effet, les commerces situés en bordure de voie seront difficiles d'accès voire déplacés entraînant ainsi une baisse de revenus ou une perte de clientèle. De plus les détours qu'occasionneront les travaux auront pour effet de rallonger les trajets donc d'augmenter la consommation en carburants des usagers et riverains.

6.1.3. Analyse des impacts avec RIAM

RIAM (Rapid Impact Assessment Matrix) est un outil d'étude d'impact environnemental qui nous aide à mieux organiser l'étude d'impact du projet sur l'environnement. Les différents impacts relevés plus haut seront dans un premier temps analysés grâce à la matrice de Léopold. Cette matrice permet de répartir les différents impacts sur les deux phases du projet à savoir la phase de construction et d'exploitation. Ainsi qu'une répartition des impacts sur les milieux receveurs. La matrice est présentée par le tableau 43 en annexe 11.

Après analyse des impacts avec le logiciel RIAM, on obtient des scores qui sont interprétés suivant le tableau 46 proposé par la méthode RIAM. Ces scores et interprétations sont présentés dans les tableaux 34 et 35.

RIAM results

Tableau 34: Résultats de l'analyse RIAM phase de construction

Phase de construction			
Physical and chemical (PC)	ES	RB	Interprétation
PC1: Pollution de l'air	-6	-A	Problème négatif léger
PC2: Pollution des eaux			
PC3: Pollution des sols			
PC4: Nuisances sonores			
Biological and ecological (BE)	ES	RB	Interprétation
BE1: Destruction des sols	-6	-A	Problème négatif léger
BE2: Destruction de la végétation			
Sociological and cultural (SC)	ES	RB	Interprétation
SC1: Risques de propagation d'IST et VIH	-84	-E	Problème négatif majeur

Etudes techniques d'avant-projet détaillé des travaux de réhabilitation et de renforcement de la route
Koupela-Frontière du Niger

SC2: Interruption de la fluidité de la circulation	-18	-B	Problème négatif
SC3: Diminution du chômage	63	D	Impact très positif
SC4 : Conflits avec les autochtones	-6	-A	Problème négatif léger
SC5 : Augmentation de la population locale	-24	-C	Problème négatif modéré
Economical and opérational (EO)	ES	RB	Interprétation
EO1: Développement d'activités commerciales	63	D	Impact très positif
EO2: Perte de patrimoine	-28	-C	Problème négatif modéré

Tableau 35: Résultats de l'analyse RIAM phase d'exploitation

Phase d'exploitation			
Physical and chemical (PC)	ES	RB	Interprétation
PC1: Nuisance sonore	-9	-A	Problème négatif léger
PC2 : Imperméabilisation des sols			
Biological and ecological (BE)	ES	RB	Interprétation
BE1: Embellissement de l'environnement	54	D	impact positif très important
Sociological and cultural (SC)	ES	RB	Interprétation
SC1: Fluidité et confort de la circulation	81	E	Impact positif majeur
SC2: Facilité d'évacuation sanitaire			
Economical and opérational (EO)	ES	RB	Interprétation
EO1: Désenclavement des localités	81	E	Impact positif majeur
EO2: Diminution du temps de parcours			
EO3 : Augmentation d'activités génératrices de revenus			

Conclusion : Comme représenté l'exploitation de la route dans les tableaux 34 et 35 engendre en majorité des impacts positifs qui sont soit très importants soit majeurs. Les impacts négatifs se retrouvent en majorité pendant la phase de construction de la route. Ces impacts négatifs restent cependant légers et des mesures pour les atténuer sont envisagées.

6.1.4. Mesures d'atténuations

Des mesures d'atténuation sont proposées par l'étude afin d'éliminer entièrement ou de réduire les impacts négatifs par rapport à leur état initial. Les mesures envisageables sont les suivantes :

- Procéder à des projections de films et des affiches sur les panneaux publicitaires sur la santé, l'hygiène, le VIH/Sida, la sécurité routière, et l'environnement. Des sketches et théâtres aussi pourraient accompagner ces projections afin de toucher le plus grands nombres. Des distributions de préservatifs aux ouvriers chaque fin du mois en même temps que la paye ;
- Faire une campagne de reboisement. Cette campagne se fera en offrant des plantes aux ménages situées à proximité de la zone de projet et en organisant en coopération avec les collectivités locales le reverdissement des espaces verts et la création de bosquets dans des lieux indiqués par ces derniers ;
- Régénérer les zones d'emprunt en y déposant les terres décapées ;
- Interdire l'accès au chantier aux riverains en plaçant des barrières et des ouvriers chargés de faire respecter les consignes ainsi que la mise en place d'une signalisation temporaire pour guider les riverains et usagers ;
- Procéder à l'arrosage des voies de contournement 3 fois par jour afin de réduire la poussière émise par les engins qui les empruntent ;
- Compensation financière pour les riverains dont les activités génératrices de revenus sont affectées ;
- Optimiser l'utilisation des engins en faisant une bonne programmation de chantier et le respect des heures de travaux afin de réduire la pollution sonore ;
- Organiser des activités culturelles pour permettre une bonne cohésion entre autochtones et nouveaux arrivants sur le chantier. Ces activités sont des tournois de football, des concours de danse ;
- Impliquer la population locale en approchant les responsables locaux aussi bien pendant l'étude que pendant la phase de construction. Recruter la main d'œuvre locale pour une meilleure appropriation du projet par les riverains et ainsi limiter les conflits entre autochtones et nouveaux arrivants.

6.2. Estimation du coût du projet

Cette partie de l'étude permet de déterminer les moyens financiers à mobiliser pour la réalisation des travaux. Le détail de l'estimation est en annexe 8. Les prix unitaires qui ont servi de base pour l'évaluation sont des prix issus de travaux similaires récemment exécutés au Burkina Faso. La moyenne utilisée est celle des prix unitaires des travaux suivants :

- Marché N° 30/00/04/01/80/2010/00005 : Travaux de renforcement du tronçon de la route nationale (RN 1) entre Ouagadougou et Sakoinsé
- Travaux de construction et de bitumage de la Route Nationale N°14 entre Koudougou et Dédougou
- Marché n° 30/00/04/02/00-04-20-22-25-26/2007 : Travaux de construction et de bitumage de la route Yégueresso-Diébougu (N27) et la bretelle de HAMELE (D122)

Etudes techniques d'avant-projet détaillé des travaux de réhabilitation et de renforcement de la route
Koupela-Frontière du Niger

Le montant après estimation des différentes phases du projet et du projet est présenté dans le tableau 36 ci-après.

Tableau 36:Tableau récapitulatif des coûts du projet

N° Prix	Désignations	Prix (FCFA)
Série 000	Installation de chantier et repli de chantier	380 000 000
Série 100	Travaux préparatoires	263 569 150
Série 200	Terrassements généraux	280 590 000
Série 300	Chaussées	1 819 800 000
Série 400	Assainissement et drainage	1 022 400 000
Série 500	Sécurité routière	125 616 690
Série 600	Mesures environnementales	78 000 000
Total travaux HTVA		3 589 975 840
Montant total TTC		4 236 171 491

Arrêté le présent devis à la somme de quatre milliards deux cent trente-six millions cent soixante-onze milles quatre cent quatre-vingt-onze (4 236 171 491) francs CFA.

Conclusion

Le présent mémoire intitulé « Etudes techniques d'avant-projet détaillé de la route Koupela-Frontière du Niger » avait pour objectif l'actualisation des études menées en 2012 pour la réhabilitation de ladite route pour une durée de vie de 20 ans. L'ensemble des études menées sur 10 Km ont permis de proposer des aménagements et infrastructures répondant aux normes et exigences d'une route moderne et durable. A ces propositions, nous avons proposé des mesures afin de limiter les possibles impacts sur l'environnement.

Les études techniques nous ont conduits aux résultats suivants:

- Une solution adaptée à l'état de dégradation actuel de la chaussée. La solution retenue est un renforcement de la structure de chaussée à même de supporter à la fois le trafic projeté et la durée de vie projetée. Cette chaussée sera constituée d'une couche de fondation de 20 cm de graveleux latéritique naturel amélioré à 3% de ciment, 8 cm de grave bitume en couche de base et 5 cm de béton bitumineux en couche de roulement ;
- Des infrastructures d'assainissement adaptés qui sont essentiellement des caniveaux qu'on retrouve en traversé d'agglomération. On y retrouve des caniveaux de section 60 x 60 cm² long de 1816 mètres, 80 x 80 cm² long de 2012 mètres, 100 x 100 cm² long 426 mètres et 1586 mètres de long pour la section de 150 x 150 cm². Des dalots localisés aussi bien en agglomérations qu'en rase campagne de sections 2x2,00x2,00 ; 1x2,00x2,00 ; 3x2,00x2,00 ; 1x1,00x1,00 ; 3x3,00x3,00 ; 1x6,5x2,5 ; 1x6,5x3 ;
- Une conception géométrique de la route respectant les normes des routes communautaires de l'espace UEMOA. Nous avons conçu une route de 9,4 mètres de large pour la chaussée et 2 mètres d'accotements de part et d'autres de la chaussée en agglomération et 7,2 mètres de chaussée et 1,5 mètre d'accotement en rase campagne ;
- Une signalisation routière en accord avec le code de la route et les normes de sécurité en la matière. Au total, 29 panneaux de signalisations sont prévus avec des lignes blanches de signalisation horizontale de 17 000 mètres. A ces mesures de sécurité, on peut ajouter 84 mètres de glissières métalliques au niveau des ouvrages d'art et de 32 balises de signalisation ;
- L'éclairage de la route afin d'assurer une bonne visibilité de la nuit tout en tenant compte du déficit énergétique du Burkina Faso se fera par l'installation de lampadaires solaires aussi appelés lampadaires autonomes. Le long du projet et plus précisément du Pk 0+000 au Pk 2+920 ; 97 lampadaires autonomes seront installés

Par ailleurs, les impacts que pourraient engendrer le projet ont été analysés au travers d'une étude d'impact environnemental qui a montré des impacts qui sont pour la plupart positifs avec cependant des problèmes négatifs qui pourront être atténués voire éliminer grâce aux mesures proposées par l'E.I.E.

La réalisation de ce projet nécessite la mobilisation de moyen financier dont l'estimation au bout d'une étude détaillée a donné un budget de 4.236.171.491 francs CFA toutes taxes comprises.

Toutes les propositions faites aux termes de l'étude technique comporte des optimisations tant techniques qu'économiques afin de tenir compte des contraintes économiques du Burkina Faso tout en apportant des garanties qu'en à la qualité.

Toutes ces propositions bien appliquées pourraient assurer la réalisation d'une route réhabilitée confort aux normes internationales. Cependant, pour une pérennisation de la route, il faut réaliser un entretien courant

de la route et veiller au respect du tonnage des véhicules de transport de marchandise qui ne doit pas excéder 13 tonnes à l'essieu.

A terme, cette étude nous a permis de confronter nos connaissances théoriques acquises pendant nos années d'études aux réalités d'un cas pratique. Nos aptitudes en études techniques d'avant-projet détaillé en sont plus développées avec en prime une expérience de la vie professionnelle en bureau d'études.

Bibliographie

- ✓ Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux, CEBTP-LCPC, Mai 1985.
- ✓ Centre Expérimental de la recherche de l'étude du Bâtiment et des Travaux Public (CEBTP), CEBTP, 1984.
- ✓ Dr Ismaïla GUEYE, Polycopié de cours de Mécanique des sols 1 et 2, 2012.
- ✓ Dr Ismaïla GUEYE, Polycopié de cours de Géotechnique routière, 2014.
- ✓ Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques (CERTU), Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines (ICTAVRU), CERTU, 2009.
- ✓ Aménagement des Routes Principales (ARP) (Ministère de l'équipement, Direction des Routes – France), 1994.
- ✓ Marc COMBERE, Polycopié de cours de voirie, 2013.
- ✓ Hydraulique routière, 1979.
- ✓ FAO, Crues et apports : manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche, 1996.
- ✓ Fascicule n° 61 conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art : titre II. -programmes de charges et épreuves des ponts et routes
- ✓ Jean Pierre MOUGUN, BAEL 91 modifié 99, EYROLLES, 2000.
- ✓ Dr Adamah MESSAN. Polycopié de cours de Béton armé 1 et 2, 2013.
- ✓ Dr Adamah MESSAN. Polycopié de cours de Béton armé 3, 2014.
- ✓ Dr Adamah MESSAN. Polycopié de cours d'hydraulique routière partie 2 : Ouvrage d'art conception et dimensionnement des petits ouvrages de franchissement routier, 2012.
- ✓ Marcelin KOUAKOU, Cours d'Etude d'Impact Environnemental

Annexes

Annexe 1 : Etude du trafic

Les formules d'estimation du trafic projeté et du nombre d'essieux standards équivalents (NESE) sont extraites respectivement du **Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour pays tropicaux et du Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux** et sont :

$$TMJA_{2019} = TMJA_{2010} \times (1 + i)^{n'-1}$$

$$TMJA_{2019} = 330 \times (1 + 0,05)^{9-1}$$

$$TMJA_{2019} = 556$$

$$NESE = 365 \times t \times A \times n \times \frac{(1 + i)^{n-1}}{n \times i}$$

$$NESE = 365 \times 556 \times 0,8 \times 20 \times \frac{(1 + 0,05)^{20-1}}{20 \times 0,05}$$

$$NESE = 4033354$$

Avec :

$TMJA_{2019}$: Trafic moyen journalier annuel à la date de mise en service soit 2019

n' : nombre d'année entre l'année de comptage et l'année de mise en service de la route

i : taux d'accroissement du trafic en pourcentage

n : Durée de vie projeté de la route

t : trafic des poids lourds à l'année de mise en service

A : coefficient d'agressivité moyen

Etudes techniques d'avant-projet détaillé des travaux de réhabilitation et de renforcement de la route
Koupela-Frontière du Niger

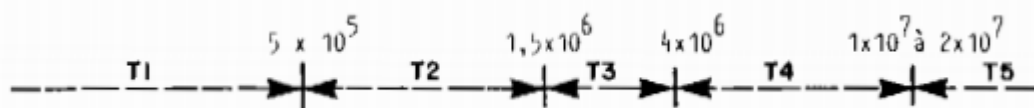
Tableau 37: Coefficient d'agressivité des essieux

Classe poids sur essieu (i)	Fréquence d'essieux f (%)	1 Équivalence chaussée souple (a')	2 Équivalence chaussée semi-rigide (a'')	Agressivités respectives	
				sur chaussée souple f x a'	sur chaussée rigide f x a''
1 - 2	1,00	0,000177	0,0000	0,000177	0,0000
2 - 3	11,4	0,00137	0,0001	0,0156	0,0011
3 - 4	10,8	0,00525	0,0004	0,0567	0,0043
4 - 5	11,7	0,0144	0,0017	0,168	0,00199
5 - 6	10,5	0,0320	0,0057	0,336	0,0598
6 - 7	9,8	0,0625	0,0156	0,612	0,153
7 - 8	7,1	0,111	0,0369	0,788	0,262
8 - 9	7,8	0,183	0,0781	1,427	0,609
9 - 10	8,0	0,285	0,152	2,288	1,216
10 - 11	6,5	0,426	0,278	2,769	1,807
11 - 12	5,0	0,612	0,479	3,06	2,395
12 - 13	3,9	0,855	0,790	3,334	3,081
13 - 14	2,1	1,16	1,254	2,436	2,633
14 - 15	1,6	1,55	1,926	2,48	3,081
15 - 16	0,7	2,02	2,873	1,414	2,011
16 - 17	0,8	2,60	4,181	2,08	3,345
17 - 18	0,6	3,28	5,951	1,968	3,571
18 - 19	0,3	4,10	8,306	1,230	2,492
19 - 20	0,2	5,06	11,39	1,012	2,278
20 - 21	0,2	6,18	15,38	1,236	3,076
21 - 22	0,00	7,48	20,46	0,00	0,00
22 - 23	0,00	8,97	26,88	0,00	0,00
23 - 24	0,00	10,68	34,89	-	-
$\Sigma = 100$ essieux				28,71	32,10
L'agressivité d'un essieu est donc =				0,287	0,321
Si 1 PL comporte en moyenne 3 essieux le coefficient d'agressivité du PL type =				0,86	0,96

Données de calcul du trafic	
$TMJA_{2010}$	330
n'	8
i	0,05
A	0,86
n	20

Le tableau suivant présente les résultats des calculs du nombre d'essieux standard équivalent

$TMJA_{2010}$	$TMJA_{2019}$	NESE
330	556	4033354



Source : Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux

On obtient: $4 \times 10^6 < NESE < 1 \times 10^7$

Ce qui nous donne une classe de trafic T4.

