Revue de l'étude technique détaillée des travaux d'élargissement de la route nationale n°2 en 2*2 voies au Burkina Faso, intégrant les sites propres de bus et les voies de contre-allée : Tronçon Bissighin-Yagma-Bassinko, long de 4,995 Km

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGÉNIEUR 2IE AVEC GRADE DE **MASTER**

SPÉCIALITÉ GENIE CIVIL - BTIMENT ET TRAVAUX PUBLICS

Présenté et soutenu publiquement le 19 Janvier 2026 par :

Saïda Laura KITIO (20220068)

Encadreur 2iE : Issa MADOUGOU, Enseignant de topographie et système d'information géographique à l'Institut 2iE, Département science et technique de l'ingénieur.

Maitre de stage : Josué NANA, Ingénieur Génie Civil, CIE-GC.

Structure d'accueil : **CIE-GC**

Jury d'évaluation du stage :

Président : **Dr Césaire HEMA**

Membres et correcteurs : **M. Moussa LO**

M. Georges Kibalo TCHAMIE

Promotion 2025/2026

DEDICACES

A ma maman, ma sœur et mes frères, votre amour et votre présence sans cesse sont les plus grands bien que je possède ; merci pour votre soutien et toutes ces nuits passées à prier. Spécialement à toi maman, pour les valeurs que tu nous as inculquées, tu imposes l'admiration et tu es un modèle pour tes enfants, que Dieu rende prospère tous tes investissements.

A mon défunt père Auguste ZEBAZE, parti très tôt, j'espère vous rendre fière depuis l'au-delà. Que Dieu vous accorde sa miséricorde. Vous resterez à jamais dans nos cœurs.

A tous ceux et celles qui m'ont également soutenu durant mon parcours.

REMERCIEMENTS

Ce document a pu voir le jour grâce au soutien constant et aux encouragements que nous avons reçus. À travers ces quelques lignes, nous exprimons notre profonde reconnaissance envers toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce travail :

- Nous adressons avant tout nos remerciements à Dieu Tout-Puissant, dont la grâce nous accompagne sans cesse ;
- À l'ensemble de l'Administration et au corps enseignants de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement(2iE), pour l'engagement quotidien qu'ils consacrent à garantir une formation d'excellence et à favoriser notre insertion professionnelle ;
- A mon Directeur de mémoire, monsieur Issa MADOUGOU, pour sa disponibilité constante, la clarté de ses orientations et la qualité de ses conseils, qui ont grandement contribué à la conduite et à l'achèvement de ce travail ;
- A monsieur Issa NANA, Premier Responsable de la structure CIE-GC (Cabinet d'Ingénierie et d'Expertise en Génie- Civil, pour m'avoir permis d'effectuer ce stage au sein de sa structure ;
- A mon Maître de stage, monsieur Josué NANA pour m'avoir aidé à joindre la structure CIE-GC, également pour sa simplicité, et son investissement dans l'accomplissement de ce travail ;
- A l'ensemble du personnel du Groupement ACIT Géotechnique/ CIE-GC, particulièrement à monsieur Ousséni MONE, Ingénieur Géotechnicien à ACIT Géotechnique et mon enseignant de routes à l'Institut 2iE, pour sa simplicité, son humilité et son investissement sans faille dans l'accomplissement de ce travail ;
- Au Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MINADER) du Cameroun, pour m'avoir accordé la bourse afin de poursuivre mes ambitions au sein de l'Institut 2iE ;
- À mes camarades de stage, pour leur esprit de collaboration, leur disponibilité et la qualité des échanges que nous avons partagés tout au long de cette expérience ;
- À ma famille, pour l'affection, le soutien et la présence constant dont elle m'a entourée durant cette phase essentielle de mon parcours ;
- À mes amis et proches qui m'ont soutenue de près ou de loin. Merci pour votre amitié.

RESUME

Notre étude porte sur la revue de l'étude technique détaillée des travaux d'élargissement de la route nationale n°2 au Burkina Faso dans la section Bissighin-Yagma-Bassinko, long de 4,995 Km, plus précisément entre les points kilométriques PK05+000 et PK09+995. Ce projet s'inscrit dans une politique visant à améliorer la fluidité de la circulation, renforcer la sécurité des usagers et participer au développement socio-économique régional. L'objectif principale est de concevoir et de dimensionner une chaussée durable, confortable et économique, capable de supporter les charges de trafic actuel et de résister aux conditions environnementales locales tout en assurant la sécurité et le confort des usagers. La route projetée est une chaussée de 2*2 voies bitumées de 3.5 m de large par voie séparée par un terre-plein central, intégrant un site propre bus, des trottoirs, des caniveaux ainsi que les voies de contre-allée de part et d'autre de la chaussée principale. La conception géométrique de la section urbaine s'est appuyée sur les prescriptions de l'ICTAVRU. Le dimensionnement de la chaussée principale a été réalisé par la méthode CEBTP et par la méthode rationnelle française de dimensionnement mécanique des chaussées en référence à la NF P 98-086. Celui des sites propres bus et des contre-allées a été réalisé par la méthode CEBTP.

La structure de chaussée retenue est une chaussée souple. Pour la chaussée principale, elle est composée de 5 cm de béton bitumineux en couche de revêtement, 8 cm de grave-bitume de type 2 en couche de base, 20 cm de graveleux latéritique amélioré au ciment pour la 2ème couche de fondation et 15 cm de grave latéritique naturel pour la 1ère couche. Pour les contre-allées et sites propres de bus, la structure comprend 5 cm de béton bitumineux en couche de revêtement, 15 cm de grave latéritique naturel en couche de base et 15 cm en couche de fondation.

L'étude d'assainissement a permis de définir les sections hydrauliques des ouvrages projetés, comprenant deux dalots de 3 × 200 × 150 cm² et un dalot de 3 × 300 × 200 cm², ainsi que des caniveaux extérieurs de différentes sections pour l'évacuation des eaux pluviales, et des caniveaux intérieurs de section 80×80 cm². L'analyse des impacts environnementaux et sociaux a mis en évidence les effets positifs et négatifs du projet, accompagnés de mesures d'atténuation appropriées. Un planning d'exécution des travaux a été élaboré à l'aide de la méthode de PERT.

Enfin, une estimation des coûts a été réalisée, et le budget total estimé pour ce tronçon s'élève à 10 645 532 895 de francs CFA, toutes taxes comprises.

Mots clés : **Dimensionnement, élargissement, environnement, route nationale, sécurité.**

ABSTRACT

Our study focuses on the review of the detailed technical analysis of the widening of National Route No. 2 to a 2x2 lane highway in Burkina Faso between Bissighin, Yagma, and Bassinko, a distance of 4.995 km, more precisely between kilometer points PK05+000 and PK09+995. This project is part of a policy aimed at improving traffic flow, enhancing user safety, and contributing to regional socio-economic development. The main objective is to design and dimension a durable, comfortable, and cost-effective pavement capable of withstanding current traffic loads and local environmental conditions while ensuring user safety and comfort. The planned road is a 2x2 lane paved carriageway, 3.5 m wide, separated by a central median, incorporating a dedicated bus lane, sidewalks, drainage ditches, and service roads on either side of the main carriageway. The geometric design of the urban section was based on the ICTAVRU. The dimensioning of the main pavement was carried out using the CEBTP method of the mechanical pavement design with reference to NF P 98-086. The bus lanes and secondary lanes were dimensioned using the CEBTP method.

The pavement structure chosen is a flexible pavement. The main carriageway consists of a 5 cm asphalt concrete surface course, an 8 cm type 2 asphalt concrete base course, a 20 cm cement-improved lateritic gravel subgrade, and a 15 cm natural lateritic gravel base course. For the service roads and bus lanes, the structure comprises a 5 cm layer of bituminous concrete as a surface course, a 15 cm layer of natural lateritic gravel as a base course, and a 15 cm sub-base course.

The drainage study defined the hydraulic cross-sections of the planned structures, including two culverts measuring 3 × 200 × 150 cm² and one culvert measuring 3 × 300 × 200 cm², as well as external drainage channels of varying cross-sections for stormwater runoff and internal drainage channels measuring 80 × 80 cm². The environmental and social impact assessment highlighted the positive and negative effects of the project, along with appropriate mitigation measures. A construction schedule was developed using the Gantt chart method.

Finally, a cost estimate was prepared, and the total estimated budget for this section amounts to 10,645,532,895 CFA francs, including all taxes.

Key words: **Sizing, widening, environment, national highway, safety.**

LISTES DES SIGLES ET ABREVIATIONS

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

APD : Avant-Projet Détaillé ;

BAEL : Béton Armé aux Etats Limites ;

BB : Béton Bitumineux ;

BCEOM : Bureau d'Etudes pour les Equipements d'Outre-Mer ;

BRT: Bus Rapid Transit;

BV: Bassin Versant;

CAM : Coefficient d'Agressivité Moyen ;

CBR : California Bearing Ratio ;

CEBTP : Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes du Bâtiments et des Travaux Publics ;

Cerema : Centres d'Etudes et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement ;

CERTU : Centre d'Etude sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les Constructions publiques ;

CIE-GC : Cabinet d'Ingénierie et d'Expertise en Génie Civil ;

CIEH : Comité Inter Etats d'Etudes Hydrauliques ;

CRT : Coefficient de Répartition Transversal ;

DAO : Dossier d'Appel d'Offre ;

ELS : Etats Limites de Service ;

ELU : Etats Limites Ultime ;

FCFA : Franc des Colonies Françaises d'Afrique ;

GB : Grave Bitume ;

GLAC : Graveleux Latéritique Amélioré au Ciment ;

GLN : Graveleux Latéritique Naturel ;

HA : Haute Adhérence ;

HT : Hors Taxe ;

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

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et chaussées ;

LNBTP : Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics ;

Mser : Moment fléchissant à l'ELS ;

Mu : Moment fléchissant à l'ELU ;

NE : Nombre d'essieu Equivalent ;

OPM : Optimum Proctor Modifié ;

ORSTOM : Office des Recherches Scientifiques et Techniques d'Outre-Mer ;

PK : Point Kilométrique ;

PL : Poids Lourd ;

RN : Route Nationale ;

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

TdR : Termes de Reference ;

TMJA : Trafic Moyen Journalier Annuel ;

TTC : Toute Taxe Comprise ;

TVA : Taxe sur la Valeur Ajoutée ;

TPC : Terre-Plein Central ;

UTM : Transverse Universelle de Mercator

VL : Véhicule Léger ;

Vr : Vitesse de référence ;

TABLE DES MATIERES

DEDICACES i
REMERCIEMENTS ii
RESUME iii
ABSTRACT iv
LISTES DES SIGLES ET ABREVIATIONS v
TABLE DES MATIERES vii
LISTE DES TABLEAUX x
LISTE DES FIGURES xi
INTRODUCTION GENERALE 1
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET 3
I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL 3
II. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE DE NOTRE PROJET 4
II.1. Localisation de la zone d'étude 4
II.2. Contexte physique de l'étude 5
II.3. Contexte et justificatif du projet 6
II.4. Etat des lieux 7
II.5. Objectif général et objectifs spécifiques de notre étude 9
II.5.1. Objectif général 9
II.5.2. Objectifs spécifiques 9
II.5.3. Résultats attendus 9
CHAPITRE II : METHODOLOGIE DE L'ETUDE 11
I. Matériels 11
II. Méthodes adoptées ou référentiels 12
CHAPITRE III : ETUDE DE FAISABILITE TECHNIQUE 15
I. CONCEPTION GEOMETRIQUE DE LA ROUTE 15
I.1. Introduction 15
I.2. Normes de conception, critère de choix du type et catégorie de la route 15
I.3. Tracé en plan 17