Annexe 2 : Note de calcul alizé

Alizé-Lcpc - Dimensionnement des structures de chaussées

selon la méthode rationnelle Lcpc-Sétra

Signalement du calcul :

- titre de l'étude : **Valeurs de contraintes admissibles pour la variante 1**

données Chargement :

- jumelage standard de 65 kN
- pression verticale : 0.6620 MPa
- rayon de contact : 0.1250 m
- entraxe jumelage : 0.3750 m

unités : m, MN et MPa ; déformations en μdef ; déflexions en mm/100

notations :

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

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

Tableau 1+2 (synthèse) :

tractions principales majeures dans le plan horizontal XoY et
compressions principales majeures selon la verticale ZZ ; déflexion maximale
niveau EpsilonT SigmaT EpsilonZ SigmaZ

calcul horizontale horizontale verticale verticale

----- *surface (z=0.000)* -----

h= 0.050 m 0.000m 42.6 X-J 0.152 X-J 160.4 Z-R 0.658 Z-R

E= 1300.0 MPa

nu= 0.350 0.050m 34.7 X-R 0.175 Y-J 244.9 Z-R 0.619 Z-R

----- *collé (z=0.050m)* -----

h= 0.130 m 0.050m 34.7 X-R 0.345 Y-J 91.0 Z-R 0.619 Z-R

E= 2700.0 MPa

nu= 0.350 0.180m -122.1 Y-R -0.356 Y-R 158.8 Z-R 0.206 Z-R

----- *collé (z=0.180m)* -----

h= 0.200 m 0.180m -122.1 Y-R -0.055 Y-J 283.1 Z-R 0.206 Z-R

E= 800.0 MPa

nu= 0.250 0.380m -214.6 Y-J -0.191 Y-J 187.4 Z-J 0.066 Z-J

----- *glissant (z=0.380m)* -----

h infini 0.380m 53.5 X-R 0.051 X-R 133.9 Z-J 0.066 Z-J

E= 200.0 MPa

nu= 0.350

Déflexion maximale = 31.1 mm/100 (entre-jumelage)

Rayon de courbure = 389.5 m (entre-jumelage)

Calcul de Valeur admissible - matériau : traité aux liants hydraulique - GLAC

données de trafic :

MJA = 389 pl/j/sens/voie

accroisst géom. = 5.00%

période de calcul = 20.0 années

trafic cumulé NPL = 4 694 900 PL

donnée déduite :

accroissth arith. = 6.88%
trafic cumulé équivalent NE :
coefficient CAM = 0.80
trafic cumulé NE = 3 755 900 essieux standard
données sur le matériau :
Sigma6 = 0.400 MPa
pente inverse 1/b = -11.00
écart type Sh = 0.025 m
écart type SN = 0.800
risque = 5.0%
coefficient Kr = 0.7160
coefficient 1/Kd = 1.0000
coefficient 1/Ks = 1/1.2
coefficient Kc = 1.5
SigmaT admissible = 0.317 MPa
Calcul de Valeur admissible - matériau : bitumineux - bb
données de trafic :
MJA = 389 pl/j/sens/voie
accroissth géom. = 5.00%
période de calcul = 20.0 années
trafic cumulé NPL = 4 694 900 PL
donnée déduite :
accroissth arith. = 6.88%
trafic cumulé équivalent NE :
coefficient CAM = 0.80
trafic cumulé NE = 3 755 900 essieux standard
données sur le matériau :
Epsilon6 = 100.00 µdéf
pente inverse 1/b = -5.00
TétaEq = 30°C
module E(10°C) = 7200 MPa
module E(TétaEq) = 1300 MPa
Ep. bitumineuse struct. = 0.050 m
écart type Sh = 0.010 m
écart type SN = 0.250
risque = 5.0%
coefficient Kr = 0.8150
coefficient Ks = 1/1.2
coefficient Kc = 1.1
EpsilonT admissible = 134.9 µdéf
Calcul de Valeur admissible - matériau : bitumineux - gb3
données de trafic :
MJA = 389 pl/j/sens/voie

accroisst géom. = 5.00%
période de calcul = 20.0 années

trafic cumulé NPL = 4 694 900 PL
donnée déduite :
accroisst arith. = 6.88%
trafic cumulé équivalent NE :
coefficient CAM = 0.80
trafic cumulé NE = 3 755 900 essieux standard
données sur le matériau :
Epsilon6 = 90.00 µdéf
pente inverse 1/b = -5.00
TétaEq = 30°C
module E(10°C) = 12300 MPa
module E(TétaEq) = 2700 MPa
Ep. bitumineuse struct. = 0.120 m
écart type Sh = 0.016 m
écart type SN = 0.300
risque = 5.0%
coefficient Kr = 0.7730
coefficient Ks = 1/1.2
coefficient Kc = 1.3
EpsilonT admissible = 123.5 µdéf

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

Signalement du calcul :

- titre de l'étude : **Valeurs de contraintes admissibles pour la variante retenue**

données Chargement :

- jumelage standard de 65 kN
- pression verticale : 0.6620 MPa
- rayon de contact : 0.1250 m
- entraxe jumelage : 0.3750 m

unités : m, MN et MPa ; déformations en µdéf ; déflexions en mm/100

notations :

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

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

Tableau 1+2 (synthèse) :

tractions principales majeures dans le plan horizontal XoY et

compressions principales majeures selon la verticale ZZ ; déflexion maximale

niveau EpsilonT SigmaT EpsilonZ SigmaZ

calcul horizontale horizontale verticale verticale

----- *surface (z=0.000)* -----

$h = 0.050 \text{ m}$ 0.000m -21.6 X-J 0.083 X-J 5.1 Z-R 0.659 Z-R

$E = 3000.0 \text{ MPa}$

$\nu = 0.350$ 0.050m 2.1 X-R 0.175 Y-J 111.0 Z-R 0.579 Z-R

----- *collé (z=0.050m)* -----

$h = 0.080 \text{ m}$ 0.050m 2.1 X-R 0.185 Y-J 103.9 Z-R 0.579 Z-R

$E = 3190.0 \text{ MPa}$

$\nu = 0.350$ 0.130m -125.8 Y-R -0.421 Y-R 171.6 Z-R 0.282 Z-R

----- *collé (z=0.130m)* -----

$h = 0.200 \text{ m}$ 0.130m -125.8 Y-R -0.033 Y-J 365.9 Z-R 0.282 Z-R

$E = 800.0 \text{ MPa}$

$\nu = 0.250$ 0.330m -146.6 Y-J -0.110 Y-J 171.1 Z-J 0.093 Z-J

----- *collé (z=0.330m)* -----

$h = 0.300 \text{ m}$ 0.330m -146.6 Y-J 0.010 Y-R 409.6 Z-J 0.093 Z-J

$E = 200.0 \text{ MPa}$

$\nu = 0.350$ 0.630m -0.9 Y-J 0.030 Y-R 191.9 Z-J 0.061 Z-J

----- *collé (z=0.630m)* -----

h infini 0.630m -0.9 Y-J 0.009 Y-R 5.6 Z-J 0.061 Z-J

$E = 10000.0 \text{ MPa}$

$\nu = 0.250$

Déflexion maximale = 13.3 mm/100 (entre-jumelage)

Rayon de courbure = 358.7 m (entre-jumelage)

Calcul de Valeur admissible - matériau : bitumineux - BBME1

données de trafic :

MJA = 389 pl/j/sens/voie

accroisst géom. = 5.00%

période de calcul = 20.0 années

trafic cumulé NPL = 4 694 900 PL

Alizé - Calculs mécaniques page 1

donnée déduite :

accroisst arith. = 6.88%

trafic cumulé équivalent NE :

coefficient CAM = 0.80

trafic cumulé NE = 3 755 900 essieux standard

données sur le matériau :

Epsilon₆ = 100.00 μ déf

pente inverse 1/b = -5.00

TétaEq = 30°C

module E(10°C) = 7200 MPa

module E(TétaEq) = 3000 MPa

Ep. bitumineuse struct. = 0.050 m

écart type Sh = 0.010 m

écart type SN = 0.250

risque = 5.0%

coefficient Kr = 0.8150

coefficient Ks = 1/1.2

coefficient Kc = 1.1

EpsilonT admissible = 88.8 µdéf

Calcul de Valeur admissible - matériau : traité aux liants hydraulique – GLAC

données de trafic :

MJA = 389 pl/j/sens/voie

accroisst géom. = 5.00%

période de calcul = 20.0 années

trafic cumulé NPL = 4 694 900 PL

donnée déduite :

accroisst arith. = 6.88%

trafic cumulé équivalent NE :

coefficient CAM = 0.80

trafic cumulé NE = 3 755 900 essieux standard

données sur le matériau :

Sigma6 = 0.400 MPa

pente inverse 1/b = -11.00

écart type Sh = 0.025 m

écart type SN = 0.800

risque = 5.0%

coefficient Kr = 0.7160

coefficient 1/Kd = 1.0000

coefficient 1/Ks = 1/1.2

coefficient Kc = 1.5

SigmaT admissible = 0.317 MPa

Calcul de Valeur admissible - matériau : bitumineux - gb4

données de trafic :

MJA = 389 pl/j/sens/voie

accroisst géom. = 5.00%

période de calcul = 20.0 années

trafic cumulé NPL = 4 694 900 PL

donnée déduite :

accroisst arith. = 6.88%

trafic cumulé équivalent NE :

coefficient CAM = 0.80

trafic cumulé NE = 3 755 900 essieux standard

données sur le matériau :

Epsilon6 = 100.00 µdéf

pente inverse 1/b = -5.00

Alizé - Calculs mécaniques page 2

TétaEq = 30°C

module E(10°C) = 14550 MPa

module E(TétaEq) = 3190 MPa

Ep. bitumineuse struct. = 0.080 m

écart type Sh = 0.010 m

écart type SN = 0.300

risque = 5.0%

coefficient Kr = 0.7870

coefficient Ks = 1/1.2

coefficient Kc = 1.3

EpsilonT admissible = 139.7 µdéf

Annexe 3 : Valeurs et classes des déflexions

Les valeurs de déflexion sont obtenues en effectuant des mesures tout le long de la voie de façon alternée à l'aide de la poutre Benkelman qui elle permet la mesure ponctuelle de la déformation de la structure de chaussée sous une charge appliquée de 13 tonnes, charge de référence au Burkina Faso. Les mesures de déflexions considérées sont celle de la campagne de mesures de déflexions menée par le bureau d'étude TECHNI-CONSULT. La déflexion caractéristique est ensuite obtenue par la formule : $D_{90} = D_{m500} + 1,3 \times \text{Ecart type}$

Avec :

D_{90} = Déflexion caractéristique

D_{m500} = Déflexion moyenne sur 500 mètres

Les classes de déflexion sont obtenues relativement au tableau 35 qui donne les classes correspondant à chaque déflexion caractéristique

Tableau 38:Catégories de déflexion

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

Tableau 39: Tableau des déflexions

Pk	Côté de la chaussée	Déflexions	D_{m500}	Ecart-Type	D_{90}	Classe de déflexion
0+000	A	84	68	20,1	94,2	D3
0+100	D	60				
0+200	G	48				
0+300	A	64				
0+400	D	48				
0+500	G	104				
0+600	A	48	63,3	32,7	106	D4
0+700	D	12				
0+800	G	48				
0+900	A	64				
1+000	D	104				
1+100	G	84				
1+200	A	44	72,7	18,4	96,6	D3
1+300	D	72				

Etudes techniques d'avant-projet détaillé des travaux de réhabilitation et de renforcement de la route
Koupela-Frontière du Niger

1+400	G	64				
1+500	A	68				
1+600	D	68				
1+700	G	120	93,3	19,4	119	D4
1+800	A	100				
1+900	D	96				
2+000	G	108				
2+100	A	88				
2+200	D	48	74	19,4	99,3	D3
2+300	G	60				
2+400	A	68				
2+500	D	72				
2+600	G	72				
2+700	A	32	61,3	16,4	82,7	D3
2+800	D	48				
2+900	G	64				
3+000	A	80				
3+100	D	60				
3+200	G	76	69,3	6,8	78,2	D3
3+300	A	64				
3+400	D	68				
3+500	G	68				
3+600	A	48				
3+700	D	40	36	11,1	50,4	D2
3+800	G	68				
3+900	A	44				
4+000	D	52				
4+600	D	48				
4+700	G	52				
4+800	A	40				
4+900	D	60				
5+000	G	56	45,3	17,1	67,5	D2
5+100	A	44				
5+200	D	40				
5+300	G	40				
5+400	A	56				
5+500	D	48	51,3	8,77	62,7	D2
5+600	G	80				
5+700	A	40				
5+800	D	24				
5+900	G	40				
6+000	A	40	42,7	19,8	68,4	D2
6+100	D	40				
6+200	G	64				
6+300	A	52				
6+400	D	56				

Etudes techniques d'avant-projet détaillé des travaux de réhabilitation et de renforcement de la route
Koupela-Frontière du Niger

6+500	G	56				
6+600	A	56				
6+700	D	72				
6+800	G	20	48	8,94	59,6	D2
6+900	A	20				
7+000	D	32				
7+100	G	48				
7+200	A	44				
7+300	D	60	73,3	23,4	104	D4
7+400	G	48				
7+500	A	56				
7+600	D	36				
7+700	G	80				
7+800	A	112	81,3	11	95,6	D3
7+900	D	76				
8+000	G	80				
8+100	A	96				
8+200	D	80				
8+300	G	88	83,3	15,4	103	D4
8+400	A	60				
8+500	D	84				
8+600	G	108				
8+700	A	96				
8+800	D	60	70	10,5	83,7	D3
8+900	G	76				
9+000	A	76				
9+100	D	60				
9+200	G	88	56	11,5	71	D2
9+300	A	72				
9+400	D	56				
9+500	G	68				
9+600	A	56				
9+700	D	32				
9+800	G	64	53,3	16,8	75,1	D3
9+900	A	56				
10+000	D	60				

Annexe 4 : Résultats des essais Los Angeles et Micro Deval

Les granulats doivent présenter une très bonne résistance à la fragmentation et une bonne résistance à l'attrition et à l'usure. Les normes présentées dans le tableau 37 doivent être respectées pour assurer le minimum de dureté aux granulats

Tableau 40: Normes des essais Los Angeles et Deval humide

	LOS ANGELES	DEVAL HUMIDE
Couche de fondation	Inférieur à 30	Supérieur à 5
Couche de base	Inférieur à 20	Supérieur à 7

Tableau 41: Résultats Essais Los Angeles pk113

Classe granulaire	6/10	6/10	10/14	10/14
Nombre de Boulets	9	9	11	11
Poids Echantillon Lavé-Séché(g)	5000	5000	5000	5000
Poids Refus à 1,6 mm Lavé-Séché (g)	3680	3678	3695	3696
Poids Passant à 1,6 mm Lavé-Séché (g)	1320	1318	1305	1304
Coefficient LOS ANGELES	26,40%	26,36%	26,1%	26,08%
Moyenne Coefficients LOS ANGELESS (%)	26,38%		26,09%	

Tableau 42: Résultats essais Micro-Deval pk 113

Classe granulaire	6/10	6/10	10/14	10/14
Poids de Billes	5000	5000	4000	4000
Poids Echantillon Lavé-Séché(g)	500	500	500	500
Poids Refus à 1,6 mm Lavé-Séché (g)	451,4	452,3	391	387,7
Poids Passant à 1,6 mm Lavé-Séché (g)	48,6	47,7	109	112,9
Coefficient Micro-Déval	9,72%	9,54%	21,8%	22,58%
Moyenne Coefficients Micro-Déval (%)	9,63%		22,19%	

Annexe 5 : Etude hydrologique et hydraulique

1. Etude hydrologique

❖ Pluviométrie

80 % des apports de pluie dans la zone de projet se retrouvent dans la saison pluvieuse qui dure quatre mois soit de Juin-septembre. La variation de la pluviométrie est présentée par la figure 12

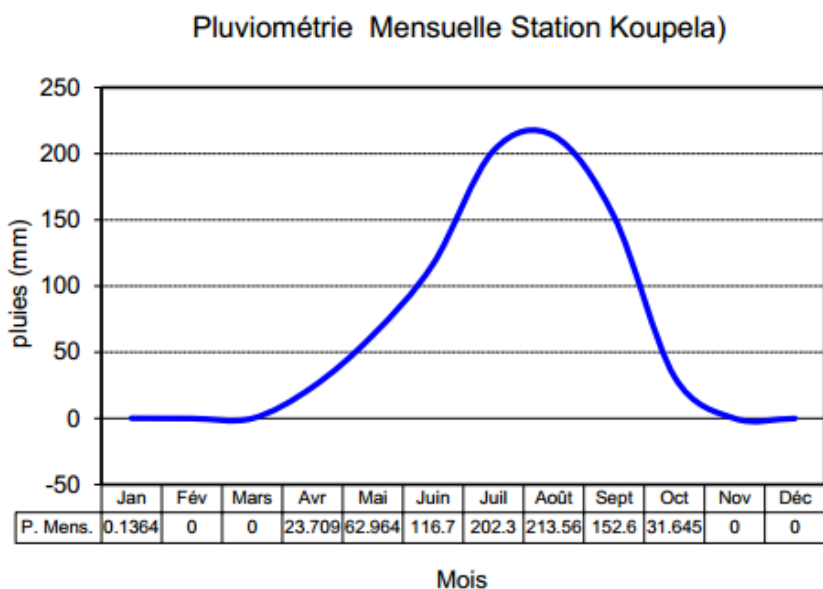


Figure 11: Variation de la pluviométrie

Le graphe ci-dessous présente la variation de la pluviométrie sur une période de 10 ans

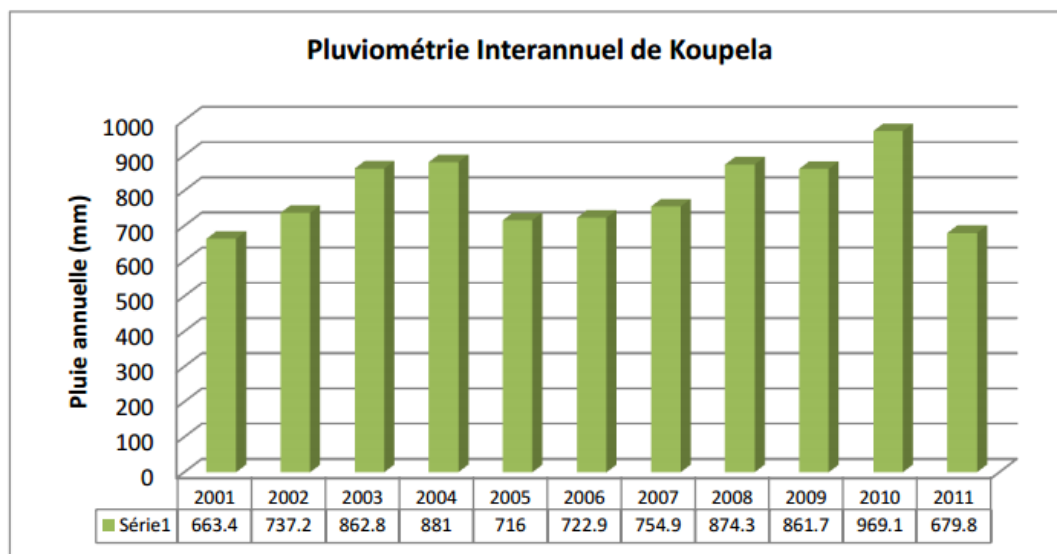


Figure 12: Pluviométrie interannuel de Koupela

❖ Analyse des données pluviométriques

L'analyse des données pluviométriques a été réalisée par le logiciel Hyfran qui est un logiciel adapté pour l'analyse des données pluviométriques et hydrologiques. Elle détermine les quantiles pour différentes périodes de retour, 10 ans pour ce qui est de notre étude et permet de déterminer la pluie maximale journalière pour la période de retour considérée. Les données de la série pluviométrique annuelle provenant

des cumuls mensuels ont été ajustées par la loi de Gauss (loi Normale), tandis que les pics journaliers ont été ajustés par la loi de Gumbel (loi doublement exponentielle).