I.4. Profil en long 17
I.5. Profil en travers 18
I.6. Conclusion 21
II. DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL DE LA CHAUSSEE 22
II.1. Introduction 22
II.2. Méthodologie de dimensionnement 22
II.3. Etude du trafic 22
II.3.1. Hypothèse de calcul du trafic 23
II.3.2. Détermination de la classe de trafic 25
II.4. Etude géotechnique 28
II.5. Dimensionnement des couches de chaussée par la méthode CEBTP 30
II.6. Dimensionnement des couches de chaussée par la méthode rationnelle française 31
II.7. Conclusion 37
III. ETUDE HYDROLOGIQUE, HYDRAULIQUE, ET DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES 39
III.1. Introduction 39
III.2. Etude hydrologique 39
III.2.1. Période de retour et données pluviométriques 39
III.2.2. Délimitation et détermination des caractéristiques des bassins versants 40
III.2.3. Méthodologie de calculs des débits 43
III.2.4. Estimation des débits de crue 46
III.3. Etude hydraulique 48
III.3.1. Diagnostic des ouvrages existants 48
III.3.2. Dimensionnement hydraulique 50
III.4. Dimensionnement structurel des ouvrages 53
III.5. Conclusion 57
IV. SIGNALISATION, ET EQUIPEMENT DE SECURITE 58
IV.1. Introduction 58
IV.2. Signalisation routière 58

IV.2.1. Signalisation temporaire 58
IV.2.2. Signalisation Permanente 59
IV.3. Equipements de sécurité routière 62
IV.4. Conclusion 63
CHAPITRE IV : NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL 64
I. Détermination des sources d'impacts 64
II. Identification des principaux impacts positifs et négatifs 64
III. Identification et évaluation des risques du projet 65
IV. Mesure d'atténuation, de compensation et de bonification 65
CHAPITRE V : ETUDE FINANCIERE ET PLANIFICATION DES TRAVAUX 68
I. ETUDE FINANCIERE DU PROJET 68
II. PLANIFICATION DES TRAVAUX 70
CONCLUSION GENERALE 72
RECOMMANDATIONS 74
BIBLIOGRAPHIE 75
ANNEXES 77
ANNEXE I : CONCEPTION GEOMETRIQUE DE LA ROUTE 78
ANNEXE II : ESTIMATION DE LA CLASSE DE TRAFIC DU SITE DE BUS 86
ANNEXE III : ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE 92
ANNEXE IV : DIMENSIONNEMENT STRUCTUREL DES DALOTS 111
ANNEXE V : DIMENSIONNEMENT STRUCTUREL DES CANIEAUX 141
ANNEXE VI : ACTIVITES SOURCES D'IMPACT DU PROJET 150
ANNEXE VII : IDENTIFICATION DES PRINCIPAUX IMPACTS POSITIFS ET NEGATIFS 152
ANNEXE VIII : IDENTIFICATION ET EVALUATION DES RISQUES DU PROJET 157
ANNEXE IX : ETUDE FINANCIERE DU PROJET 159
ANNEXE X : PLANIFICATION DES TRAVAUX 164
ANNEXE XI : PLAN D'EXECUTION DES DALOTS ET CANIVEAUX 166

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Caractéristiques géométriques du tracé en plan 17
Tableau 2: Caractéristiques géométriques des profils en long 18
Tableau 3: Standard des dimensions suivant L'ICTAVRU et valeur adoptée par le projet 19
Tableau 4: Caractéristiques géométriques de la chaussée 20
Tableau 5: Hypothèses de calcul du trafic 24
Tableau 6: Classification du trafic de la chaussée principale 26
Tableau 7: Classification de trafic (toutes catégories de véhicules confondues) 28
Tableau 8 : Classification des sols 29
Tableau 9: proposition des structures de chaussée à l'aide du guide CEBTP 30
Tableau 10: Indice de plasticité et CBR des graveleux latéritiques 32
Tableau 11: Récapitulatif des exigences de la couche d'assise et le sol support 32
Tableau 12: Caractéristiques des matériaux 37
Tableau 13: structure de chaussée retenue 38
Tableau 14: Données pluviométriques utilisées dans le cadre du projet 40
Tableau 15: Caractéristiques des bassins versants (ouvrages transversaux) 42
Tableau 16: Caractéristiques des bassins versants caniveaux (ouvrages longitudinaux) 42
Tableau 17: Coefficient de montana de la zone d'étude 44
Tableau 18: Résultats de calcul des débits des bassins versants par la méthode rationnelle ... 46
Tableau 19: Résultats de calcul des débits des bassins versants par la méthode ORSTOM 47
Tableau 20: Récapitulatif des débits de projet retenus pour les bassins versants 47
Tableau 21: Résultats de calcul des débits pour les sous bassins versants 47
Tableau 22: Récapitulatif des sections dalots retenus 51
Tableau 23: Synthèse des sections des caniveaux 52
Tableau 24: Classe d'exposition de l'ouvrage 53
Tableau 25: Choix du dosage en ciment et la résistance du béton 54
Tableau 26: Récapitulatif des sections d'aciers des cellules du dalot 3*200*150 cm² 56
Tableau 27: Récapitulatif des aciers du caniveau de section 100 x 80 cm² 57
Tableau 28: Signalisation verticale 60
Tableau 29: Caractéristiques des lignes (signalisation horizontale) 62

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation de la zone d'étude 5
Figure 2: Etat des lieux de la voirie 8
Figure 3: Simulation n° 1 Alize, déformation Epsi z non vérifiée 34
Figure 4: Simulation n° 2 Alize, déformation Epsi z vérifiée 35
Figure 5: Simulation n° 3 Alize, déformation Epsi z vérifiée 36
Figure 6: Pluies annuelles et maximales en 24h à la station de Ouagadougou – 1987-2016 40
Figure 7: Délimitation des bassins versants 42
Figure 8: Diagnostics des ouvrages transversaux existants 49
Figure 9: Méthodologie de dimensionnement hydraulique d'un dalot 51
Figure 10: Signalisations temporaires 59
Figure 11: Signalisation horizontale 61

INTRODUCTION GENERALE

Les infrastructures routières jouent un rôle important dans le développement socio-économique, en facilitant la mobilité des personnes et des biens, les échanges commerciaux et la croissance des activités économiques. Les villes, en particulier les capitales, regroupent les activités administratives, industrielles et commerciales, mais leurs taux de croissance rapide génèrent certains défis en matière de mobilité urbaine. Au fil des années, la croissance démographique et l'urbanisation rapide ont considérablement accru les besoins en infrastructures de transport au Burkina Faso, notamment dans la ville de Ouagadougou. L'augmentation du trafic, conduit à la dégradation progressive des voies existantes, rendant indispensable la modernisation de certains axes stratégiques afin de répondre efficacement aux exigences de circulation et de sécurité. C'est dans ce cadre que s'inscrit le projet d'élargissement et de modernisation de la Route Nationale n°2 RN02, allant du rond-point de la Jeunesse à la voie de contournement nord sur une distance totale de 15,9 km. Il vise à améliorer la fluidité de la circulation, renforçant la sécurité des usagers et participant au développement socio-économique régional.

Dans le souci d'améliorer la sécurité des usagers et des riverains tout en assurant une meilleure structuration du réseau routier dans la zone, nous avons mené cette étude intitulée : **« Revue de l'étude technique détaillée des travaux d'élargissement de la route nationale n°2 en 2*2 voies au Burkina Faso, intégrant les sites propres de bus et les voies de contre-allée : Tronçon Bissighin-Yagma-Bassinko, long de 4,995 Km »**. Cette étude a pour objectif principal de concevoir et dimensionner une chaussée durable, confortable et économiquement viable, capable de supporter la charge du trafic actuelle et future tout en résistant aux conditions environnementales locales. Ainsi, ce mémoire vise à répondre à une question fondamentale : Comment concevoir une infrastructure routière urbaine en contexte sahélien, capable de supporter un trafic croissant tout en garantissant sécurité, assainissement efficace et maîtrise des coûts ?

Dans l'optique de concrétiser l'objectif principal, une démarche méthodologique rigoureuse a été mise en œuvre. Pour ce faire, nous avons structuré notre travail en cinq chapitres :

- Le premier chapitre décrit la structure d'accueil et la zone d'étude du projet ;
- Le deuxième chapitre décrit les matériels et la méthodologie de conception adoptée ;

- Le troisième chapitre traite de l'étude de faisabilité technique notamment concevoir les différents tracés de la route, dimensionner la structure de chaussée, étudier l'hydrologie et l'hydraulique, dimensionner les ouvrages d'assainissement, proposer des aménagements adéquats (signalisation routière et éclairage publique) ;
- Le quatrième chapitre aborde la notice d'impact environnemental et social ;
- Enfin, le cinquième chapitre est consacré à l'estimation financière et à la planification des travaux.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET

Introduction

Dans ce chapitre, nous aborderons d'une part la présentation de la structure d'accueil et d'autre part, nous présenterons la zone d'étude de notre projet.

I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

La structure qui nous a accueillis en son sein afin de mener à bien notre réflexion est le Cabinet d'Ingénierie et d'Expertise en Génie Civil (CIE-GC), dirigé par Sana Issa NANA, Directeur Général. Le cabinet CIE-GC œuvre principalement dans des domaine clé du génie civil.

Les principaux objectifs du cabinet CIE-GC sont :

- Définir et valoriser les grandes lignes de recherche en matière de génie civil ;
- Conquérir le marché extérieur dans ses aires de prédilection ;
- Assurer la promotion des actions pour le bien être du personnel.

Le cabinet CIE-GC s'inscrit dans un cadre multisectoriel et s'articule aux tours des domaines suivants :

- Infrastructure de transport
- Bâtiment et structure
- Génie environnementale et sociale

II. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE DE NOTRE PROJET

II.1. Localisation de la zone d'étude

Le projet d'élargissement et de modernisation de la RN02 d'une longueur d'environ 15,9 Km, est situé dans la commune de Ouagadougou et de Pabré de la province de Kadiogo. Elle prend son origine au rondpoint de la jeunesse et prend fin 600 mètres après l'intersection de la voie de contournement. Elle traverse respectivement l'arrondissement n°3 (Tampouy, Kilwin, Rimkiéta et Bissighin), l'arrondissement n°8 (Bassinko), l'arrondissement n°3 (Watinooma et Yagma), la commune rurale de Pabré (Sabtenga) et la commune rurale de Sourgoubila (Nakamtenga). Le projet d'élargissement et de modernisation de la RN2 a pour objectifs entre autres :

- D'assurer une liaison rapide et directe entre le centre-ville et les quartiers de banlieues Nord de Ouagadougou ((Tampouy, Kilwin, Rimkiéta, Bissighin, Bassinko, Watinooma, Yagma, Sabtenga et Nakamtenga) ;
- De fluidifier la circulation et minimiser les pertes de temps engendrées par les importants embouteillages ;
- D'améliorer les conditions de sécurité des usagers de la route ;
- De contribuer à l'amélioration de la qualité de vie des populations et de réduire les nuisances sonores, et atmosphériques en améliorant la fluidité du trafic automobile.

Ainsi, le tronçon que nous nous sommes intéressés pour notre mémoire de fin d'étude est le long de 4,995 Km. Il débute au Pk05+000 et prend fin au Pk09+995 traversant les localités telles que Bissighin-Yagma-Bassinko. La zone d'étude est définie par des coordonnées planimétriques exprimées dans le système de projection UTM Zone 30 N dont le début du tronçon est (X=650808,026 m ; Y=1370971,197 m) ; et la fin du tronçon (X=647025,725 m ; Y=1370064,564 m). La figure ci-dessous présente l'emplacement de notre zone d'étude.