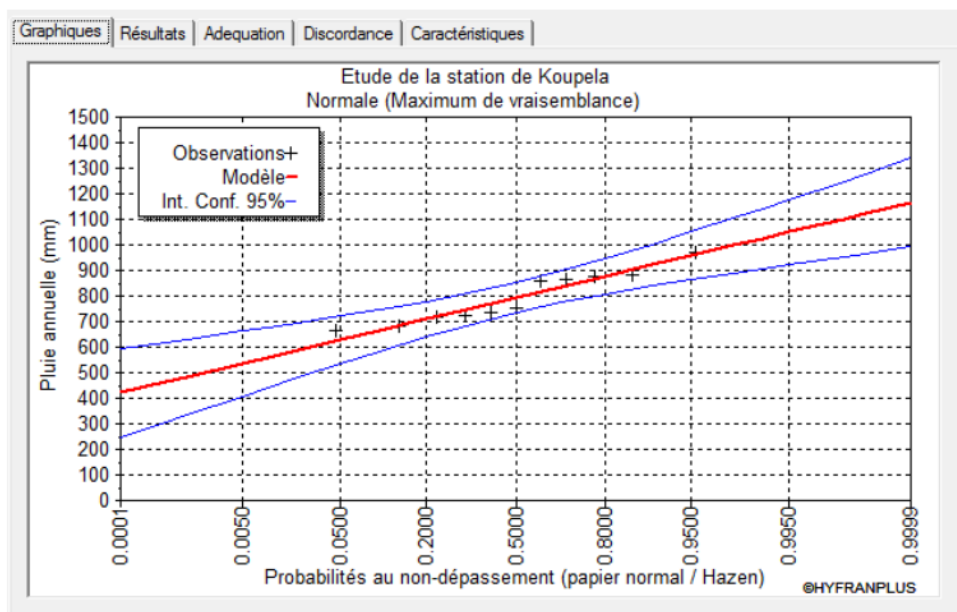


Figure 13: Loi normale de Gauss sur Hyfran

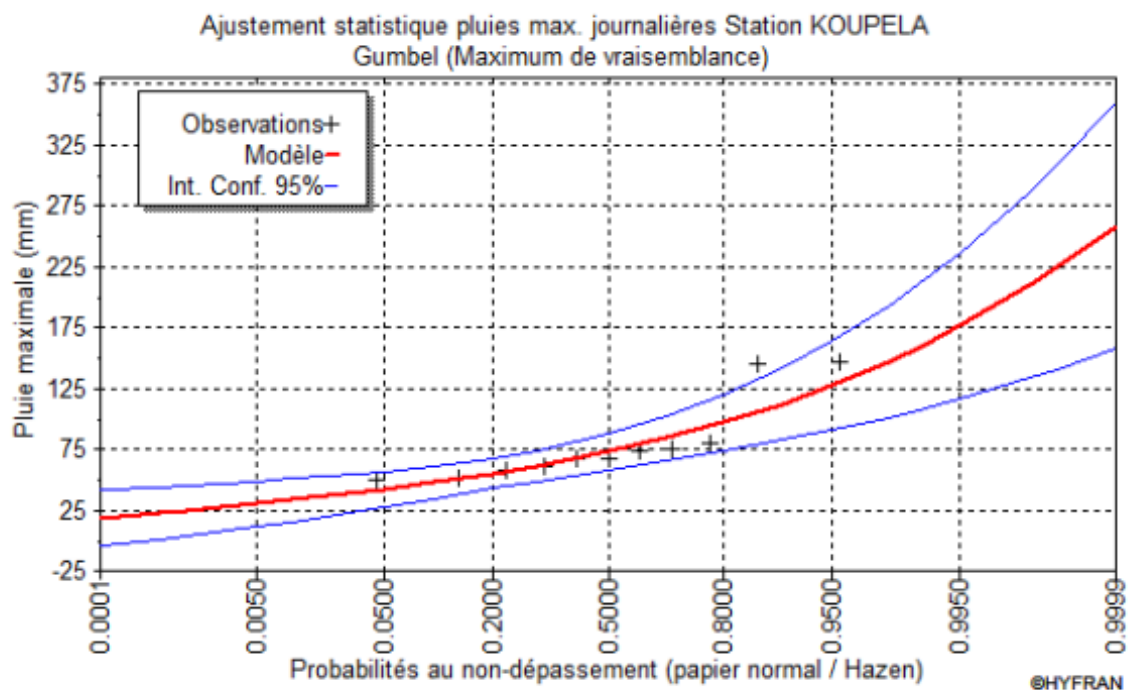


Figure 14: Ajustement de la loi de Gumbel

❖ Bassins versants

Les bassins versants retenues pour l'étude sont représentés par la figure ci-dessus 15

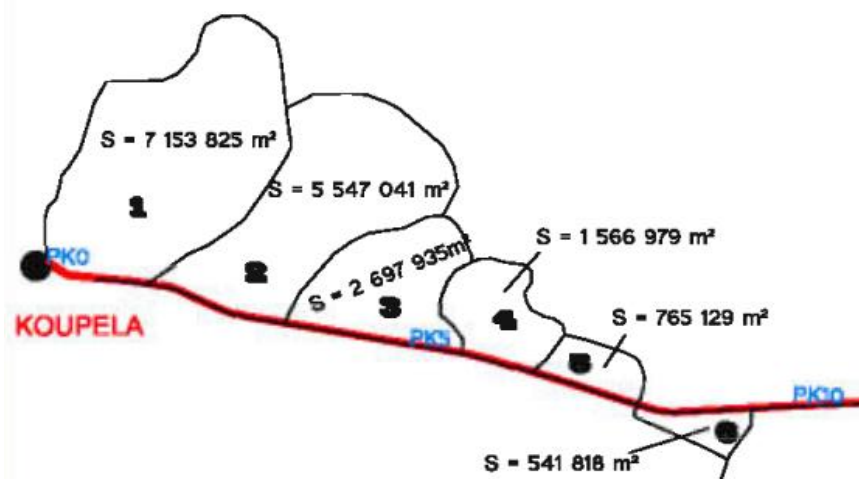


Figure 15: Localisation et superficie des bassins versants

Les caractéristiques physiques des bassins versants sont représentées dans le tableau 21.

❖ Evaluations des crues

Les trois (3) méthodes retenues pour l'évaluation du débit décennal sont :

- la méthode ORSTOM,
- la méthode CIEH,
- la méthode rationnelle.

Les résultats des méthodes utilisées sont reconnus fiables dans les domaines de validité suivants :

- la méthode rationnelle pour des bassins versants de superficie inférieure ou égale à 4 km² ;
- la méthode ORSTOM, pour des bassins versants de superficie comprise entre 0,2 et 200 km² ;
- la méthode CIEH pour des bassins versants de superficie comprise entre 2 et 2 000 km² (voire plus)

a. La méthode ORSTOM

Pour les bassins versants auxquels elle s'applique la formule ORSTOM pour la détermination des débits de projets est :

$$Q_{\max 10} = A \times P_{10} \times K_{r10} \times a_{10} \times S / T_{b10}$$

$Q_{\max 10}$: débit maximal décennale (m^3/s)

A: Coefficient d'abattement

P_{10} : précipitation décennale ponctuelle journalière

K_{r10} : coefficient de ruissellement décennal

a_{10} : coefficient de pointe décennal

S: superficie du bassin versant

T_{b10} : temps de base décennal (s)

Les différents paramètres de calcul présent dans la formule ont été déterminés dans le manuel « Hydraulique routière » de suivant la méthodologie suivante :

- Le coefficient d'abattement traduit la distribution spatiale non homogène de la pluie sur un bassin versant. Plus ce bassin est petit, plus A est proche de l'unité. A est fonction de la pluviométrie et de la superficie du bassin versant. Il est obtenu par lecture sur le graphe suivant :

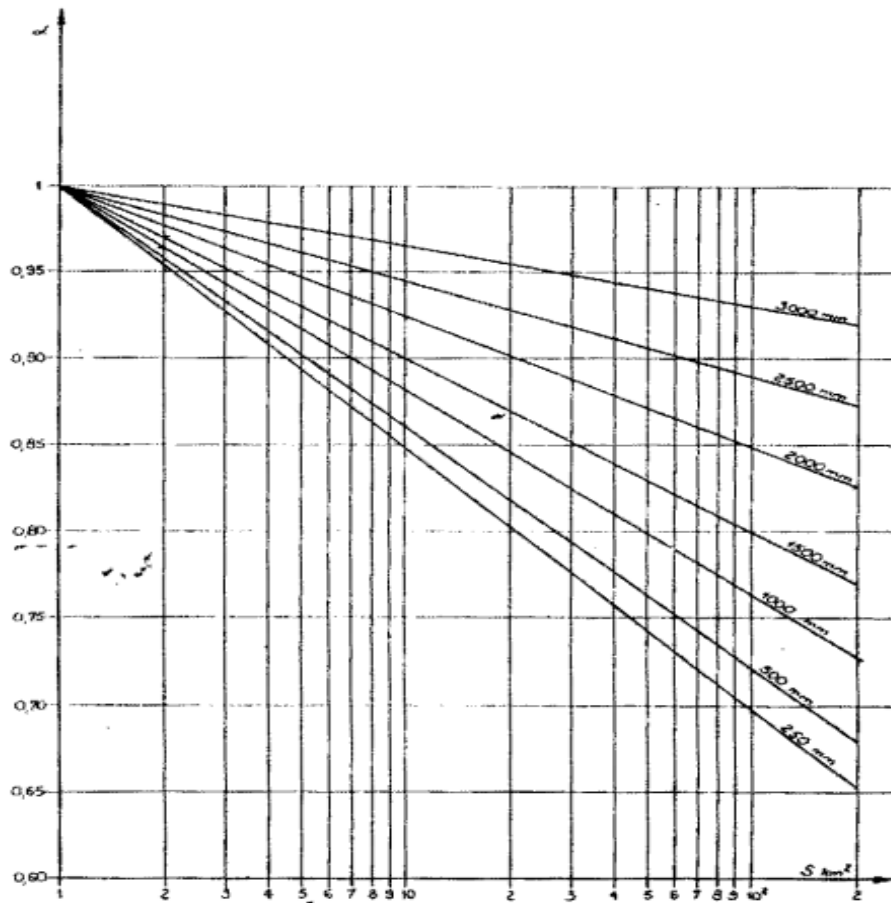


Figure 16: Variations du coefficient d'abattement avec la surface pour différentes pluviométries

ORSTOM							
A	P10	Kr10	a10	S	Tb10	Q	
0.89	0.1	0.262	2.6	7150000	47880	9.1	

0.9	0.1	0.2547	2.6	5550000	44700	7.4
0.94	0.1	0.3058	2.6	2700000	36360	5.5
0.98	0.1	0.2828	2.6	1570000	31260	3.6
1	0.1	0.285	2.6	770000	25080	2.3
1	0.1	0.6758	2.6	570000	21120	4.7

- Le coefficient de ruissellement décennal K_{r10} est un paramètre qui dépend du type de relief, de la perméabilité et de la superficie du bassin versant. Dans le cadre de notre projet, nous avons une perméabilité P3, et des reliefs R3 et R5. La lecture sur la figure 18 se fera donc sur les courbes R3P3 et R5P3 donne le coefficient de ruissellement correspondant à chaque bassin versant

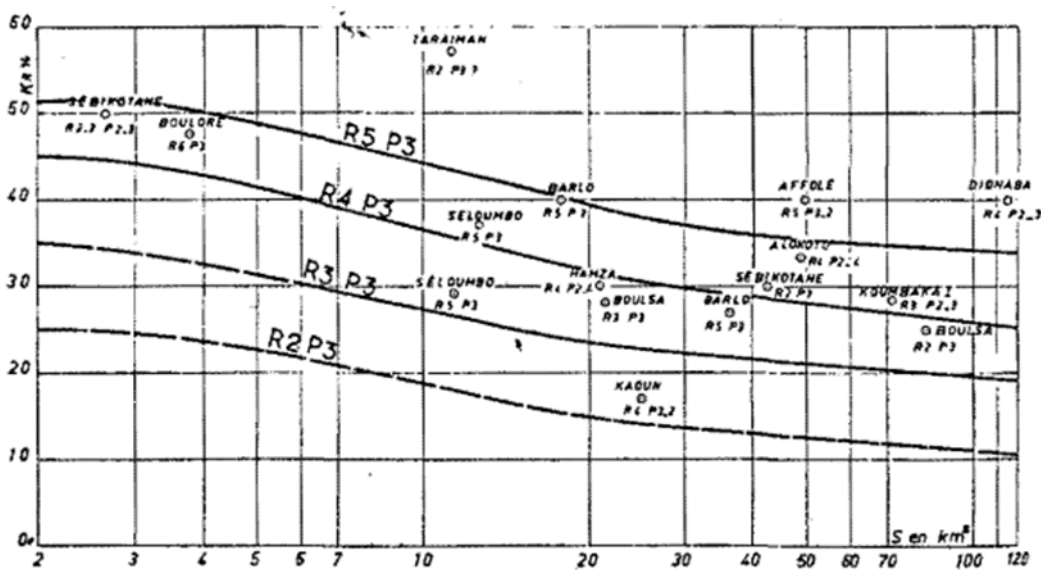


Figure 17: Coefficient de ruissellement

- Le temps de base décennal T_{b10} a été obtenu après lecture sur les courbes de la figure 19. Il est fonction de la superficie et du relief du bassin versant.

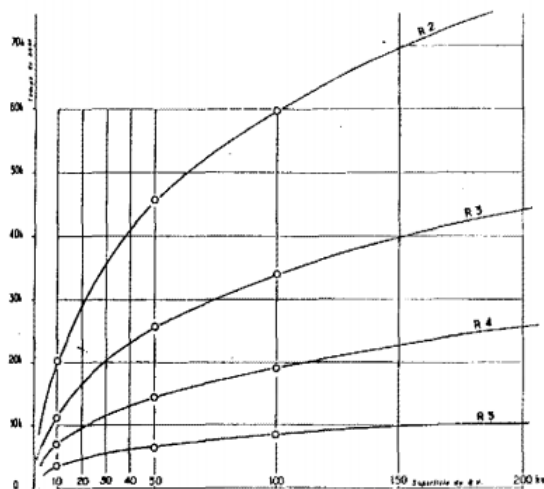


Figure 18: Temps de base en fonction de la superficie

Le tableau 43 qui suit montre les résultats obtenus pour chaque paramètre et les débits de projet obtenus

ORSTOM						
A	P_{10}	K_{r10}	a_{10}	S	T_{b10}	Q_{max10}
0,89	0,1	0,262	2,6	7150000	47880	9,1
0,9		0,2547		5550000	44700	7,4
0,94		0,3058		2700000	36360	5,5
0,98		0,2828		1570000	31260	3,6
1		0,285		770000	25080	2,3
1		0,6758		570000	21120	4,7

Tableau 43: Résultats méthode Orstom

b. Méthode CIEH

Le débit par la méthode CIEH est obtenu par la formule suivante :

$$Q_{10} = a \times S^s \times P_{an}^p \times I_g^i \times K_{r10}^k \times D_d^d$$

a, s, p, i, k, d sont des coefficients à déterminer

Q_{10} : débit de crue décennale (m^3/s)

S: superficie du bassin versant (km^2)

P_{an} : pluie annuelle moyenne (mm)

I_g : indice global de pente (m/km)

K_{r10} : coefficient de ruissellement décennal

D_d : densité de drainage (km^{-1})

La méthode CIEH propose par ailleurs d'autres formules plus adaptées pour l'Afrique de l'ouest et le Burkina. Ce sont ces formules qui seront retenues pour la détermination de débit décennal :

➤ Afrique de l'ouest :

- Formule 2 :

$$Q_{10} = 2,03 \times S^{0,590} \times I_g^{0,588}$$

- Formule 26 : Elle s'applique pour ($400 < P_{an} < 800$ mm)
-

$$Q_{10} = 146 \times S^{0,479} \times P_{m10}^{-0,969} \times K_r^{0,457}$$

➤ Burkina Faso :

- Formule 41 :

$$Q_{10} = 0,407 \times S^{0,532} \times K_r^{0,941}$$

- Formule 42 :

$$Q_{10} = 0,0912 \times S^{0,643} \times I_g^{0,399} \times K_r^{1,019}$$

- Formule 44 :

$$Q_{10} = 203 \times S^{0,459} \times P_{m10}^{-1,301} \times K_r^{0,814}$$

- Formule 45 :

$$Q_{10} = 22400 \times S^{0,363} \times P_{m10}^{-1,748} \times I_g^{0,059}$$

Les résultats du calcul et des paramètres sont dans le tableau qui suit :

S (km ²)	I _g	P _{m10}	K _{r10} %	Q ₂ (m ³ /s)	Q ₂₆ (m ³ /s)	Q ₄₁ (m ³ /s)	Q ₄₂ (m ³ /s)	Q ₄₄ (m ³ /s)	Q ₄₅ (m ³ /s)
7,15	6,4	89	26,2	19,30	21,52	25,04	18,09	20,80	19,97
5,55	5	90	25,47	14,38	18,61	21,31	13,54	17,83	17,61
2,7	8,4	94	30,58	12,75	13,74	17,25	12,58	14,05	12,95

c. Méthode rationnelle

Sa formule est la suivante :

$$Q = 0,278 CIA$$

C: coefficient de ruissellement

I: Intensité de l'averse decennale en mm/h

A: aire du bassin versant en km²

- Le coefficient de ruissellement pour le calcul est obtenu grâce au tableau 44

Nature de la couverture végétale	Valeur de C							
	Petits bassins de 0 à 10 ha présentant une pente de				Bassins moyens de 10 à 400 ha présentant une pente de			
	moins de 5 %	de 5 à 10 %	de 10 à 30 %	plus de 30 %	moins de 5 %	de 5 à 10 %	de 10 à 30 %	plus de 30 %
Plates-formes et chaussées de routes : cours.....	0,95	"	"	"	"	"	"	"
Terrains dénudés, ou à végétation non couvrante..... Terrains déjà attaqués par l'érosion..... Labours frais.....	0,80	0,85	0,90	0,95	0,70	0,75	0,80	0,85
Cultures couvrantes, céréales hautes..... Terrains de parcours, chuintent ras..... Petite brousse clairsemée.....	0,75	0,80	0,85	0,90	0,52	0,60	0,72	0,80
Prairies..... Brousse dense, Savane à sous-bois.....	0,70	0,75	0,80	0,85	0,30	0,36	0,42	0,50
Forêt ordinaire en futaie. Sous-bois touffus.....	0,30	0,50	0,60	0,70	0,13	0,20	0,25	0,30
Grande forêt primaire.....	0,20	0,25	0,30	0,40	0,15	0,18	0,22	0,25

Tableau 44: Coefficient de ruissellement pour la méthode rationnelle

- L'intensité de la pluie est obtenue par la formule suivante :

$$I = aT_c^b$$

Avec :

- a et b des coefficients de Montana. Pour la ville de Koupela et la période de retour de 10 ans, les valeurs retenues sont respectivement de 7,5 et 0,5. La figure 20 présente les coefficients pour chaque zone et période de retour

Période de retour	1 an	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans
Zone sahélo-soudanienne (b = 0,5)	5,4	6,0	6,9	7,5	8,2
Sénégal (b = 0,5)	6	6,75	7,6	8,5	9,1
Zone côtière : Axim-Abidjan (b = 0,4)	5,6	6,7	8,9	10	12,6
Zone côtière : Accra (b = 0,4)	4,6	5,3	6,8	8,5	9,2
Zone forestière : Kumasi (b = 0,5)	7	8,9	11	12,7	14,3

Figure 19: Coefficient de Montana

- T_c est le temps de concentration. Il s'obtient par la formule empirique de Kirpich qui est :

$$T_c = \frac{1}{52} \frac{L^{1,15}}{H^{0,38}} \rightarrow \begin{cases} L = \text{Distance en mètre entre l'exutoire et le point le plus éloigné} \\ H = \text{Dénivelée en mètre entre l'exutoire et le point le plus éloigné} \end{cases}$$

A	tc	I	C	Q
270	36,12	74,88	0,52	29,2
157	37	73,98	0,7	22,6
77	22,88	94,08	0,7	14,1
57	4,59	210,04	0,85	28,3

d. Méthode de Caquot

Pour cette méthode de calcul, nous avons retenus 3 formules de calcul dont 2 formules adaptées à la ville de Ouagadougou et une pour la zone sahélo soudanienne dans laquelle se trouve le Burkina Faso :

$$Q_5 = 2,03 C^{1,16} I^{0,23} A^{0,83}$$

$$Q_{10} = 2,38 C^{1,16} I^{0,23} A^{0,83}$$

$$Q = 0,85 C^{1,11} I^{0,2} A^{0,8}$$

Les paramètres de calcul sont identiques à ceux précédemment déterminés pour le calcul du débit par la méthode rationnelle à l'exception de I qui représente la pente. Pour la méthode de Caquot les débits sont dans le tableau qui suit :

C	A (ha)	I (m/m)	Q ₅ (m ³ /s)	Q ₁₀ (m ³ /s)	Q (m ³ /s)	Q _{projet} (m ³ /s)
0,85	2,85	0,0106	1,39	1,63	0,66	1,67
	1,71	0,0106	0,92	1,08	0,44	1,10
	3,6	0,0032	1,28	1,50	0,63	1,54
	11,86	0,0032	3,41	4,00	1,63	4,09
	2,85	0,0023	0,98	1,15	0,49	1,18
	8,33	0,0023	2,36	2,77	1,15	2,84

2. Etude hydraulique

❖ Dimensionnement hydraulique des caniveaux

Les dimensions des caniveaux sont obtenues en utilisant la formule de MANNING-STRICKLER qui est :

$$Q = K_s \cdot \sqrt{I} \frac{[y(b + my)]^{5/3}}{[b + 2y\sqrt{1 + m^2}]^{2/3}}$$

Dans cette formule, tous les paramètres sont connus à l'exception des dimensions y et b qui sont obtenues par itération sur Excel et les résultats sont dans le tableau suivant. La valeur du coefficient de rugosité K_s correspond à celui des structures en béton

Q (m ³ /s)	b(m)	y(m)	m	I (m/m)	K _s
2,33	0,6	0,6	1	0,011	67
2,33	0,6	0,6		0,011	
2,63	0,8	0,8		0,003	
14,04	1,5	1,5		0,003	
2,14	0,8	0,8		0,002	
3,89	1	1		0,002	

❖ Dimensionnement hydraulique des dalots

Le dimensionnement des dalots va consister à vérifier la capacité d'évacuation des débits de projet déterminés en utilisant les dimensions de dalots existants le long de la chaussée. Cependant les buses seront remplacées par des dalots et les deux dalots du Pk 0+0908 remplacés par un seul dalot à plusieurs cellules.

• Hypothèses et méthodes

- L'hypothèse de calcul fonctionnement retenue est celle de la sortie libre, cela signifie que le niveau de l'eau à l'exutoire immédiat de l'ouvrage est en dessous du bord supérieur de l'ouvrage. Ce qui correspond aux observations faites sur le terrain. Notre ouvrage fonctionne en sortie dénoyée ou libre.
- La méthode utilisée est celle des grandeurs réduites proposée par la BCEAOM (VAN TUU et al., 1981) par le calcul de variables adimensionnelles Q* et H*.

En premier lieu, on vérifie que la hauteur d'eau H₁ en amont de l'ouvrage est inférieure ou égale à 1,25 fois la hauteur intérieure D de l'ouvrage. Pour ce faire, on détermine la variable adimensionnelle :

$$Q^* = \frac{Q}{B \cdot D(2g \cdot D)^{1/2}}$$

Dans cette formule, Q représente le débit de crue et B la largeur intérieure de l'ouvrage. La courbe expérimentale H*1 = f(Q*) permet de déterminer la variable adimensionnelle H*1. On détermine ensuite H1 par la formule suivante :

$$H1^* = \frac{H1}{D}$$

On s'assure donc que la condition suivante est vérifiée : H1 ≤ 1.25 * D

En second lieu, on détermine la pente critique I_c de l'ouvrage. Cette pente intervient dans le calcul de la vitesse d'eau dans l'ouvrage. Pour ce faire, on détermine d'abord la variable adimensionnelle :

$$Q^* = \frac{Q}{(g \cdot B^5)^{1/2}}$$

La variable adimensionnelle I*c est ensuite déterminée à l'aide de la courbe expérimentale I*c = f(Q*). On calcul alors I_c par la formule suivante :

$$Ic^* = \frac{Ic}{g/(K^2 \cdot B^{1/3})}$$

Enfin, on détermine la vitesse V de l'eau dans l'ouvrage. Pour ce faire, on calcule la variable adimensionnelle :

$$Q^* = \frac{Q}{(K \cdot Ic^{1/2} \cdot B^{8/3})}$$

Ensuite, on détermine la variable adimensionnelle V* par la courbe expérimentale :

$$V^* = f(Q^*)$$

Enfin, la vitesse V de l'eau dans le dalot se calcule par la formule suivante :

$$V^* = \frac{V}{(K \cdot Ic^{1/2} \cdot B^{2/3})}$$

Dans cette formule K désigne le coefficient de rugosité. La vitesse V doit être inférieure ou égale à 3,5 m/s. Il faut noter que dans le cadre de cette approche, les dimensions D et B sont choisies au départ par le concepteur. Il suit la démarche que nous venons de décrire jusqu'au calcul de la vitesse V. Ensuite il s'assure que cette vitesse V est inférieure ou égale à 3,5 m/s. Si cette condition n'est pas vérifiée, il fixe judicieusement de nouvelles valeurs pour D et B et reprend la même démarche. Il procède ainsi par itération jusqu'à obtenir une vitesse finale inférieure ou égale à 3,5 m/s. En somme, les valeurs de D et B qui permettent d'obtenir une vitesse V inférieure ou égale à 3,5 m/s constituent la section d'ouverture recherchée.

Les différentes itérations sur Excel ont abouties à des sections de dalot qui sont consignées dans le tableau ainsi que les paramètres adimensionnelles.

Pk	Débit bassin versant	Dimensions hydrauliques du dalot	Débit évacué par le dalot	Conditions hydrauliques à surface libre				Evaluation de la pente critique				Evaluation de la vitesse réelle			
				Q*	H*	H	H<1.5D	Q*	Ic*	Ic	I	Q*	V*	V	V < Vmax
0+908	30.05	3*3*3	32	0.15	0.62	1.8 5	vérifié	0.04	2.7	0.29	0.3	0.02	0.2	3.1	vérifié
2+920	25.05	1*6.5*2.5	26	0.22	0.8	2		0.08	2.7 5	0.33	0.3 5	0.04	0.25	3.45	
3+032		2*2*2	17	0.34	1.1	2.2		0.17	2.8	0.39	0.4	0.1	0.33	3.47	
3+561	29.2	3*2*2	22	0.29	0.92	1.8 4		0.08	2.7 5	0.33	0.3 5	0.05	0.27	3.47	
4+314		1*1*1	1.75	0.39	1.24	1.2 4		0.55	3.6	0.8	0.8	0.29	0.43	2.58	
5+193		1*2*2	7.5	0.30	0.95	1.9		0.42	3.3 3	0.59	0.6	0.23	0.42	3.46	
5+750	22.6	1*6.5*3	26	0.17	0.66	1.9 8		0.08	2.7 5	0.33	0.3 5	0.04	0.25	3.45	
5+907		1*2*2	7.5	0.30	0.95	1.9		0.42	3.3 3	0.59	0.6	0.23	0.42	3.46	
7+400	14.1	2*2*2	17	0.34	1.1	2.2		0.17	2.8	0.39	0.4	0.1	0.33	3.47	

Etudes techniques d'avant-projet détaillé des travaux de réhabilitation et de renforcement de la route
Koupela-Frontière du Niger

8+706	28.3	3*2*2	22	0.29	0.92	1.8 4		0.08	2.7 5	0.33	0.3 5	0.05	0.27	3.47	
-------	------	-------	----	------	------	----------	--	------	----------	------	----------	------	------	------	--

Pk	Débit bassin versant	Dimensions hydrauliques du dalot	Débit évacué par le dalot	Conditions hydrauliques à surface libre				Evaluation de la pente critique				Evaluation de la vitesse réelle			
				Q*	H*	H	H<1.5 D	Q*	Ic*	Ic	I	Q*	V*	V	V < Vmax
0+908	30.05	3*3*3	32	0.15	0.62	1.85	vérifié	0.04	2.7	0.29	0.3	0.02	0.2	3.1	vérifié
2+920	25.05	1*6.5*2.5	26	0.22	0.8	2		0.08	2.75	0.33	0.35	0.04	0.25	3.45	
3+032		2*2*2	17	0.34	1.1	2.2		0.17	2.8	0.39	0.4	0.1	0.33	3.47	
3+561	29.2	3*2*2	22	0.29	0.92	1.84		0.08	2.75	0.33	0.35	0.05	0.27	3.47	
4+314		1*1*1	1.75	0.39	1.24	1.24		0.55	3.6	0.8	0.8	0.29	0.43	2.58	
5+193		1*2*2	7.5	0.30	0.95	1.9		0.42	3.3	0.59	0.6	0.23	0.42	3.46	
5+750	22.6	1*6.5*3	26	0.17	0.66	1.98		0.08	2.75	0.33	0.35	0.04	0.25	3.45	
5+907		1*2*2	7.5	0.30	0.95	1.9		0.42	3.3	0.59	0.6	0.23	0.42	3.46	
7+400	14.1	2*2*2	17	0.34	1.1	2.2		0.17	2.8	0.39	0.4	0.1	0.33	3.47	
8+706	28.3	3*2*2	22	0.29	0.92	1.84		0.08	2.75	0.33	0.35	0.05	0.27	3.47	

Annexe 6 : Note de calcul caniveau 150 × 150 cm²

1. Hypothèses et données de calcul

1.1. Normes de calcul

Les normes utilisées pour les calculs seront tirés du BAEL 91 révisé 99 pour le calcul béton armé du ferrailage de notre structure. Le BAEL étant un document adapté à nos conditions et le Fascicule 61 du CPC Conception, calcul et épreuves des ouvrages d'arts titre 2 pour la détermination des surcharges routières

1.2. Caractéristiques des matériaux

a) Béton

- Poids volumique : 25kN/m³
- Dosage : 350kg/m³ de CPA 45 ou de classe équivalente
- Résistance à la compression à 28 jours : $f_{c_{28}} = 25\text{Mpa}$
- Résistance à la traction à 28 jours : $f_{t_{28}} = 0,6 + 0,06f_{c_{28}} = 2,1\text{MPa}$
- Contrainte limite du béton comprimé à l'ELS : $\sigma_{bc} = 0,6f_{c_{28}} = 15\text{MPa}$
- Résistance de calcul du béton en compression à l'ELU : $f_{bu} = 0,85 \frac{f_{c_{28}}}{\gamma_b} = 14,16\text{MPa}$
- Coefficient de sécurité : $\gamma_b = 1,5$

b) Acier

- Acier à haute adhérence (HA) de nuance FeE400
- Limite d'élasticité $f_e = 400\text{Mpa}$
- Coefficient de sécurité $\gamma_s = 1,15$
- Coefficient d'adhérence : $\eta = 1,6$
- Contrainte limite des aciers à l'ELS, pour une fissuration préjudiciable : $\sigma_s = \min\left(\frac{2}{3}f_e; 110\sqrt{\eta \times f_{t_{28}}}\right) = 201,63\text{ MPa}$
- $\sigma_{st} = \frac{f_e}{\gamma_s} = 348\text{MPa}$

c) Remblai

- Coefficient de poussée $k_a = 0,33$

1.3. Caractérisation et description du dalot

Le caniveau à dimensionner se présente comme suit :

- Ouverture L : 1,5 m
- Hauteur libre H : 1,5 m
- Epaisseur radier et voiles: 0,15 m
- Epaisseur dalle : 0,2m
- Longueur de la dalle : 1,65m
- Largeur de la dalle : 0,5 m
- Redent de la feuillure : 0,075 m
- Hauteur feuillure : 0,2 m

2. Calcul des sollicitations

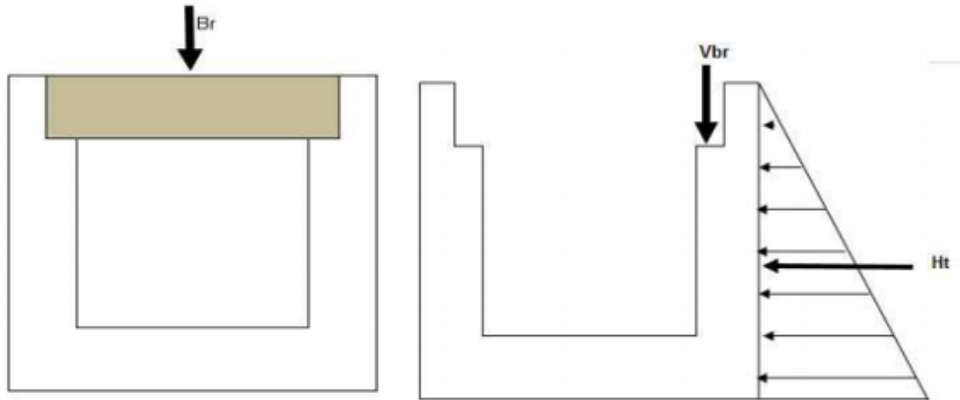
2.1. Schéma

2.2. Sollicitations

a) Evaluation des charges :

❖ Charges permanentes :

Au niveau de la dalle :



P_{pd} = poids propre de la dalle

$$P_{pd} = (\text{épaisseur du tablier} \times \gamma_{\text{béton}} \times L)$$

$$P_{pd} = (0,2 \times 25 \times 1)$$

$$P_{pd} = 5 \text{ kN/ml}$$

Au niveau du piedroit :

- Poids propre piedroit

P_{ppd} = poids propre du pied droit

$$P_{ppd} = \text{épaisseur du pied droit} \times \gamma_{\text{béton}} \times H$$

$$P_{ppd} = 0,2 \times 25 \times 1,8$$

$$P_{ppd} = 9 \text{ kN}$$

- Poids propre feuillure

P_{pf} = poids propre feuillure

$$P_{pf} = \text{épaisseur feuillure} \times \gamma_{\text{béton}} \times H_f$$

$$P_{pp} = 0,075 \times 25 \times 0,2$$

$$P_{pp} = 0,375 \text{ kN}$$

- Poids propre de la dalle

P_{pd} = poids propre de la dalle

$$P_{pd} = 5 \times 0,5$$

$$P_{pd} = 2,5 \text{ kN}$$

- Poussée des terres

$$H_t = \gamma \times K_a \times \frac{(d + e)^2}{2} \times 1 \text{ m}$$

$$H_t = 20 \times 0,33 \times \frac{(1,5 + 0,2)^2}{2} \times 1 \text{ m}$$

$$H_t = 9,54 \text{ kN/ml}$$

$$P_{pd} = P_{ppd} + P_{pf} + P_{pd} + H_t$$

$$P_{pd} = 7,5 + 0,375 + 2,5 + 9,54$$

$$P_{pd} = 21,415 \text{ kN}$$

Au niveau du radier:

$$P_r = P_{pr} + P_d + P_{pd}$$

$$P_r = 25 \times 0,2 \times 1,8 + 5 + 21,415$$

$$P_r = 35,415 \text{ kN}$$

❖ Evaluation des charges d'exploitation

Au niveau de la dalle :

La charge concentrée d'une roue isolée de 10T Br (**voir Titre II de Fascicule 61**)

$$Br = 100 \times 1$$

$$Br = 100 \text{ kN/ml}$$

Au niveau du piédroit:

Le piédroit reprend une charge V_{br} qui est une réaction à la roue isolée Br :

$$V_{br} = 100 \times 0,5 \times 1$$

$$V_{br} = 50 \text{ kN/ml}$$

b) Détermination des efforts et sollicitations

❖ **Au niveau de la dalle**

- Charges appliquées à la dalle : $\left\{ \begin{array}{l} \text{Permanentes: } P_d = 5 \text{ kN/ml} \\ \text{Exploitations: } B_r = 100 \text{ kN/ml} \end{array} \right.$

- Détermination des moments sollicitant la dalle :

➤ Due aux charges permanentes :

$$M_g = \frac{P_d l^2}{8}$$

$$M_g = \frac{5 \times 1,65^2}{8}$$

$$M_g = 1,7 \text{ kN.m}$$

➤ Due aux charges d'exploitation :

$$M_q = \frac{B_r l}{4}$$

$$M_q = \frac{100 \times 1,65}{4}$$

$$M_q = 41,25 \text{ kN.m}$$

❖ Au niveau des piédroits

Le piédroit est soumis à l'effort transmis par la dalle chargée et à la poussée des terres. Les piédroits sont alors calculés en flexion composée

- Charges appliquées aux piédroits : $\left\{ \begin{array}{l} \text{Poids propre piédroits} = 9 \text{ kN/ml} \\ \text{Poussée des terres} = 9,54 \text{ kN/ml} \\ \text{Charges transmises par la dalle } V_{br} = 50 \text{ kN/ml} \end{array} \right.$

- Détermination des moments sollicitant les piédroits:

➤ Effort normal:

$$N_g = P_{pp} + P_{pf}$$

$$N_g = 9 + 0,375$$

$$N_g = 9,375 \text{ kN.m}$$

$$N_q = V_{br}$$

$$N_q = 50 \text{ kN/ml}$$

➤ Moment fléchissant:

$$M = \frac{H_t l^2}{3}$$

$$M = \frac{9,54 \times 1,7^2}{3}$$

$$M = 9,2 \text{ kN.m}$$

3. Calcul des sections d'armatures

3.1. Sollicitations de dimensionnement

Le calcul des aciers se fera à l'état limite Ultime(ELU) et vérifié à l'ELS. Cependant pour la dalle le calcul se fera à l'ELS car il est plus contraignant. Les sollicitations retenues pour le dimensionnement des ferrillages

résultent des combinaisons : $\left\{ \begin{array}{l} \text{ELU: } 1,35G + 1,5Q \\ \text{ELS: } G + Q \end{array} \right.$

G: charges permanentes

Q: charges routières (système B_r)

Sollicitations	Dalette		Piédroit		Radier	
	ELU	ELS	ELU	ELS	ELU	ELS
Moment (kN.m)	61,875	42,95	12,42	9,2		
Effort Normal (kN/ml)	-	-	87,66	59,375	-	-
Effort tranchant (kN/ml)			-	-		

3.2. Armatures des différentes sections

3.2.1. Armatures dans la dalle

sollicitations de calcul = M_{ser} = 42,95 kN.m

- Paramètres de déformation

$$\sigma_{st} \begin{cases} \varphi \text{ pour fissuration préjudiciable} \\ 0,8\varphi \text{ pour fissuration très préjudiciable} \end{cases}$$

$\sigma_{st} = \varphi$ car on est en fissuration préjudiciable

$$\text{On a : } \varphi = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{2}{3} f_e = 266,67 \\ \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5 f_e = 200 \\ 110 \sqrt{\eta \times f_{tj}} = 201,63 \end{array} \right. \end{array} \right. \rightarrow \varphi = 201,63 \text{ MPa}$$

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

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63}$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = 0,53$$

- Fibre neutre :

$$y_{ser} = \bar{\alpha}_{ser} \times d$$

Avec d = 0.9h ; h étant l'épaisseur de l'élément

$$y_{ser} = 0,53 \times 0,9 \times 0,2$$

$$y_{ser} = 0,0954$$

$$z_{ser} = d - \frac{y_{ser}}{3}$$

$$z_{ser} = 0,18 - \frac{0,0954}{3}$$
$$z_{ser} = 0,148$$

- Moment fléchissant :

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b_o \times y_{ser} \times \overline{\sigma}_{bc} \times Z_{ser}$$
$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times 1,65 \times 0,0954 \times 15 \times 0,148$$
$$M_{serb} = 174,72 \text{ kN.m}$$

On a :

$$M_{ser} < M_{serb} \rightarrow \text{Pas d'acier comprimé}$$

- Détermination des aciers

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{z \times \sigma_{st}}$$
$$A_{st} = \frac{42,95 \cdot 10^{-3}}{0,148 \times 201,63}$$
$$A_{st} = 14,4 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité (CNF)

$$A_{stmin} = 0,23 \times b_o \times d \times \frac{f_{tj}}{f_e}$$
$$A_{stmin} = 0,23 \times 1,65 \times 0,18 \times \frac{2,1}{400}$$

$$A_{stmin} = 4,34 \text{ cm}^2$$

On a : $A_{stmin} < A_{st} \rightarrow$ CNF vérifié

La dalle a une largeur de 0,5m. Le calcul ayant été effectué sur un mètre linéaire la section à retenir sera :

$$A_{st} = \frac{14,4}{2}$$
$$A_{st} = 7,2 \text{ cm}^2$$

- Choix des armatures : 7HA12 \rightarrow 7,92 cm² avec espacement de 5 cm

3.2.2. Armatures des piédroits

Les armatures des pieds droits seront calculées à l'ELU et vérifiées à l'ELS

❖ Calcul à l'ELU

$$\text{Sollicitations de calcul: } \begin{cases} M_u = 12,42 \text{ kN.m} \\ N_u = 87,66 \text{ kN} \end{cases}$$

- Calcul des excentricités

$$e_a = \max \left\{ \begin{array}{l} 2 \text{ cm} \\ \frac{h}{250} = \frac{170}{250} \end{array} \right.$$

$$e_a = \max \left\{ \begin{array}{l} 2 \text{ cm} \\ 0,68 \text{ cm} \end{array} \right. \rightarrow e_a = 2 \text{ cm}$$

$$e_1 = \frac{M_u}{N_u} + e_a$$

$$e_1 = \frac{12,42}{87,66} + 0,02$$

$$e_1 = 14,17 \text{ cm}$$

Sollicitations corrigés pour le flambement

- Elancement géométrique :

$$l_f = 0,5l_0$$

$$l_f = 0,5 \times 1,7$$

$$l_f = 0,85 \text{ m}$$

Pièce chargée de façon excentrée

$$\frac{l_f}{h} < \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} 15 \\ 20 \times \frac{e_1}{h} = 20 \times \frac{0,142}{0,15} \end{array} \right.$$

$$\frac{l_f}{h} < \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} 15 \\ 11,3 \end{array} \right. \rightarrow \frac{1}{0,2} < 15$$

Excentricité 2nd ordre :

$$a = 10 \left(1 - \frac{M_u}{1,5 \times M_{ser}} \right)$$

$$a = 10 \left(1 - \frac{12,42}{1,5 \times 9,2} \right)$$

$$a = 0,9$$

$$e_2 = \frac{3 \times l_f^2}{10^4 \times h} (2 + a \times \varphi)$$

$$e_2 = \frac{3 \times 0,85^2}{10^4 \times 0,15} (2 + 0,9 \times 2)$$

$$e_2 = 0,55 \text{ cm}$$

- Sollicitations corrigées pour le calcul en flexion composée :

$$M = N_u \times e_o$$

On a :

$$e_o = e_1 + e_2$$

$$e_o = 0,142 + 0,0055$$

$$e_o = 0,15 \text{ m}$$

$$\rightarrow M_{uA} = 87,66 \times 0,15$$

$$M_{uA} = 13,15 \text{ kN.m}$$

- Moment réduit de référence à l'ELU

$$\mu_{BC} = 0,8 \times \frac{h}{d} \times \left(1 - 0,4 \frac{h}{d}\right)$$

$$\mu_{BC} = 0,8 \times \frac{0,15}{0,135} \times \left(1 - 0,4 \frac{0,15}{0,135}\right)$$

$$\mu_{BC} = 0,494$$

- Moment réduit agissant :

$$\mu_{uA} = \frac{M_{uA}}{b_o \times d^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_{uA} = \frac{13,15 \cdot 10^{-3}}{2 \times 0,135^2 \times 14,17}$$

$$\mu_{uA} = 0,025$$

- Comparaison entre μ_{uA} et μ_{bc}

$$\mu_{uA} < \mu_{bc} \rightarrow \text{Section partiellement comprimée}$$

❖ Calcul à l'ELS

$$\text{Sollicitations de calcul: } \begin{cases} M_{ser} = 9,2 \text{ kN.m} \\ N_{ser} = 59,375 \text{ kN} \end{cases}$$

- Calcul de sollicitations ramenées au centre de gravité

$$M_{serA} = e_A \times N_{ser}$$

Détermination de e_A :

$$e_A = e_{0ser} + \left(d - \frac{h}{2}\right); \text{ avec } e_{0ser} = \frac{M_{ser}}{N_{ser}}$$

$$e_A = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} + \left(d - \frac{h}{2}\right)$$

$$e_A = \frac{9,2}{59,375} + \left(0,135 - \frac{0,15}{2}\right)$$

$$e_A = 0,21$$

- Calcul du moment réduit

$$\gamma_M = \frac{M_u}{M_{ser}}$$

$$\gamma_M = \frac{12,42}{9,2}$$

$$\gamma_M = 1,35$$

$$10^4 \mu_{tu} = 3440 \times \theta \times \gamma_M + 49 \times \frac{f_{c28}}{\theta} - 3100$$

$$10^4 \mu_{tu} = 3440 \times 1 \times 1,35 + 49 \times \frac{25}{1} - 3100$$

$$10^4 \mu_{tu} = 2734,6$$

$$\mu_{tu} = 0,277$$

- Comparaison entre μ_{tu} et μ_{uA}

$\mu_{uA} < \mu_{tu} \rightarrow$ Pas besoin d'aciers comprimés

La Comparaison entre μ_{uA} et μ_{bc} avait montré une section partiellement comprimé. Cependant Comparaison entre μ_{tu} et μ_{uA} nous permet de conclure que la section partiellement comprimée ne nécessite pas la présence d'armatures afin de reprendre ses sollicitations

- Détermination du paramètre de déformation

$$\alpha_{uA} = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_{uA}})$$

$$\alpha_{uA} = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,025})$$

$$\alpha_{uA} = 0,032$$

- Bras de levier

$$z_{uA} = d(1 - 0,4\alpha_{uA})$$

$$z_{uA} = 0,135 \times (1 - 0,4 \times 0,032)$$

$$z_{uA} = 0,133$$

$$A = \frac{M_{uA}}{Z_{uA} \times \sigma_s}$$

$$A = \frac{13,15}{0,133 \times 347,83}$$

$$A = 2,84 \text{ cm}^2$$

- Section d'acier théorique

$$A_u = A - \frac{N_u}{\sigma_s}$$

$$A_u = 0,284 - \frac{87,66}{347,83}$$

$$A_u = 0,032$$

- Condition de non fragilité(CNF) :

$$A_{\min} = 0,23 \times b_o \times d \times \frac{f_{tj}}{f_e}$$
$$A_{\min} = 0,23 \times 1,7 \times 0,135 \times \frac{2,1}{400}$$

$$A_{\min} = 2,77 \text{ cm}^2$$

On a : $A_u < A_{\min}$ → CNF non vérifié → Nous considérerons une section d'acier théorique = A_{\min}

Choix de l'acier = 6HA8 → $3,02 \text{ cm}^2$ Avec un espacement de 15cm

Annexe 7 : Note de calcul de dalot 200× 200 cm²

1. Hypothèses et données de calcul

1.1. Normes de calcul

Les normes utilisées pour les calculs seront tirés du BAEL 91 révisé 99 pour le calcul béton armé du ferrailage de notre structure. Le BAEL étant un document adapté à nos conditions et le Fascicule 61 du CPC, Conception, calcul et épreuves des ouvrages d'arts titre 2 pour la détermination des surcharges routières

1.2. Caractéristiques des matériaux

d) Béton

- Poids volumique : 25kN/m³
- Dosage : 350kg/m³ de CPA 45 ou de classe équivalente
- Résistance à la compression à 28 jours : $f_{c_{28}} = 25\text{Mpa}$
- Résistance à la traction à 28 jours : $f_{t_{28}} = 0,6 + 0,06f_{c_{28}} = 2,1\text{MPa}$
- Contrainte limite du béton comprimé à l'ELS : $\sigma_{bc} = 0,6f_{c_{28}} = 15\text{MPa}$
- Résistance de calcul du béton en compression à l'ELU : $f_{bu} = 0,85 \frac{f_{c_{28}}}{\gamma_b} = 14,16\text{MPa}$
- Coefficient de sécurité : $\gamma_b = 1,5$

e) Acier

- Acier à haute adhérence (HA) de nuance FeE400
- Limite d'élasticité $f_e = 400\text{Mpa}$
- Coefficient de sécurité $\gamma_s = 1,15$
- Coefficient d'adhérence : $\eta = 1,6$
- Contrainte limite des aciers à l'ELS, pour une fissuration préjudiciable : $\sigma_s = \min\left(\frac{2}{3}f_e; 110\sqrt{\eta \times f_{t_{28}}}\right) = 201,63\text{ MPa}$
- $\sigma_{st} = \frac{f_e}{\gamma_s} = 348\text{MPa}$

f) Remblai

- Remblai d'accès en graveleux latéritique : 20 kN/m²
- Remblai sur le dalot en grave bitume de 8 cm: 20 kN/m²
- Coefficient de poussée $k_a = 0,33$
- Surcharge due au remblai = 10 KN/m²

1.3. Caractérisation et description du dalot

Le dalot à dimensionner se présente comme suit :

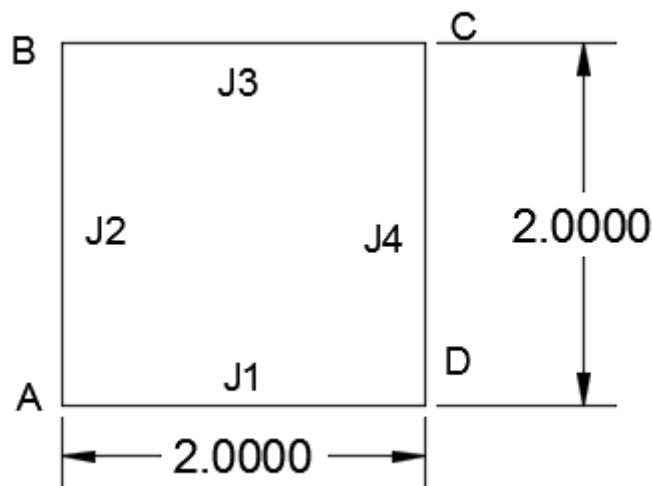
- Largeur L : 2m
- Hauteur H : 2m
- Longueur entre guide roues : 10 m
- Epaisseur du dalot obtenu par la formule suivante :

$$e = \frac{1}{32} + 0,125 = 0,1875\text{m} . \text{ Nous retiendrons } e = 0,2\text{m}$$

- Classe du pont : Première classe ($L_r \geq 7\text{m}$)
- Nombres de voies : $n = \text{Ent}\left(\frac{L_c}{3}\right) = 2\text{ voies}$

2. Calcul des sollicitations

2.1. Schéma



2.2. Méthode de calcul

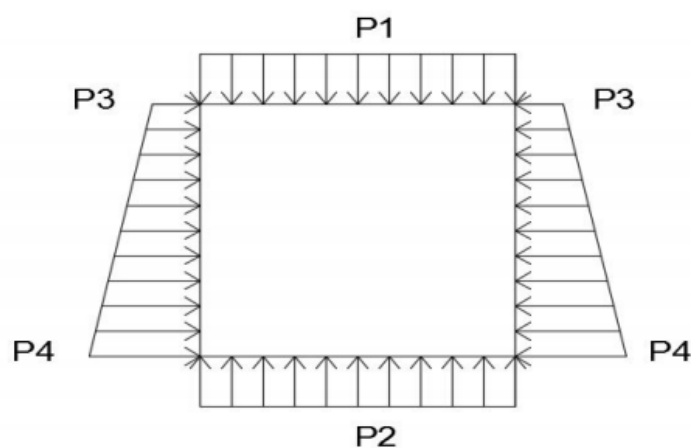
De manière générale, on mènera le calcul par bande 1,00 mètre linéaire de largeur de dalot. Notre ouvrage est un dalot à une ouverture. Les valeurs des efforts et sollicitations M et N (moments et efforts normaux) seront déterminés sur la base de calcul en cadre simple à partir des formules provenant de l'ouvrage «Formulaires des cadres simple» de KLEINLOGEL

2.3. Sollicitations

c) Evaluation des charges :

❖ Charges permanentes :

Au niveau du tablier (sur une bande de 1mètre linéaire) :



$P_1 = \text{poids propre du tablier} + \text{poids propre du remblais} + \text{poids propre du guide roue}$

$$P_1 = (\text{épaisseur du tablier} \times \gamma_{\text{béton}} \times 1\text{ml}) + (\text{épaisseur du BB} \times \gamma_{\text{BB}} \times 1\text{ml}) + (\text{épaisseur du remblai} \times \gamma_{\text{remblai}} \times 1\text{ml}) + (\text{épaisseur du guide roue} \times \gamma_{\text{béton}} \times \text{hauteur} \times 2/7)$$

$$P_1 = (0,2 \times 25 \times 1) + (0,05 \times 20 \times 1) + (0,3 \times 20 \times 1) + (0,2 \times 25 \times 0,5 \times 2/3)$$

$$P_1 = 13,87 \text{ kN}$$

Au niveau du piédroit (sur une bande de 1 mètre linéaire) :

$$P_{3-4} = \frac{2 \times \text{épaisseur du piédroit} \times \gamma_{\text{béton}} \times \text{hauteur}}{\text{largeur hydraulique}}$$

$$P_{3-4} = \frac{2 \times 0,2 \times 25 \times 2,2}{2}$$

$$P_{3-4} = 11 \text{ kN}$$

Au niveau du radier (sur une bande de 1 mètre linéaire) :

$$P_2 = P_1 + P_{3-4} + \text{épaisseur du tablier} \times \gamma_{\text{béton}} \times 1\text{ml}$$

$$P_2 = 13,87 + 11 + 0,2 \times 25 \times 1$$

$$P_2 = 29,87 \text{ kN}$$

❖ Définition et détermination des constantes

Les constantes seront déterminées par les formules suivantes :

$$j_i = \frac{b_i \times e_i^3}{12}$$

j_i : Moment d'inertie des éléments du dalot

e_i : Epaisseur des éléments du dalot

b_i : Largeur entre fibre moyenne des éléments

$$j_1 = j_2 = j_3 = j_4 = \frac{b \times e^3}{12} = \frac{2,2 \times 0,2^3}{12}$$

$$j_1 = j_2 = j_3 = j_4 = 0,00147 \text{ m}^4$$

$$k_1 = \frac{j_3}{j_1} \quad \text{et} \quad k_2 = \frac{j_3}{j_2} ; \text{ Ce qui nous donne :}$$

$$k_1 = \frac{0,00147}{0,00147} = 1 \quad \text{et} \quad k_2 = \frac{0,00147}{0,00147} = 1 \rightarrow k_1 = k_2 = 1$$