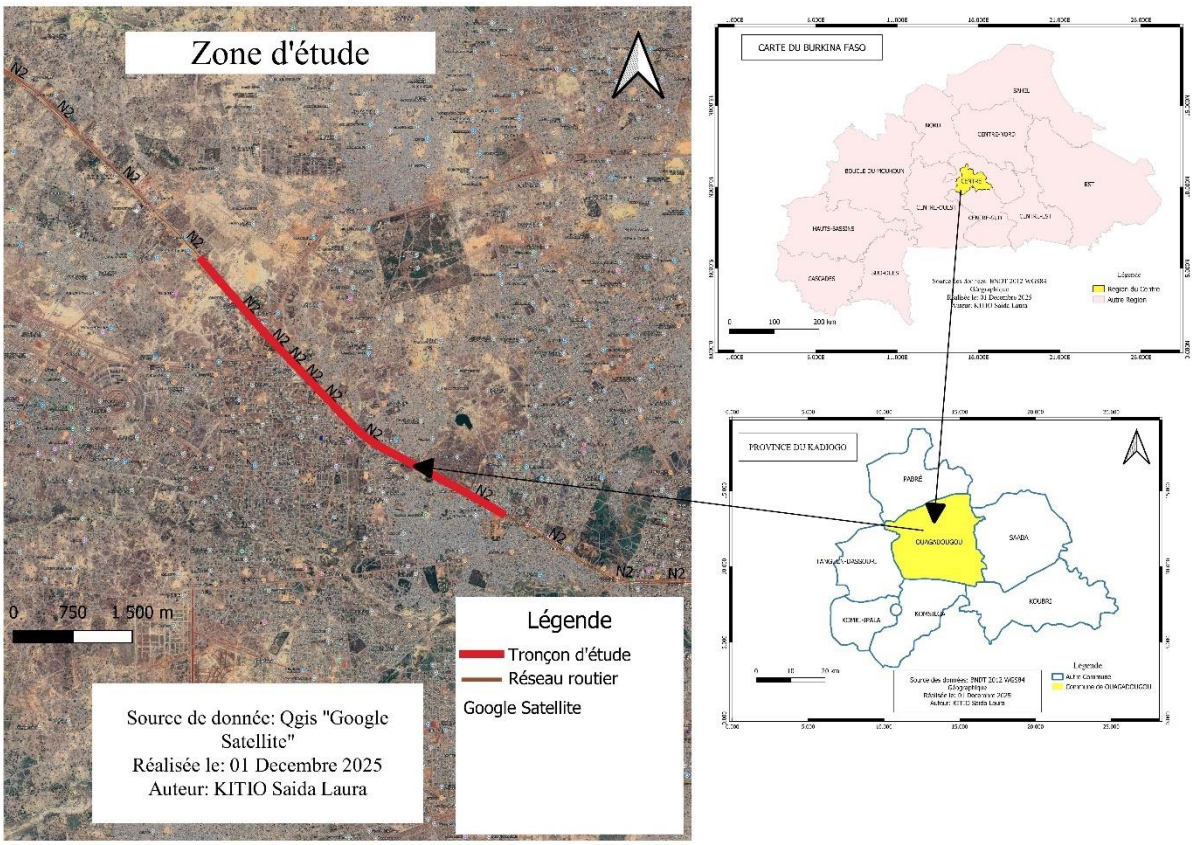


Figure 1: Localisation de la zone d'étude

II.2. Contexte physique de l'étude

II.2.1. Climat

Avec un climat tropical de type soudano-sahélien, la zone du projet est caractérisée par :

- Une saison sèche de novembre à avril-mai ;
- Une saison de pluies de mai-juin à octobre ;
- Des vents dominants dont l'harmattan qui souffle en saison sèche et la mousson qui prend la relève en apportant les pluies ;
- Des pluviométries annuelles moyennes variant entre 650 et 1000 mm ;
- Des températures chaudes dont les plus fortes dépassent souvent les 38°C à l'ombre pendant les mois de mars et d'avril ;
- Des températures basses en décembre, janvier, situées autour de 20°C à 22°C.

II.2.2. Végétation

Avec l'urbanisation de la zone, la végétation naturelle est quasi inexistante dans les environs

immédiats des tronçons de routes du projet. Seules des plantations d'alignements d'arbres existent à certains endroits de part et d'autre.

II.2.3. Sols

De façon générale, les sols de la zone sont constitués de sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions (sablo-argileux) et de sols peu évolués d'érosion sur matériaux gravillonnaires (généralement sableux en surface). Ces sols sont par endroits et parfois pollués par des rejets de déchets solides (sachets plastiques, morceaux de ferrailles, etc.) et liquides (eaux usées, hydrocarbures, etc.).

II.3. Contexte et justificatif du projet

La ville de Ouagadougou, capitale du Burkina Faso et située au centre du pays, est confrontée aux énormes problèmes dues à la croissance urbaine et spatiale. Cependant, la RN02 fait partie des accès principaux de Ouagadougou, la reliant à plusieurs zones d'échanges commerciaux. L'état actuel du réseau routier de la zone est préoccupant, et cette situation entraine un déséquilibre entre les besoins des citadins et les capacités offertes en termes d'infrastructures routières adaptées au trafic.

À cet effet, force est de constater que la sortie Nord de Ouagadougou reliant la voie de contournement, connait actuellement un encombrement élevé de la circulation, avec des risques accrus d'accidents et un accroissement de la pollution, etc. Pour lever ces contraintes, le Gouvernement du Burkina Faso à travers le Ministère des Infrastructures et du Désenclavement (MID) a donc mis en place le présent projet dans le cadre de l'élargissement des routes nationales aux sorties de Ouagadougou. C'est dans ce cadre que les travaux d'élargissement et de modernisation de la route nationale n°2 de 2*2 voies sur un linéaire total de 15,9 Km voient le jour.

Dans le cadre de notre mémoire, nous avons porté une attention particulière au tronçon Bissighin-Yagma-Bassinko, long de 4,995 Km situé entre le PK 05+000 et le PK 09+995. Ce choix se justifie par le fait que les travaux n'y avaient pas encore débutés dans cette zone. Par ailleurs, ce tronçon présente d'importants défis en matière d'assainissement et de circulation. En effet, on y observe les stagnations d'eau et les inondations récurrents sur certains endroits lors des Précipitations. Ces dysfonctionnements s'expliquent principalement par l'absence d'ouvrages de drainage des eaux pluviales (caniveaux), ou par l'insuffisance de sections

hydrauliques existants (dalots). Ceci compromet à la fois l'évacuation efficace des eaux pluviales et la fluidité du trafic routier.

II.4. Etat des lieux

Le projet d'élargissement de la RN2 concerne un linéaire total d'environ 15,9 km, qui prend son origine au rondpoint de la jeunesse et prend fin 600 mètres après l'intersection de la voie de contournement de Ouagadougou. Une reconnaissance de la zone d'étude a eu lieu afin de s'enquérir de l'état physique actuel du tronçon et des éventuels réseaux existants ; et noter toutes les informations utiles susceptibles d'apporter des éléments nouveaux à la conduite de l'étude.

Dans le cadre de ce mémoire, l'analyse portera sur le tronçon Bissighin-Yagma-Bassinko situé entre le PK 05+000 et le PK 09+995 (zone d'étude du projet).

- État des lieux de la voirie et des réseaux d'assainissement

Cette section traverse une zone urbaine marquée par une urbanisation rapide, la présence de nombreuses habitations, commerces et activités diverses à proximité occupés de manière anarchique par les riverains. Du PK 05+000 jusqu'au PK6+400, la chaussée présente une configuration en 1x2 voies avec une largeur de plateforme comprise entre 7 et 9 m ; et à partir du PK 06+400 une largeur comprise entre 9 et 11 m. On observe des dégradations par endroits au niveau de la couche de revêtement, des dégradations latérales des accotements ainsi que de l'érosion au niveau des talus, et l'absence ou l'insuffisance des ouvrages d'assainissement entraînant des stagnations d'eau et inondations en saison pluvieuse. Ces caractéristiques accentuent les risques d'accidents et contribuent à la congestion du trafic car l'état actuel de la voirie ne répond plus à la demande de la population. Voici quelques images de l'état des lieux de la zone du projet.



Photo 1 : Occupation anarchique des accotements au niveau du PK 06+ 300



Photo 2 : Aperçu de dégradations latérales de la plateforme



Photo 3 : Aperçu de dégradations sur la chaussée



Photo 4 : Vue du Poste de péage au fin PK

Figure 2: Etat des lieux de la voirie

- État des lieux du réseau électrique et de l'éclairage public

On observe le long du tronçon des réseaux électriques aériens implantés en bordure de chaussée qui sont ceux de la SONABEL, constituant un élément important à prendre en compte dans la planification des travaux. Ces équipements comprennent principalement des lignes de basse tension (BT) ainsi que des lignes de moyenne tension (MT), localisées essentiellement à droite du tronçon. Dans le cadre des travaux d'élargissement, ces réseaux constituent une contrainte technique majeure, car leur position actuelle empiète sur l'emprise projetée de la chaussée. Leur déplacement ou leur réaménagement s'impose non seulement pour libérer l'espace nécessaire aux nouvelles plateformes, mais également pour garantir la sécurité des usagers et préserver la continuité du service électrique.

De plus l'éclairage public est observé à travers des candélabres simples (profil en 1x2 voies) disposés latéralement sur le bord de l'accotement.

- État des lieux de la signalisation lumineuse

Le tronçon étudié est dépourvu de feux tricolores, ce qui limite la régulation des carrefours et des traversées piétonnes entrainant ainsi les risques de conflits entre usagers.

- État des lieux du Réseaux AEP (Assainissement d'Eau Pluvial)

Le réseau d'eau présent sur le tronçon est la propriété de l'ONEA (Office National de l'Eau et de l'Assainissement). Il comprend des conduites, des réseaux de distribution, et des regards situés le long de la chaussée existante.

II.5. Objectif général et objectifs spécifiques de notre étude

II.5.1. Objectif général

L'objectif général est de concevoir et de dimensionner une chaussée durable, confortable et économique, capable de supporter les charges de trafic actuel et de résister aux conditions environnementales locales tout en assurant la sécurité et le confort des usagers.

II.5.2. Objectifs spécifiques

Afin de bien mener notre étude et d'atteindre l'objectif général, les objectifs spécifiques ont été établis comme suit :

- Evaluer l'état actuel de l'infrastructure routière en question ;
- Faire une conception géométrique de la route et un dimensionnement de la structure de chaussée ;
- Faire une étude hydrologique et hydraulique, puis dimensionner les ouvrages pour l'assainissement de la voie ;
- Proposer des aménagements adéquats (signalisation, et équipement de sécurité routier) ;
- Réaliser une notice d'impact environnemental et social ;
- Faire une estimation financière de l'ensemble du projet ainsi qu'un planning détaillé des travaux.

II.5.3. Résultats attendus

A la fin de ce stage, les résultats attendus sont :

- L'état actuel de l'infrastructure routière est évalué ;

- Une conception géométrique et un dimensionnement optimisé de la structure de chaussée sont proposés ;
- Une étude hydrologique et hydraulique aboutissant au dimensionnement des ouvrages d'assainissement est réalisée ;
- Des propositions d'aménagements adaptés incluant la signalisation et les équipements de sécurité sont faites ;
- La rédaction d'une notice d'impact environnemental et social est faite ;
- Une estimation financière du projet suivie d'une planification détaillée des travaux sont proposées.

Conclusion partielle

La présentation de la structure d'accueil a permis de mettre en évidence les différents secteurs d'activités, ainsi que les objectifs clés du cabinet CIE-GC n'ayant pas accès à plus d'information. Par ailleurs la présentation de la zone d'étude du projet a permis de situer le projet dans son contexte géographique, technique et socio-économique, faire un état des lieux, définir l'objectif général relatif à notre tronçon, définir les objectifs spécifiques et les résultats attendus.

CHAPITRE II : METHODOLOGIE DE L'ETUDE

Introduction

Ce chapitre présente les matériels utilisés et les méthodes adoptées ou référentiels utilisés pour la réalisation de cette étude.

I. Matériels

Ils s'agirent des supports qu'ils soient physiques ou numériques et des outils utilisés pour la collecte, le traitement et l'analyse des données ayant contribué à la rédaction du présent mémoire.

I.1. Supports physiques et numériques

- Recherche documentaire

La recherche documentaire consiste à identifier, collecter et analyser des informations existantes sur un sujet donné tels que les cours, les documents de thèse, les guides, les normes ou fascicules, et les mémoires précédents.

- Collecte des données

La collecte des données correspond au processus de rassemblement des informations nécessaires à l'analyse de données. Nous avons entre autres les données liées à notre projet notamment les données topographiques, géotechniques ainsi que celles relatives au trafic, hydrologiques, environnementales et spécifications techniques du CCTP (Cahier des Clauses Techniques Particulières). Ces informations seront ensuite traitées et exploitées.

I.2. Outils de traitements de données

Pour le traitement de nos données et la rédaction de notre mémoire, nous avons utilisé les outils informatiques suivants :

- MICROSOFT OFFICE (Word, tableur Excel, PowerPoint, MS-Project) : pour les calculs, la planification, la rédaction du rapport et le traitement des données ;
- Covadis : pour les différentes conceptions longitudinales, transversales et planes ;
- ALIZE LCPC : pour la vérification de la structure de chaussée ;
- GOOGLE EARTH : pour le tracé de notre tronçon ;

- Global Mapper : pour la délimitation et la caractérisation des bassins versants et sous bassins versants ;
- QGIS : pour la localisation de notre zone d'étude ;
- HYFRAN Plus : pour la détermination des pluies maximales journalières décennales ;
- CYPE : pour le dimensionnement de tous les dalots ;
- AUTOCAD : pour le dessin des plans de ferraillage ;
- ZOTERO : pour la citation des documents utilisés.