$$\checkmark K_1 = 2 k_1 + 3$$

$$K_1 = 2 \times 1 + 3$$

$$K_1 = 5$$

$$\checkmark K_2 = 3 k_1 + 2k_2$$

$$K_2 = 3 \times 1 + 2 \times 1$$

$$K_2 = 5$$

$$\checkmark K_3 = 3 k_2 + 1 - \frac{k_1}{5}$$

$$K_3 = 3 \times 1 + 1 - \frac{1}{5}$$

$$K_3 = 3,8$$

$$\checkmark K_4 = 3 k_2 + 6 \times \frac{k_1}{5}$$

$$K_4 = 3 \times 1 + 6 \times \frac{1}{5}$$

$$K_4 = 4,2$$

$$\checkmark F_1 = K_1 \times K_2 - k_2$$

$$F_1 = 5 \times 5 - 1$$

$$F_1 = 24$$

$$\checkmark F_2 = 1 + k_1 + 6 \times k_2$$

$$F_2 = 1 + 1 + 6 \times 1$$

$$F_2 = 8$$

d) Détermination des efforts et sollicitations

❖ Sous action permanente au niveau du tablier

- Charge permanente dues au tablier

$$P_1 = 13,87 \text{ kN}$$

- Détermination des inconnues hyperstatiques

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

$$M_A = \frac{13,87 \times 2,2^2 \times (1 \times 5 - 1)}{4 \times 24}$$

$$M_A = -2,8 \text{ kN.m}$$

$$M_A = M_D$$

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

$$M_B = - \frac{13,87 \times 2,2^2 \times (5 - 1 \times 1)}{4 \times 24}$$

$$M_B = -2,8 \text{ kN.m}$$

$$M_B = M_C$$

- Détermination des efforts normaux

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

$$N_1 = \frac{(-2,8) - (-2,8)}{2,2} + \frac{(-2,8) - (-2,8)}{2,2}$$

$$N_1 = 0 \text{ kN}$$

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

$$N_2 = \frac{13,87 \times 2,2}{2} + \frac{(-2,8) - (-2,8)}{2,2} + \frac{(-2,8) - (-2,8)}{2,2}$$

$$N_2 = 15,26 \text{ kN}$$

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

$$N_3 = \frac{(-2,8) - (-2,8)}{2,2} + \frac{(-2,8) - (-2,8)}{2,2}$$

$$N_3 = 0 \text{ kN}$$

$$N_4 = \frac{pl}{2} + \frac{M_B - M_C}{l} + \frac{M_D - M_C}{h}$$

$$N_4 = \frac{13,87 \times 2,2}{2} + \frac{(-2,8) - (-2,8)}{2,2} + \frac{(-2,8) - (-2,8)}{2,2}$$

$$N_4 = 15,26 \text{ kN}$$

- Détermination des moments à mi- portée

$$M(B - C)(\text{tablier}) = \frac{pl^2}{8} + \frac{M_C + M_B}{2}$$

$$M(B - C)(\text{tablier}) = \frac{13,87 \times 2,2^2}{8} + \frac{-2,8 - 2,8}{2}$$

$$M(B - C)(\text{tablier}) = 5,6 \text{ kN}$$

$$M(A - D)(\text{radier}) = \frac{pl^2}{8} + \frac{M_A + M_D}{2}$$

$$M(A - D)(\text{radier}) = \frac{13,87 \times 2,2^2}{8} + \frac{-2,8 - 2,8}{2}$$

$$M(A - D)(\text{radier}) = 5,6 \text{ kN}$$

$$M(A - B)(\text{piédroit gauche}) = \frac{M_A + M_B}{2}$$

$$M(A - B)(\text{piédroit gauche}) = \frac{-2,8 - 2,8}{2}$$

$$M(A - B)(\text{piédroit gauche}) = -2,8 \text{ kN}$$

$$M(C - D)(\text{piédroit droit}) = \frac{M_C + M_D}{2}$$

$$M(C - D)(\text{piédroit droit}) = \frac{-2,8 - 2,8}{2}$$

$$M(C - D)(\text{piédroit droit}) = -2,8 \text{ kN}$$

❖ Sous poids mort des piédroits

a. Charges permanentes dues aux pieds droits :

$$R_s = \frac{2 \times P_2}{1}$$

$$R_s = \frac{2 \times 11}{2,2}$$

$$R_s = 10 \text{ kN}$$

b. Détermination des inconnues hyperstatique :

$$M_A = - \frac{P_{3-4} \times l \times k_1 \times K_1}{2 \times F_1}$$

$$M_A = - \frac{11 \times 2,2 \times 1 \times 5}{2 \times 24}$$

$$M_A = -2,52 \text{ kN.m}$$

$$M_A = M_D$$
$$M_B = -\frac{P_{3-4} \times l \times k_1 \times k_2}{2 \times F_2}$$
$$M_B = -\frac{11 \times 2,2 \times 1 \times 1}{2 \times 8}$$
$$M_B = -1,51 \text{ kN.m}$$
$$M_B = M_C$$

c. Détermination des efforts normaux :

$$N_1 = \frac{3P_{3-4}lk_1(1+k_2)}{2hF_1}$$
$$N_1 = \frac{3 \times 11 \times 2,2 \times 1(1+1)}{2 \times 2,2 \times 24}$$
$$N_1 = 1,375 \text{ kN}$$
$$N_2 = -N_1$$
$$N_2 = -1,375 \text{ kN}$$

$$N_3 = P_{3-4}$$
$$N_4 = P_{3-4}$$
$$N_3 = N_4 = P_{3-4} = 11 \text{ kN}$$

d. Détermination des moments à mi- portée

$$M(B - C)(\text{tablier}) = \frac{M_C + M_B}{2}$$
$$M(B - C)(\text{tablier}) = \frac{-1,51 - 1,51}{2}$$
$$M(B - C)(\text{tablier}) = -1,51 \text{ kN.m}$$

$$M(A - D)(\text{radier}) = \frac{M_A + M_D}{2} + \frac{R_s l^2}{8}$$
$$M(A - D)(\text{radier}) = \frac{-2,52 - 2,52}{2} + \frac{10 \times 2,2^2}{8}$$
$$M(A - D)(\text{radier}) = 3,53 \text{ kN.m}$$

$$M(A - B)(\text{piédroit gauche}) = \frac{M_A + M_B}{2}$$
$$M(A - B)(\text{piédroit gauche}) = \frac{-1,51 - 2,52}{2}$$
$$M(A - B)(\text{piédroit gauche}) = -2,015 \text{ kN.m}$$

$$M(C - D)(\text{piédroit droit}) = \frac{M_C + M_D}{2}$$

$$M(C - D)(\text{piédroit droit}) = \frac{-1,51 - 2,52}{2}$$

$$M(C - D)(\text{piédroit droit}) = -2,015 \text{ kN.m}$$

❖ Sous l'action de poussée des terres

- Contraintes liées à la poussée des terres

$$\sigma_1 = k \times \gamma_d \times \left(e_r + \frac{e}{2} \right)$$

$$\sigma_1 = 0,33 \times 20 \times \left(0,3 + \frac{0,2}{2} \right)$$

$$\sigma_1 = 2,64 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_2 = k \times \gamma_d \times \left(h + e_r + \frac{e}{2} \right)$$

$$\sigma_2 = 0,33 \times 20 \times \left(2,2 + 0,3 + \frac{0,2}{2} \right)$$

$$\sigma_2 = 17,16 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1$$

$$\Delta\sigma = 17,16 - 2,64$$

$$\Delta\sigma = 14,52 \text{ kN/m}^2$$

a. Détermination des moments hyperstatiques

$$M_A = - \frac{k_2 \times (K_2 - 3) \times \sigma_1 \times h^2}{4 \times F_1} - \frac{k_2 \times (3K_2 + 8) \times \Delta\sigma \times h^2}{20 \times F_1}$$

$$M_A = - \frac{1 \times (5 - 3) \times 2,64 \times 2,2^2}{4 \times 24} - \frac{1 \times (3 \times 5 + 8) \times 14,52 \times 2,2^2}{20 \times 24}$$

$$M_A = -3,63 \text{ kN.m}$$

$$M_A = M_D$$

$$M_B = - \frac{k_2 \times (3k_1 + k_2) \times \sigma_1 \times h^2}{4 \times F_1} - \frac{1 \times (7k_1 + 2k_2) \times \Delta\sigma \times h^2}{20 \times F_1}$$

$$M_B = - \frac{1 \times (3 \times 1 + 1) \times 2,64 \times 2,2^2}{4 \times 24} - \frac{1 \times (7 \times 1 + 2 \times 1) \times 14,52 \times 2,2^2}{20 \times 24}$$

$$M_B = -1,85 \text{ kN.m}$$

$$M_B = M_C$$

b. Détermination des moments à mi-portée

$$M(A - B)(\text{piédroit gauche}) = \frac{\sigma_1 \times h^2}{8} + \frac{\Delta\sigma_1 \times h^2}{12} + \frac{M_A + M_B}{2}$$

$$M(A - B)(\text{piédroit gauche}) = \frac{2,64 \times 2,2^2}{8} + \frac{14,52 \times 2,2^2}{12} + \frac{-3,63 - 1,85}{2}$$

$$M(A - B)(\text{piédroit gauche}) = 4,71 \text{ kN.m}$$

$$M(C - D)(\text{piédroit droit}) = M(A - B)(\text{piédroit gauche})$$

$$M(A - D)(\text{radier}) = \frac{M_A + M_D}{2}$$

$$M(A - D)(\text{radier}) = \frac{-3,63 - 1,85}{2}$$

$$M(A - D)(\text{radier}) = -2,74 \text{ kN.m}$$

$$M(B - C)(\text{tablier}) = \frac{M_C + M_B}{2}$$

$$M(B - C)(\text{tablier}) = \frac{-1,8 - 1,85}{2}$$

$$M(B - C)(\text{tablier}) = -1,85 \text{ kN.m}$$

c. Détermination des efforts normaux

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

$$N_1 = \frac{(2,64 + 2 \times 17,16) \times 2,2}{6} + \frac{-3,63 - (-1,85)}{2,2} + \frac{-0,5324 - (-0,5324)}{2,2}$$

$$N_1 = 12,74 \text{ kN}$$

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

$$N_3 = \frac{(2 \times 2,64 + 17,16) \times 2,2}{6} + \frac{-0,5324 - (-1,85)}{2,2} + \frac{-3,63 - (-3,6)}{2,2}$$

$$N_3 = 8,71 \text{ kN}$$

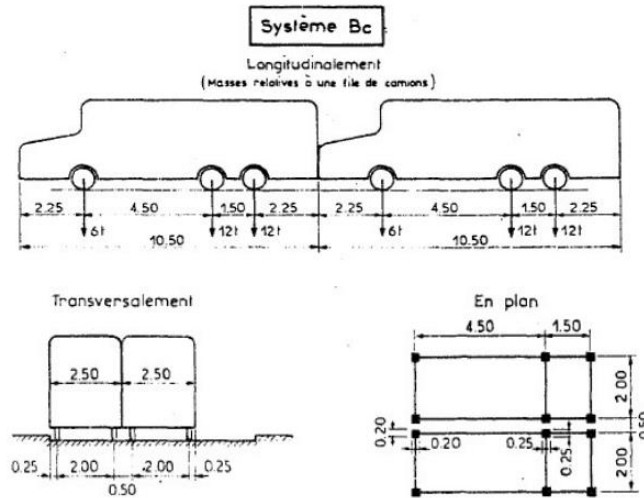
$$N_2 = N_4 = 0$$

❖ Sous l'action du convoi de camion de type BC

a. Valeur de la surcharge :

On peut disposer sur le tablier deux (2) essieux de 12 tonnes cote à cote.

On prend $b_c = 1,1$



$$\text{charge répartie } q_1 = \frac{480 \times 1,1}{5 \times 2,2} = 48 \text{ kN/m}^2 = B$$

✓ Coefficient de majoration dynamique :

$$\delta = 1 + \frac{0,04}{1 + 0,2 L} + \frac{0,6}{1 + 4 \times \frac{G}{S}}$$

$$L = \max(L_r ; l) = 7.0 \text{ m}$$

$$G = (10 \times 0,4 \times 25 + 11) \times 1 = 111 \text{ kN}$$

$$S = B \times l = 48 \times 1 = 480 \text{ kN}$$

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 7} + \frac{0,6}{1 + 4 \times \frac{111}{480}} = 1,48$$

D'où la charge le charge uniformément répartie sous le passage du convoi **Bc** :

$$q = \delta \times q_1 = 1,48 \times 48 = 71,04 \text{ kN}$$

b. Détermination des charges hyperstatiques

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

$$M_A = - \frac{63,36 \times 2,2^2 (1 \times 5 - 1)}{4 \times 24}$$

$$M_A = -14,31 \text{ kN.m}$$

$$M_A = M_D$$

$$M_B = -\frac{q \times h^2(K_1 - k_1 k_2)}{4 \times F_1}$$

$$M_B = -\frac{70,96 \times 2,2^2(5 - 1 \times 1)}{4 \times 24}$$

$$M_B = -14,31 \text{ kN.m}$$

$$M_B = M_C$$

c. Détermination des moments à mi- portée

$$M(B - C)(\text{tablier}) = \frac{ql^2}{8} + \frac{M_C + M_B}{2}$$

$$M(B - C)(\text{tablier}) = \frac{70,96 \times 2,2^2}{8} + \frac{-14,31 - 14,31}{2}$$

$$M(B - C)(\text{tablier}) = 32,61 \text{ kN.m}$$

$$M(A - D)(\text{radier}) = \frac{M_A + M_D}{2} + \frac{ql^2}{8}$$

$$M(A - D)(\text{radier}) = \frac{-12,78 - 12,78}{2} + \frac{70,96 \times 2,2^2}{8}$$

$$M(A - D)(\text{radier}) = 32,61 \text{ kN.m}$$

$$M(A - B)(\text{piédroit gauche}) = \frac{M_A + M_B}{2}$$

$$M(A - B)(\text{piédroit gauche}) = \frac{-14,31 - 14,31}{2}$$

$$M(A - B)(\text{piédroit gauche}) = -14,31 \text{ kN.m}$$

$$M(C - D)(\text{piédroit droit}) = \frac{M_C + M_D}{2}$$

$$M(C - D)(\text{piédroit droit}) = \frac{-14,31 - 14,31}{2}$$

$$M(C - D)(\text{piédroit droit}) = -14,31 \text{ kN.m}$$

d. Détermination des efforts normaux

$$N_1 = N_3 = 0$$

$$N_2 = N_4 = \frac{ql}{2}$$

$$N_2 = N_4 = \frac{70,96 \times 2,2}{2}$$

$$N_2 = N_4 = 78,056 \text{ kN}$$

❖ **Sous l'action de surcharge routière de remblai**

a. Détermination des moments hyperstatiques

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

$$M_A = - \frac{1 \times (1 + 3) \times 3,33 \times 2,2^2}{4 \times 24}$$

$$M_A = -0,67 \text{ kN.m}$$

$$M_A = M_B = M_C = M_D = -0,67 \text{ kN.m}$$

b. Détermination des moments à mi- portée :

$$M(A - B)(\text{piédroit droit}) = \frac{\sigma \times h^2}{8} + \frac{M_A + M_B}{2}$$

$$M(A - B)(\text{piédroit droit}) = \frac{3,33 \times 2,2^2}{8} + \frac{-0,67 - 0,67}{2}$$

$$M(A - B)(\text{piédroit droit}) = 1,35 \text{ kN.m}$$

$$M(A - D)(\text{radier}) = \frac{M_A + M_D}{2}$$

$$M(A - D)(\text{radier}) = \frac{-0,67 - 0,67}{2}$$

$$M(A - D)(\text{radier}) = -0,67 \text{ kN.m}$$

$$M(B - C)(\text{tablier}) = \frac{M_C + M_B}{2}$$

$$M(B - C)(\text{tablier}) = \frac{-0,67 - 0,67}{2}$$

$$M(B - C)(\text{tablier}) = -0,67 \text{ kN.m}$$

c. Détermination des efforts normaux :

$$N_1 = N_2 = N_3 = N_4 = \frac{\sigma \times h}{2}$$

$$N_1 = N_2 = N_3 = N_4 = \frac{3,33 \times 2,2}{2}$$

$$N_1 = N_2 = N_3 = N_4 = 3,7 \text{ kN}$$

❖ Force de freinage

Soit 2 essieux de 12 tonnes chacun placé côte à côte et freinant sur le dalot. On obtient :

$$F = \frac{240}{5} = 480 \text{ kN}$$

- Détermination des moments hyperstatiques

$$M_D = -M_A = \frac{F \times h \times K_3}{2 \times F_2}$$

$$M_D = -M_A = \frac{48 \times 2,2 \times 3,8}{2 \times 8}$$

$$M_D = -M_A = 25,08 \text{ kN.m}$$

$$M_B = -M_C = \frac{F \times h \times K_4}{2 \times F_2}$$

$$M_B = -M_C = \frac{48 \times 2,2 \times 4,2}{2 \times 8}$$

$$M_B = -M_C = 27,72 \text{ kN.m}$$

- **Détermination des moments à mi- portée**

$$M(A - B)(\text{piédroit droit}) = -M(C - D)(\text{piédroit droit}) = \frac{M_A + M_B}{2}$$

$$M(A - B)(\text{piédroit droit}) = -M(C - D)(\text{piédroit droit}) = \frac{-25,08 + 27,72}{2}$$

$$M(A - B)(\text{piédroit droit}) = -M(C - D)(\text{piédroit droit}) = 1,32 \text{ kN.m}$$

$$M(A - D)(\text{radier}) = M(B - C)(\text{tablier}) = 0 \text{ kN.m}$$

- **Détermination des efforts normaux**

$$N_1 = -N_3 = \frac{-F}{2}$$

$$N_1 = -N_3 = \frac{-48}{2}$$

$$N_1 = -N_3 = -24 \text{ kN.m}$$

$$N_2 = N_4 = \frac{F \times h \times k_4}{1 \times F_2}$$

$$N_2 = N_4 = \frac{48 \times 2,2 \times 4,2}{2,2 \times 8}$$

$$N_2 = N_4 = 25,2 \text{ kN}$$

3. Calcul des sections d'armatures

3.1. Sollicitations de dimensionnement

Le calcul des aciers se fera à l'état limite de service. Les sollicitations retenues pour le dimensionnement des ferrailages résultent des combinaisons : G + 1,2Q avec ;

G: charges permanentes

Q: charges routières (système B_c et force de freinage)

Eléments de structures		Sollicitations			
		Effort Normal		Moment fléchissant	
		ELU	ELS	ELU	ELS
Tablier	Aux abouts	-31,6	-23,76	12,23	9,26
	En travée			54,28	40,69
Piédroit	En travée	205,6	153,82	14,35	19,11
Radier	Aux abouts	-14,4	-11,021	-76,01	-56,89
	En travée			61,09	45,74