II. Méthodes adoptées ou référentiels

Elle s'articule autour de plusieurs étapes complémentaires permettant de garantir la faisabilité technique, économique et environnementale du projet.

- Méthode de dimensionnement structurel de la chaussée

Le dimensionnement des voies a été réalisé suivants deux méthodes. Celui de la chaussée principale a été réalisé par la méthode CEBTP et par la méthode rationnelle française de dimensionnement mécanique des chaussées en référence à la NF P 98-086. Tandis que les voies dédiées aux contre-allées et sites propres bus ont été réalisées par la méthode CEBTP uniquement. La méthode CEBTP-guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, repose sur la prise en compte de la classe de trafic fonction du trafic en nombre de passage d'un essieu standard de 13t ou du trafic en nombre de véhicule par jour, et la prise en compte de la classe de portance fonction du CBR. En revanche, la méthode rationnelle française repose sur la modélisation multicouche de la chaussée grâce au logiciel Alizé-LCPC, afin de calculer les contraintes et déformations induites par le trafic converti en essieu équivalent de 13 T. Une vérification des valeurs admissibles de chaque matériau est ensuite faite afin d'ajuster la structure de chaussée jusqu'à conformité des exigences de dimensionnement**.**

- Prescriptions techniques relatives à la conception géométrique

La conception géométrique a été réalisé en prenant en compte les principes de L'ICTAVRU (Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines). Ensuite à l'aide des données topographiques et du logiciel Covadis associé à Autocad, nous avons effectué le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers. Ces éléments permettent de déterminer les rayons de courbure, les pentes, les largeurs de voies, les accotements et les dispositifs de drainage.

- Prescription et réglementation relative à la signalisation routière

Elle vise à garantir la sécurité, la fluidité de la circulation et la bonne information des usagers. La signalisation routière sera établie conformément aux réglementations en vigueur notamment aux dispositions du code de la route et des spécifications techniques du CCTP.

- Méthode de détermination des débits (étude hydrologique).

Etude hydrologique vise à analyser le comportement des écoulements d'eau dans la zone du projet, afin de déterminer les différents débits à prendre en compte pour permettre à la chaussée d'être hors d'eau tout le long de sa durée de service. Le logiciel global mapper associé à Google Earth sera utilisé pour identifier et caractériser les différents écoulements traversant notre chaussée. Nous déterminerons par la suite les débits des bassins versants et sous bassins versants à l'aide de la méthode rationnelle, la méthode de caquot et la méthode de ORSTOM.

- Etude hydraulique

Sur la base des données hydrologiques, l'étude hydraulique permet de déterminer les différentes sections d'ouvrages d'assainissement que nous devrons prévoir pour permettre l'évacuation des eaux. Nous allons utiliser le guide « BCEOM hydraulique routier » pour le dimensionnement des sections hydrauliques des dalots et le guide technique SETRA « Assainissement routier » pour celui des caniveaux. Nous allons par la suite passer au dimensionnement structural de ces ouvrages.

- Notice d'impact environnemental et social

Dans le souci de préserver l'environnement, une notice d'impact environnemental et social a été réalisée dans le cadre de ce projet. Elle a été conduite conformément aux principes du développement durable et aux exigences réglementaires en vigueur au Burkina Faso. Nous avons procédé à l'identification des impacts potentiels à chaque phase du projet, Identifier et évaluer les risques du projet. Des mesures ont ensuite été proposées afin de bonifier les impacts positifs, et d'atténuer ou compenser les impacts négatifs.

- Etude financière

Il s'agit de faire une évaluation globale du coût du projet en déterminant les quantités des matériaux et les prix unitaires de chaque tâche. Les prix ont été extraits du code 03.3.6 du mercurial des prix, relatif à la « construction des routes bitumées ».

- Méthode d'élaboration du planning d'exécution des travaux

La planification du chantier consiste à organiser les différentes phases d'exécution du projet, à répartir les ressources nécessaires et à établir un calendrier prévisionnel, afin d'optimiser les délais et d'assurer la qualité du travail. Nous distinguons plusieurs types de méthodes qui peuvent être utiliser pour élaborer un planning à savoir : la méthode PERT, la méthode de potentiels et la méthode chemin de fer. Pour notre projet, nous allons opter pour la méthode PERT, car elle permet de gérer plusieurs taches à la fois.

Nous procéderons par le découpage chronologique et structuré du projet en des éléments d'ouvrage tels que lots, corps d'état et tâches. Pour ce fait, on passe d'une division sommaire à un niveau de division plus détaillé (tâches ou activités), on calcule les durées de chaque tâche, on fixe le type de liaison et on affecte ainsi les différentes ressources nécessaires pour sa réalisation. Pour élaborer un planning d'exécution, nous devons tenir compte des moyens matériels, des ressources disponibles, des spécificités du projet, et des phénomènes naturels qui peuvent survenir.

Les étapes pour l'élaboration de notre planning d'exécution sont :

- Découper le projet de façon structurée et chronologique ;
- Faire de façon échelonnée la liste des différentes tâches à réaliser ;
- Déterminer la durée d'exécution de chaque tâche en fonction du rendement de chaque matériel, les temps unitaires d'exécution et de quantité de travail à réaliser ;
- Définir les liens de dépendance entre les différentes tâches en suivant un ordre chronologique de déroulement des travaux (relations d'antécédence ou succession) ;
- Affecter des différentes ressources nécessaires pour la réalisation de chaque tâche ;
- Elaboration du planning.

Cette tâche a été effectuée en prenant en compte le planning provisionnel de l'entreprise.

Conclusion partielle

La méthodologie présentée dans ce chapitre constitue la base de notre étude. Elle permettra d'aborder plus efficacement l'étude de faisabilité technique en vue d'obtenir des résultats conformes aux exigences du projet, ainsi que la notice d'impact environnement et social, l'estimation financière et la planification des travaux.