3.2. Armatures des sections

3.2.1. Armatures du tablier

❖ Armatures à mi- travée

$$\text{Sollicitations de calcul} = M_{\text{ser}} = 40,69 \text{ kN.m}$$

- Paramètres de déformation

$$\sigma_{\text{st}} \begin{cases} \varphi \text{ pour fissuration préjudiciable} \\ 0,8\varphi \text{ pour fissuration très préjudiciable} \end{cases}$$

$$\sigma_{\text{st}} = \varphi \text{ car on est en fissuration préjudiciable}$$

$$\text{On a : } \varphi = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{2}{3} f_e = 266,67 \\ 0,5 f_e = 200 \\ 110 \sqrt{\eta \times f_{tj}} = 201,63 \end{array} \right. \rightarrow \varphi = 201,63 \text{ MPa}$$

$$\bar{\alpha}_{\text{ser}} = \frac{n \times \bar{\sigma}_{\text{bc}}}{n \times \bar{\sigma}_{\text{bc}} + \sigma_{\text{st}}}$$

$$\bar{\alpha}_{\text{ser}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63}$$

$$\bar{\alpha}_{\text{ser}} = 0,53$$

- Fibre neutre :

$$y_{\text{ser}} = \bar{\alpha}_{\text{ser}} \times d$$

Avec $d = 0,9h$; h étant l'épaisseur de l'élément

$$y_{\text{ser}} = 0,53 \times 0,9 \times 0,2$$

$$y_{\text{ser}} = 0,0954$$

$$z_{\text{ser}} = d - \frac{y_{\text{ser}}}{3}$$

$$z_{\text{ser}} = 0,18 - \frac{0,0954}{3}$$

$$z_{\text{ser}} = 0,148$$

- Moment fléchissant :

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b_o \times y_{ser} \times \overline{\sigma}_{bc} \times Z_{ser}$$

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times 2 \times 0,0954 \times 15 \times 0,148$$

$$M_{serb} = 211,8 \text{ kN.m}$$

On a :

$$M_{ser} < M_{serb} \rightarrow \text{Pas d'acier comprimé}$$

- Détermination des aciers

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{z \times \sigma_{st}}$$

$$A_{st} = \frac{40,69 \cdot 10^{-3}}{0,148 \times 201,63}$$

$$A_{st} = 13,63 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité (CNF)

$$A_{stmin} = 0,23 \times b_o \times d \times \frac{f_{tj}}{f_e}$$

$$A_{stmin} = 0,23 \times 2 \times 0,18 \times \frac{2,1}{400}$$

$$A_{stmin} = 4.34 \text{ cm}^2$$

On a : $A_{stmin} < A_{st} \rightarrow$ CNF vérifié

- Choix des armatures : 10HA14 $\rightarrow 15,39 \text{ cm}^2$

❖ Armatures aux appuis

Sollicitations de calcul = $M_{ser} = 9,26 \text{ kN.m}$

- Paramètres de déformation

$$\sigma_{st} \begin{cases} \varphi \text{ pour fissuration préjudiciable} \\ 0.8\varphi \text{ pour fissuration très préjudiciable} \end{cases}$$

$\sigma_{st} = \varphi$ car on est en fissuration préjudiciable

$$\text{On a : } \varphi = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{2}{3} f_e = 266,67 \\ 0,5 f_e = 200 \\ 110 \sqrt{\eta \times f_{tj}} = 201,63 \end{array} \right. \rightarrow \varphi = 201,63 \text{ MPa}$$

$$\overline{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \overline{\sigma}_{bc}}{n \times \overline{\sigma}_{bc} + \sigma_{st}}$$

$$\overline{\alpha}_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63}$$

$$\overline{\alpha}_{ser} = 0,53$$

- Fibre neutre :

$$y_{ser} = \alpha_{ser} \times d$$

Avec $d = 0.9h$; h étant l'épaisseur de l'élément

$$y_{ser} = 0,53 \times 0,9 \times 0,2$$

$$y_{ser} = 0,0954$$

$$z_{ser} = d - \frac{y_{ser}}{3}$$

$$z_{ser} = 0,18 - \frac{0,0954}{3}$$

$$z_{ser} = 0,148$$

- Moment fléchissant :

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b_o \times y_{ser} \times \overline{\sigma}_{bc} \times Z_{ser}$$

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times 2 \times 0,0954 \times 15 \times 0,148$$

$$M_{serb} = 211,8 \text{ kN.m}$$

On a :

$$M_{ser} < M_{serb} \rightarrow \text{Pas d'acier comprimé}$$

- Détermination des aciers

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{z \times \sigma_{st}}$$

$$A_{st} = \frac{9,26 \cdot 10^{-3}}{0,148 \times 201,63}$$

$$A_{st} = 3,1 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité (CNF)

$$A_{stmin} = 0,23 \times b_o \times d \times \frac{f_{tj}}{f_e}$$

$$A_{stmin} = 0,23 \times 2 \times 0,18 \times \frac{2,1}{400}$$

$$A_{stmin} = 4,34 \text{ cm}^2$$

On a : $A_{stmin} > A_{st} \rightarrow$ CNF non vérifié; nous prendons une section d'acier théorique = A_{stmin}

- Choix des armatures : 6HA10 $\rightarrow 4,71 \text{ cm}^2$

3.2.2. Armatures du radier

❖ Armatures à mi-travée

$$\text{Sollicitations de calcul} = M_{ser} = 45,74 \text{ kN.m}$$

- Paramètres de déformation

$$\sigma_{st} \begin{cases} \varphi \text{ pour fissuration préjudiciable} \\ 0,8\varphi \text{ pour fissuration très préjudiciable} \end{cases}$$

$\sigma_{st} = \varphi$ car on est en fissuration préjudiciable

$$\text{On a : } \varphi = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{2}{3} f_e = 266,67 \\ 0,5 f_e = 200 \\ 110 \sqrt{\eta \times f_{tj}} = 201,63 \end{array} \right. \rightarrow \varphi = 201,63 \text{ MPa}$$

$$\overline{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \overline{\sigma}_{bc}}{n \times \overline{\sigma}_{bc} + \sigma_{st}}$$

$$\overline{\alpha}_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63}$$

$$\overline{\alpha}_{ser} = 0,53$$

- Fibre neutre :

$$y_{ser} = \overline{\alpha}_{ser} \times d$$

Avec $d = 0,9h$; h étant l'épaisseur de l'élément

$$y_{ser} = 0,53 \times 0,9 \times 0,2$$

$$y_{ser} = 0,0954$$

$$z_{ser} = d - \frac{y_{ser}}{3}$$

$$z_{ser} = 0,18 - \frac{0,0954}{3}$$

$$z_{ser} = 0,148$$

- Moment fléchissant :

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b_o \times y_{ser} \times \overline{\sigma}_{bc} \times Z_{ser}$$

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times 2 \times 0,0954 \times 15 \times 0,148$$

$$M_{serb} = 211,8 \text{ kN.m}$$

On a :

$$M_{ser} < M_{serb} \rightarrow \text{Pas d'acier comprimé}$$

- Détermination des aciers

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{z \times \sigma_{st}}$$

$$A_{st} = \frac{45,74 \cdot 10^{-3}}{0,148 \times 201,63}$$

$$A_{st} = 15,32 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité (CNF)

$$A_{stmin} = 0,23 \times b_o \times d \times \frac{f_{tj}}{f_e}$$

$$A_{stmin} = 0,23 \times 2 \times 0,18 \times \frac{2,1}{400}$$

$$A_{stmin} = 4,34 \text{ cm}^2$$

On a : $A_{stmin} < A_{st} \rightarrow$ CNF vérifié

- Choix des armatures : 8HA16 $\rightarrow 16,08 \text{ cm}^2$

❖ Armatures aux appuis

Sollicitations de calcul = $M_{ser} = 56,89 \text{ kN.m}$

- Paramètres de déformation

$$\sigma_{st} \begin{cases} \varphi \text{ pour fissuration préjudiciable} \\ 0,8\varphi \text{ pour fissuration très préjudiciable} \end{cases}$$

$\sigma_{st} = \varphi$ car on est en fissuration préjudiciable

$$\text{On a : } \varphi = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{2}{3} f_e = 266,67 \\ 0,5 f_e = 200 \\ 110 \sqrt{\eta} \times f_{tj} = 201,63 \end{array} \right. \rightarrow \varphi = 201,63 \text{ MPa}$$

$$\overline{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \overline{\sigma}_{bc}}{n \times \overline{\sigma}_{bc} + \sigma_{st}}$$

$$\overline{\alpha}_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63}$$

$$\overline{\alpha}_{ser} = 0,53$$

- Fibre neutre :

$$y_{ser} = \overline{\alpha}_{ser} \times d$$

Avec $d = 0,9h$; h étant l'épaisseur de l'élément

$$y_{ser} = 0,53 \times 0,9 \times 0,2$$

$$y_{ser} = 0,0954$$

$$z_{ser} = d - \frac{y_{ser}}{3}$$

$$z_{ser} = 0,18 - \frac{0,0954}{3}$$

$$z_{ser} = 0,148$$

- Moment fléchissant :

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b_o \times y_{ser} \times \overline{\sigma}_{bc} \times Z_{ser}$$

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times 2 \times 0,0954 \times 15 \times 0,148$$

$$M_{serb} = 211,8 \text{ kN.m}$$

On a :

$$M_{ser} < M_{serb} \rightarrow \text{Pas d'acier comprimé}$$

- Détermination des aciers

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{z \times \sigma_{st}}$$

$$A_{st} = \frac{56,89 \cdot 10^{-3}}{0,148 \times 201,63}$$

$$A_{st} = 19,06 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité (CNF)

$$A_{stmin} = 0,23 \times b_o \times d \times \frac{f_{tj}}{f_e}$$

$$A_{stmin} = 0,23 \times 2 \times 0,18 \times \frac{2,1}{400}$$

$$A_{stmin} = 4,34 \text{ cm}^2$$

$$\text{On a : } A_{stmin} < A_{st} \rightarrow \text{CNF vérifié}$$

- Choix des armatures : 10HA16 $\rightarrow 20,11 \text{ cm}^2$

3.2.3. Armatures des pieds droits

Les armatures des pieds droits seront calculées à l'ELU et vérifiées à l'ELS

❖ Calcul à l'ELU

$$\text{Sollicitations de calcul: } \begin{cases} M_u = 19,11 \text{ kN.m} \\ N_u = 205,6 \text{ kN} \end{cases}$$

- Calcul des excentricités

$$e_a = \max \left\{ \begin{array}{l} 2 \text{ cm} \\ h \\ \frac{220}{250} = \frac{220}{250} \end{array} \right.$$

$$e_a = \max \{ 2 \text{ cm}, 0,88 \text{ cm} \} \rightarrow e_a = 2 \text{ cm}$$

$$e_1 = \frac{M_u}{N_u} + e_a$$

$$e_1 = \frac{19,11}{205,6} + 0,02$$

$$e_1 = 11,3 \text{ cm}$$

Sollicitations corrigés pour le flambement

- Elancement géométrique :

$$l_f = 0,5l_o$$

$$l_f = 0,5 \times 2$$

$$l_f = 1 \text{ m}$$

Pièce chargée de façon excentrée

$$\frac{l_f}{h} < \text{Max} \left\{ 20 \times \frac{e_1}{h} = 20 \times \frac{0,113}{0,2} \right.$$

$$\left. \frac{l_f}{h} < \text{Max} \left\{ 15,3 \rightarrow \frac{1}{0,2} < 15 \right. \right.$$

Excentricité 2nd ordre :

$$a = 10 \left(1 - \frac{M_u}{1,5 \times M_{ser}} \right)$$

$$a = 10 \left(1 - \frac{19,11}{1,5 \times 14,35} \right)$$

$$a = 1,12$$

$$e_2 = \frac{3 \times l_f^2}{10^4 \times h} (2 + a \times \varphi)$$

$$e_2 = \frac{3 \times 1^2}{10^4 \times 0,2} (2 + 1,12 \times 2)$$

$$e_2 = 0,64 \text{ cm}$$

- Sollicitations corrigées pour le calcul en flexion composée :

$$M = N_u \times e_o$$

On a :

$$e_o = e_1 + e_2$$

$$e_o = 0,113 + 0,0064$$

$$e_o = 0,12 \text{ m}$$

$$\rightarrow M_{uA} = 205,6 \times 0,12$$

$$M_{uA} = 24,67 \text{ kN.m}$$

- Moment réduit de référence à l'ELU

$$\mu_{BC} = 0,8 \times \frac{h}{d} \times \left(1 - 0,4 \frac{h}{d} \right)$$

$$\mu_{BC} = 0,8 \times \frac{0,2}{0,18} \times \left(1 - 0,4 \frac{0,2}{0,18} \right)$$

$$\mu_{BC} = 0,494$$

- Moment réduit agissant :

$$\mu_{uA} = \frac{M_{uA}}{b_o \times d^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_{uA} = \frac{24,67 \cdot 10^{-3}}{2 \times 0,18^2 \times 14,17}$$

$$\mu_{uA} = 0,027$$

- Comparaison entre μ_{uA} et μ_{bc}

$$\mu_{uA} < \mu_{bc} \rightarrow \text{Section partiellement comprimée}$$

❖ Calcul à l'ELS

$$\text{Sollicitations de calcul: } \begin{cases} M_{ser} = 14,35 \text{ kN.m} \\ N_{ser} = 153,82 \text{ kN} \end{cases}$$

- Calcul de sollicitations ramenées au centre de gravité

$$M_{serA} = e_A \times N_{ser}$$

Détermination de e_A :

$$e_A = e_{0ser} + \left(d - \frac{h}{2}\right); \text{ avec } e_{0ser} = \frac{M_{ser}}{N_{ser}}$$

$$e_A = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} + \left(d - \frac{h}{2}\right)$$

$$e_A = \frac{14,35}{153,82} + \left(0,18 - \frac{0,2}{2}\right)$$

$$e_A = 0,17$$

- Calcul du moment réduit

$$\gamma_M = \frac{M_u}{M_{ser}}$$

$$\gamma_M = \frac{205,6}{153,82}$$

$$\gamma_M = 1,34$$

$$10^4 \mu_{tu} = 3440 \times \theta \times \gamma_M + 49 \times \frac{f_{c28}}{\theta} - 3100$$

$$10^4 \mu_{tu} = 3440 \times 1 \times 1,34 + 49 \times \frac{25}{1} - 3100$$

$$10^4 \mu_{tu} = 2734,6$$

$$\mu_{tu} = 0,274$$

- Comparaison entre μ_{tu} et μ_{uA}

$$\mu_{uA} < \mu_{tu} \rightarrow \text{Pas besoin d'aciers comprimés}$$

La Comparaison entre μ_{uA} et μ_{bc} avait montré une section partiellement comprimé. Cependant la comparaison entre μ_{tu} et μ_{uA} nous permet de conclure que la section partiellement comprimée ne nécessite pas la présence d'armatures afin de reprendre ses sollicitations

- Détermination du paramètre de déformation

$$\alpha_{uA} = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_{uA}})$$

$$\alpha_{uA} = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,027})$$

$$\alpha_{uA} = 0,034$$

- Bras de levier

$$z_{uA} = d(1 - 0,4\alpha_{uA})$$

$$z_{uA} = 0,18 \times (1 - 0,4 \times 0,034)$$

$$z_{uA} = 0,18$$

$$A = \frac{M_{uA}}{Z_{uA} \times \sigma_s}$$

$$A = \frac{24,67}{0,18 \times 347,83}$$

$$A = 3,94 \text{ cm}^2$$

- Section d'acier théorique

$$A_u = A - \frac{N_u}{\sigma_s}$$

$$A_u = 0,394 - \frac{205,6}{347,83}$$

$$A_u = -0,197$$

- Condition de non fragilité(CNF) :

$$A_{min} = 0,23 \times b_o \times d \times \frac{f_{tj}}{f_e}$$

$$A_{min} = 0,23 \times 2 \times 0,18 \times \frac{2,1}{400}$$

$$A_{min} = 4,34 \text{ cm}^2$$

On a : $A_u < A_{min} \rightarrow$ CNF non vérifié \rightarrow Nous considérerons une section d'acier théorique = A_{min}

Choix de l'acier = 4HA12 $\rightarrow 4,52 \text{ cm}^2$

Annexe 8 : Estimation des coûts du projet

N° Prix	Désignation	Unité	Quantité	Prix Unitaire (FCFA)	Montant total HTVA(FCFA)
000	Installation de chantier et repli de chantier				
001	Campagne de reconnaissance des réseaux enterrés	Ft	1	50 000 000	50 000 000
002	Fonctionnement de la base technique principale et installation	mois	8	35 000 000	280 000 000
003	Provision pour déplacement de réseaux	Ft	1	50 000 000	50 000 000
Total section 000: Installation de chantier et repli de chantier					380 000 000
100	Travaux préparatoires				
101	Nettoyage et débroussaillage	m ²	318 461	150	47 769 150
102	Abattage et dessouchage d'arbre	unité	70	50 000	3 500 000
103	Décapage de la terre végétale	m ²	200 000	300	60 000 000
104	Scarification et décaissement de la chaussée	m ²	70 000	2 000	140 000 000
105	Démolition d'ouvrages existants en béton armé	m ³	150 000	82	12 300 000
Total section 100: Travaux préparatoires					263 569 150
200	Terrassements généraux				
201	Déblai mis en dépôt	m ³	21 000	3 500	73 500 000

Etudes techniques d'avant-projet détaillé des travaux de réhabilitation et de renforcement de la route
Koupela-Frontière du Niger

202	Remblai provenant d'emprunt	m ³	30 600	5 000	153 000 000
203	Réglage et compactage de l'arase de la plateforme des terrassements	m ²	112 800	250	28 200 000
204	Fourniture et pose de géotextile 180 g/m ²	m ²	10 000	2 589	25 890 000
Section 200:Terrassements généraux					280 590 000
300	Chaussées				
301	Fourniture, transport et mise en œuvre de matériaux naturels pour la fondation	m ³	33 840	5 000	169 200 000
302	Amélioration ciment de la couche de fondation à 3%	Kg	1015 200	200	203 040 000
303	Exécution de l'Imprégnation à 1,200 Kg/m ²	m ²	112 800	12 50	141 000 000
304	Fourniture, transport et mise en œuvre de grave bitume pour la couche de base	m ³	9 024	80 000	721 920 000
305	Exécution de l'accrochage à 300g/m ²	m ²	112 800	300	33 840 000
306	Fourniture, fabrication et mise en œuvre de BB pour couche de roulement	m ³	3 600	120 000	432 000 000
307	Fourniture, fabrication et mise en œuvre de BB de trottoir	m ³	990	120 000	118 800 000
Total section 300: Chaussées					1 819 800 000
400	ASSAINISSEMENT ET DRAINAGE				

Etudes techniques d'avant-projet détaillé des travaux de réhabilitation et de renforcement de la route
Koupela-Frontière du Niger

401	Fourniture et pose de caniveaux en béton armé rectangulaire 60 (ml)	ml	1 816	110 000	199 760 000
402	Fourniture et pose de caniveaux en béton armé rectangulaire 80 (ml)	ml	2 012	145 000	291 740 000
403	Fourniture et pose de caniveaux en béton armé rectangulaire 100 (ml)	ml	426	175 000	74 550 000
404	Fourniture et pose de caniveaux en béton armé rectangulaire 150 (ml)	ml	1 586	220 000	348 920 000
405	Dalots		28,2	1 150 000	32 430 000
406	Bordure T2	ml	3000	25 000	75 000 000
Total Section 400: Assainissement et drainage					1 022 400 000
500	Sécurité routière				
505	Signalisation				
505-1	Panneau triangulaire type A ou AB	unité	10	175 000	1 750 000
505-2	Panneau circulaire type B	unité	4	190 000	760 000
505-3	Panneau "STOP" type AB4	unité	12	215 000	2 580 000
505-4	Passage piétons	unité	12	150 000	1 800 000
505-5	Panneau de sortie d'agglomération	unité	1	150 000	150 000
505-6	Ligne discontinue sur chaussée	ml	14 500	900	13 050 000
505-7	Ligne continue sur chaussée	ml	1 000	900	900 000
505-8	Ligne de passage piéton	ml	1 500	420	630 000

Etudes techniques d'avant-projet détaillé des travaux de réhabilitation et de renforcement de la route
Koupela-Frontière du Niger

507	Sécurité routière				
507-1	Glissière de sécurité	ml	84	20 000	1 680 000
507-2	Balise J5	unité	32	85 000	2 720 000
508	Eclairage public				
508-1	lampadaires solaires	unité	97	976 770	94 746 690
508-2	Massif de fondation en béton pour candélabre	unité	97	50 000	4 850 000
Total Section 500: Sécurité routière					125 616 690
600	Mesures environnementales				
601	Prévision pour la sensibilisation au VIH-SIDA et vaccination des employés	Ft	1	1 000 000	1 000 000
602	Provision pour la sensibilisation à la sécurité routière	Ft	1	15 000 000	15 000 000
603	Réhabilitation des zones d'emprunts et de dépôts	m ²	1 200	10 000	12 000 000
604	Provision pour aménagement paysage	Ft	1	50 000 000	50 000 000
Total section 600: Mesures environnementales					78 000 000
Montant total hors TVA					3 589 975 840
Montant total de la TVA de 18%					646 195 651,2
Montant total toutes taxes comprises					4 236 171 491

Annexe 9 : Signalisation routière

❖ Les panneaux qui seront utilisés dans le cadre du projet sont :



A2b
Ralentisseur de type dos-d'âne



A3
Chaussée rétrécie



A15a1
Passage d'animaux domestique



A15b
Passage d'animaux sauvages



A13b
Passage pour piéton



AB4
Arrêt à l'intersection dans les conditions définies à l'article R.415-6 du code de la route. Signal de position



B14
Limitation de vitesse. Ce panneau notifie l'interdiction de dépasser la vitesse indiquée



B14
Limitation de vitesse. Ce panneau notifie l'interdiction de dépasser la vitesse indiquée



B33
Fin de limitation de vitesse



C20a
Passage pour piétons.



C27
Surélévation de chaussée.

❖ Rappel des recommandations du rapport de situation sur la sécurité routière de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) publié en 2009

Les principales recommandations formulées à l'intention des pouvoirs publics sont les suivantes :

- Lors de la prise de décisions qui ont une incidence sur la sécurité routière, il faut tenir compte des besoins de tous les usagers de la route et mettre l'accent sur les besoins des usagers vulnérables, qui, dans de nombreux pays, ne sont toujours pas pris en considération.
- Il faut promulguer des lois qui protègent tous les usagers de la route, par exemple celles qui imposent des limitations de vitesse appropriées, qui fixent un seuil d'alcoolémie et qui prévoient des mesures de protection appropriées telles que le port du casque et de la ceinture de sécurité et l'utilisation de dispositifs de sécurité pour enfants. La législation existante doit être examinée et amendée pour être conforme aux bonnes pratiques, fondées sur des données solides qui ont démontré leur efficacité.
- Il faut améliorer et pérenniser l'application de toutes les lois relatives à la sécurité routière. Les efforts déployés pour appliquer la législation doivent faire l'objet d'une large publicité et les lois doivent être assorties de sanctions appropriées en cas d'infraction.
- Il faut favoriser la collaboration entre les organismes appartenant aux différents secteurs et veiller à ce que ceux-ci disposent des moyens humains et financiers nécessaires pour agir efficacement.
- Il faut favoriser l'harmonisation des données relatives à la sécurité routière et, à cet égard, mieux relier les données de la police, des services chargés des transports et de ceux chargés de la santé et recruter davantage de gens pour collecter les données.

Annexe 10 : Etude d'impact environnemental

Tableau 45:Matrice de Léopold

Phase de projet	Activités sources d'impacts	Impacts	Description de l'impact	Milieu récepteur			
				PC	BE	SC	EO
Phase de construction	Installation de chantier, décapage et terrassement	Destruction de la végétation	Due au décapage		•		
		Pollution de l'air, des eaux, des sols et sonore	Due au rejet des huiles usées des engins de TP	•			
	Mise en place de bitume	Risques de propagations d'IST et du VIH/SIDA	Due à la présence des ouvriers sur le chantier			•	
		Interruption de la fluidité de la circulation	Due aux travaux de construction			•	
	Réalisation des ouvrages	Conflits avec les autochtones	Les différences peuvent engendrés des différends			•	
		Accroissement de la population	Grossesses non désirées causées par les travailleurs du chantier			•	
		Création d'emploi	Recrutement d'ouvriers			•	
		Perte de patrimoine	Interruption ou déplacement de commerces				•
		Développement d'activités commerciales	Restauration et hébergement				•

Etudes techniques d'avant-projet détaillé des travaux de réhabilitation et de renforcement de la route
Koupela-Frontière du Niger

				PC	BE	SC	EO
Phase d'Exploitation	Mise en circulation de la route et des ouvrages	Embellissement du paysage	La présence de la route est un facteur déterminant dans ces impacts		•		
		Augmentation du niveau de sécurité de la route			•		
		Augmentation du confort et de la fluidité de la route				•	
		Imperméabilisation des sols		•		•	
		Pollution sonore		•		•	
		Facilité d'évacuation sanitaire				•	
		Augmentation des activités génératrices de revenus				•	
		Désenclavement des localités					•
		Diminution du temps de parcours					•

Légende :

- PC : Physico-Chimique
- BE : Biologique-Ecologique
- SC : Socio-culturel
- EO : Economique

Tableau 46: Description des tranches de l'analyse RIAM

RIAM Score Environmental (ES)			Tranche (RV) (alphabetic)	Tranche (RV) (numeric)	Description de la tranche
108	To	72	E	5	Changements positifs grandes
71	To	36	D	4	Changements positifs importants
35	To	19	C	3	Changements positifs modérâtes
10	To	18	B	2	Changement positifs
1	To	9	A	1	Changement positifs léger
0			N	0	Pas de changement
-1	To	-9	-A	-1	Changements négatives léger
-10	To	-18	-B	-2	Changements négatifs
-19	To	-35	-C	-3	Changements négatives modérâtes
-36	To	-71	-D	-4	Changements négatives importants
-72	To	-108	-E	-5	Changements négatives grandes

Annexe 11 : Listing de l'axe en plan 1

Axe En Plan

Axe En Plan						
Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	136.8673 g	169.969	0.000	788091.326	1348070.705
Droite 2	Gisement	136.8667 g	1.000	169.969	788233.581	1347977.685
Droite 3	Gisement	136.8631 g	1.000	170.969	788234.418	1347977.137
Droite 4	Gisement	136.8558 g	1.000	171.969	788235.255	1347976.590
Droite 5	Gisement	136.8448 g	1.000	172.969	788236.092	1347976.043
Droite 6	Gisement	136.8302 g	1.000	173.969	788236.929	1347975.496
Droite 7	Gisement	136.8119 g	1.000	174.969	788237.767	1347974.949
Droite 8	Gisement	136.7900 g	1.000	175.969	788238.604	1347974.403
Droite 9	Gisement	136.7644 g	1.000	176.969	788239.442	1347973.856
Droite 10	Gisement	136.7352 g	1.000	177.969	788240.279	1347973.310
Droite 11	Gisement	136.7023 g	1.000	178.969	788241.117	1347972.765
Droite 12	Gisement	136.6658 g	1.000	179.969	788241.956	1347972.220
Droite 13	Gisement	136.6256 g	1.000	180.969	788242.795	1347971.675
Droite 14	Gisement	136.5817 g	1.000	181.969	788243.634	1347971.131
Droite 15	Gisement	136.5342 g	1.000	182.969	788244.473	1347970.588
Droite 16	Gisement	136.4831 g	1.000	183.969	788245.313	1347970.045
Droite 17	Gisement	136.4283 g	1.000	184.969	788246.153	1347969.502
Droite 18	Gisement	136.3698 g	1.000	185.969	788246.994	1347968.961
Droite 19	Gisement	136.3077 g	1.000	186.969	788247.835	1347968.420
Droite 20	Gisement	136.2419 g	1.000	187.969	788248.677	1347967.880
Droite 21	Gisement	136.1725 g	1.000	188.969	788249.519	1347967.341
Droite 22	Gisement	136.0994 g	1.000	189.969	788250.362	1347966.803
Droite 23	Gisement	136.0227 g	1.000	190.969	788251.205	1347966.266
Droite 24	Gisement	135.9423 g	1.000	191.969	788252.049	1347965.730
Droite 25	Gisement	135.8583 g	1.000	192.969	788252.894	1347965.195
Droite 26	Gisement	135.7706 g	1.000	193.969	788253.740	1347964.661
Droite 27	Gisement	135.6793 g	1.000	194.969	788254.586	1347964.128
Droite 28	Gisement	135.5843 g	1.000	195.969	788255.433	1347963.597
Droite 29	Gisement	135.4856 g	1.000	196.969	788256.281	1347963.066
Droite 30	Gisement	135.3833 g	1.000	197.969	788257.129	1347962.537
Droite 31	Gisement	135.2774 g	1.000	198.969	788257.979	1347962.010
Droite 32	Gisement	135.1678 g	1.000	199.969	788258.829	1347961.483
Droite 33	Gisement	135.0545 g	1.000	200.969	788259.681	1347960.959
Droite 34	Gisement	134.9376 g	1.000	201.969	788260.533	1347960.435
Droite 35	Gisement	134.8170 g	1.000	202.969	788261.386	1347959.914
Droite 36	Gisement	134.6928 g	1.000	203.969	788262.240	1347959.394
Droite 37	Gisement	134.5649 g	1.000	204.969	788263.095	1347958.875
Droite 38	Gisement	134.4334 g	1.000	205.969	788263.951	1347958.359
Droite 39	Gisement	134.2982 g	1.000	206.969	788264.809	1347957.844
Droite 40	Gisement	134.1593 g	1.000	207.969	788265.667	1347957.331
Droite 41	Gisement	134.0168 g	1.000	208.969	788266.526	1347956.820
Droite 42	Gisement	133.8707 g	1.000	209.969	788267.387	1347956.310
Droite 43	Gisement	133.7209 g	1.000	210.969	788268.249	1347955.803
Droite 44	Gisement	133.5674 g	1.000	211.969	788269.112	1347955.298
Droite 45	Gisement	133.4103 g	1.000	212.969	788269.976	1347954.795
Droite 46	Gisement	133.2496 g	1.000	213.969	788270.841	1347954.294
Droite 47	Gisement	133.0851 g	1.000	214.969	788271.708	1347953.795
Droite 48	Gisement	132.9171 g	1.000	215.969	788272.576	1347953.298
Droite 49	Gisement	132.7454 g	1.000	216.969	788273.445	1347952.804
Droite 50	Gisement	132.5700 g	1.000	217.969	788274.316	1347952.312
Droite 51	Gisement	132.3909 g	1.000	218.969	788275.188	1347951.822
Droite 52	Gisement	132.2083 g	1.000	219.969	788276.061	1347951.335

Etudes techniques d'avant-projet détaillé des travaux de réhabilitation et de renforcement de la route
Koupela-Frontière du Niger

Droite 53	Gisement	132.0219 g	1.000	220.969	788276.936	1347950.850
Droite 54	Gisement	131.8319 g	1.000	221.969	788277.812	1347950.368
Droite 55	Gisement	131.6383 g	1.000	222.969	788278.690	1347949.889
Droite 56	Gisement	131.4410 g	1.000	223.969	788279.569	1347949.412

Axe En Plan						
Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 57	Gisement	131.2400 g	1.000	224.969	788280.449	1347948.938
Droite 58	Gisement	131.0354 g	1.000	225.969	788281.331	1347948.467
Droite 59	Gisement	130.8272 g	1.000	226.969	788282.215	1347947.998
Droite 60	Gisement	130.7133 g	0.080	227.969	788283.100	1347947.533
Arc 1	Rayon	300.000 m	94.933	228.049	788283.171	1347947.496
	Centre X	788422.319 m				
	Centre Y	1348213.273 m				
Droite 61	Gisement	110.5509 g	0.080	322.982	788372.787	1347917.391
Droite 62	Gisement	110.4371 g	1.000	323.062	788372.866	1347917.378
Droite 63	Gisement	110.2288 g	1.000	324.062	788373.852	1347917.214
Droite 64	Gisement	110.0242 g	1.000	325.062	788374.839	1347917.054
Droite 65	Gisement	109.8233 g	1.000	326.062	788375.827	1347916.898
Droite 66	Gisement	109.6260 g	1.000	327.062	788376.815	1347916.744
Droite 67	Gisement	109.4323 g	1.000	328.062	788377.804	1347916.593
Droite 68	Gisement	109.2423 g	1.000	329.062	788378.793	1347916.446
Droite 69	Gisement	109.0560 g	1.000	330.062	788379.782	1347916.301
Droite 70	Gisement	108.8733 g	1.000	331.062	788380.772	1347916.159
Droite 71	Gisement	108.6943 g	1.000	332.062	788381.762	1347916.020
Droite 72	Gisement	108.5189 g	1.000	333.062	788382.753	1347915.884
Droite 73	Gisement	108.3472 g	1.000	334.062	788383.744	1347915.751
Droite 74	Gisement	108.1791 g	1.000	335.062	788384.735	1347915.620
Droite 75	Gisement	108.0147 g	1.000	336.062	788385.727	1347915.492
Droite 76	Gisement	107.8539 g	1.000	337.062	788386.719	1347915.366
Droite 77	Gisement	107.6968 g	1.000	338.062	788387.712	1347915.243
Droite 78	Gisement	107.5434 g	1.000	339.062	788388.704	1347915.123
Droite 79	Gisement	107.3936 g	1.000	340.062	788389.697	1347915.004
Droite 80	Gisement	107.2474 g	1.000	341.062	788390.691	1347914.889
Droite 81	Gisement	107.1049 g	1.000	342.062	788391.684	1347914.775
Droite 82	Gisement	106.9661 g	1.000	343.062	788392.678	1347914.664
Droite 83	Gisement	106.8309 g	1.000	344.062	788393.672	1347914.554
Droite 84	Gisement	106.6994 g	1.000	345.062	788394.666	1347914.447
Droite 85	Gisement	106.5715 g	1.000	346.062	788395.661	1347914.342
Droite 86	Gisement	106.4473 g	1.000	347.062	788396.655	1347914.239
Droite 87	Gisement	106.3267 g	1.000	348.062	788397.650	1347914.138
Droite 88	Gisement	106.2098 g	1.000	349.062	788398.645	1347914.039
Droite 89	Gisement	106.0965 g	1.000	350.062	788399.641	1347913.941
Droite 90	Gisement	105.9869 g	1.000	351.062	788400.636	1347913.846
Droite 91	Gisement	105.8809 g	1.000	352.062	788401.632	1347913.752
Droite 92	Gisement	105.7786 g	1.000	353.062	788402.627	1347913.660
Droite 93	Gisement	105.6800 g	1.000	354.062	788403.623	1347913.569
Droite 94	Gisement	105.5850 g	1.000	355.062	788404.619	1347913.480
Droite 95	Gisement	105.4936 g	1.000	356.062	788405.615	1347913.392
Droite 96	Gisement	105.4060 g	1.000	357.062	788406.612	1347913.306
Droite 97	Gisement	105.3219 g	1.000	358.062	788407.608	1347913.221
Droite 98	Gisement	105.2415 g	1.000	359.062	788408.605	1347913.138
Droite 99	Gisement	105.1648 g	1.000	360.062	788409.601	1347913.056
Droite 100	Gisement	105.0917 g	1.000	361.062	788410.598	1347912.975
Droite 101	Gisement	105.0223 g	1.000	362.062	788411.595	1347912.895
Droite 102	Gisement	104.9566 g	1.000	363.062	788412.592	1347912.816
Droite 103	Gisement	104.8944 g	1.000	364.062	788413.589	1347912.738
Droite 104	Gisement	104.8360 g	1.000	365.062	788414.586	1347912.661
Droite 105	Gisement	104.7812 g	1.000	366.062	788415.583	1347912.585
Droite 106	Gisement	104.7300 g	1.000	367.062	788416.580	1347912.510
Droite 107	Gisement	104.6825 g	1.000	368.062	788417.577	1347912.436
Droite 108	Gisement	104.6387 g	1.000	369.062	788418.574	1347912.363
Droite 109	Gisement	104.5985 g	1.000	370.062	788419.572	1347912.290
Droite 110	Gisement	104.5620 g	1.000	371.062	788420.569	1347912.218

Etudes techniques d'avant-projet détaillé des travaux de réhabilitation et de renforcement de la route
Koupela-Frontière du Niger

Axe En Plan						
Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 112	Gisement	104.4998 g	1.000	373.062	788422.564	1347912.075
Droite 113	Gisement	104.4743 g	1.000	374.062	788423.562	1347912.004
Droite 114	Gisement	104.4523 g	1.000	375.062	788424.559	1347911.934
Droite 115	Gisement	104.4341 g	1.000	376.062	788425.557	1347911.864
Droite 116	Gisement	104.4195 g	1.000	377.062	788426.554	1347911.795
Droite 117	Gisement	104.4085 g	1.000	378.062	788427.552	1347911.725
Droite 118	Gisement	104.4012 g	1.000	379.062	788428.549	1347911.656
Droite 119	Gisement	104.3975 g	1.000	380.062	788429.547	1347911.587
Droite 120	Gisement	104.3969 g	748.431	381.062	788430.545	1347911.518
				1129.493	789177.191	1347859.867
Longueur totale de l'axe 1129.493 mètre(s)						
Droite 111	Gisement	104.5291 g	1.000	372.062	788421.567	1347912.146

Annexe 12 : Profil en long 1

Annexe 13 : Plan de coffrage dalot

Annexe 14 : Plan de ferrailage dalot

Annexe 15 : Plan de coffrage et de ferrailage caniveau