CHAPITRE III : ETUDE DE FAISABILITE TECHNIQUE

Introduction

Dans ce chapitre, nous aborderons l'étude de faisabilité technique en vue d'obtenir des résultats conformes aux exigences du projet et d'en assurer une interprétation. Elle portera sur la conception géométrique de la route, le dimensionnement structurel de la chaussée, les études hydrologiques et hydrauliques de la zone d'étude pour le dimensionnement des ouvrages d'assainissement, ainsi que la signalisation routière.

I. CONCEPTION GEOMETRIQUE DE LA ROUTE

I.1. Introduction

La conception géométrique constitue une étape importante dans la réalisation d'un projet routier. Elle consiste à définir les caractéristiques géométries et dimensionnelles de la route dans le but d'assurer la sécurité, l'efficacité et le confort des usagers. Cette phase tient compte des diverses contraintes techniques, environnementales et réglementaires propre au projet. Elle s'appuie notamment sur la définition de la vitesse de référence, le choix du type et de la catégorie de la route, ainsi que l'élaboration du tracé en plan, du profil en long et du profil en travers.

I.2. Normes de conception, critère de choix du type et catégorie de la route

- Normes de conception

Le principal document de référence qui a été utilisé pour l'étude de la voirie est :

- L'ICTAVRU (Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines) des éditions du CERTU (Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques) - version de Mars 2009 - qui guide la conception des voies rapides urbaines (VRU) (1).

- Critère de choix du type et catégorie de la route

Par ailleurs, il est parfois difficile de définir le caractère « urbain » de certaines infrastructures en fonction des données administratives ou géographiques, d'autant que leur environnement est susceptible d'évoluer avec le temps. Le choix du caractère « urbain » tient compte dans la majorité des cas de l'action combinée de plusieurs des critères présentés ci-après :

a) Nature et évolution du site : concernant la traversée des zones urbanisés actuelles ou futures

Le projet d'élargissement de la RN2 s'inscrit dans un environnement territorial en plein évolution. La route traverse une zone d'agglomération et, on constate que les accotements et les abords de la chaussée sont occupés de manière anarchique par les riverains (commerces et activités diverses). Avec l'évolution rapide de la ville de Ouagadougou, il est fortement prévisible que toute la zone du tronçon se retrouve lotie. Nous ferons donc notre conception en tenant compte de cet aspect.

b) Interception forte entre la voie et le site : concernant les effets de structuration ou de coupure, perception et nuisances

Ceci fait référence aux impacts directs de l'infrastructure routière sur son environnement immédiat. Les effets de structuration ou de coupure, perception et nuisances sont variés et nombreux. L'élargissement de la RN2 implique en effet une emprise de chaussée nettement supérieure à l'existante, dans le but de fluidifier les échanges et d'améliorer la mobilité. Toutefois la proximité immédiate des habitations le long du tracé constitue une contrainte majeure, pouvant conduire à de nombreuses démolitions.

c) Nature des trafics : concernant de forte proportion de trafics d'échanges ou local

Le projet de la RN2 sur lequel nous travaillons, assure une liaison directe entre le centre-ville et les quartiers de banlieues Nord de Ouagadougou. Le trafic moyen poids lourds de la voie à l'année de comptage 2021 est de 521 PL/j.

Cela dit, les prescriptions de l'Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines (ICTAVRU) s'imposent aux infrastructures à statut d'autoroute ou de route express réalisées par l'État en milieu urbain (1). L'ICTAVRU distingue deux (02) catégories de voies lesquelles sont :

- Les voies à caractéristiques autoroutières (VCA) de type A ;
- Les grandes voies (non VCA) de type U.

Selon le document ICTAVRU (1) et les caractéristiques de notre route, elle est de catégorie VRU-type U60 et de vitesse de référence Vr 60 km/h car elle présente les points suivants :

- Relations fonctionnelles avec un site très urbanisé ou à devenir très urbanisé ;

- Trafics d'échanges et locaux prépondérants ;
- Points d'échanges fréquents assurant une bonne irrigation du tissu traversé ;
- Intégration éventuelle dans leur emprise, mais de façon séparée des chaussées (contre allées), d'aménagements pour deux-roues légers et piétons, ainsi que d'arrêts TC.

I.3. Tracé en plan

Le tracé en plan est une projection de la route sur un plan horizontale. Il correspond à une vue aérienne de la route. Pour le tracé de notre route, nous avons utilisé les caractéristiques minimales du tracé des voies de type U60 qui sont consignées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1: Caractéristiques géométriques du tracé en plan

Catégorie	Valeur-U60
Rayon minimal	120m
Rayon non déversé	200m

Source : L'ICTAVRU

- L'axe en plan projeté est centré dans l'emprise et se raccorde aux aménagements existants.
- Six (06) raccordements sont projetés sur la chaussée principale, de rayons variants entre 800 et 10 000 m.
- Les contre-allées ont été projetées en fonction de la géométrie de l'axe en plan de l'axe principale.
- Aucun point singulier n'est à noter.

Les résultats du tracé en plan sont présentés **en annexe I, dans le tableau I.**

I.4. Profil en long

L'étude du profil en long ne se fait qu'après complète définition de l'axe du tracé en plan. Par définition, le profil en long est une coupe verticale effectuée le long du tracé en plan et caractérisé par les rampes, les pentes et les paraboles qui les relient. Il est obtenu en utilisant le fond de plan altimétrique sur lequel a été tracé l'axe du tracé en plan. Nous avons effectué le profil en long de notre route sur le logiciel Covadis en tenant compte des normes et principes

de l'ICTAVRU. Dans le cas des voies de type U 60 et de Vr 60km/h, nous avons les caractéristiques suivantes :

Tableau 2: Caractéristiques géométriques des profils en long

Catégorie	**U60**
Déclivité moyenne	6%
Rayon normal en angle saillant	2500 m
Rayon minimal en angle saillant	1500 m
Rayon normal en angle rentrant	1500 m
Rayon minimal en angle rentrant	800 m

Source : L'ICTAVRU

Les résultats du profil en long sont présentés **en annexe I, dans le tableau II.**

I.5. Profil en travers

Le profil en travers est une coupe transversale de l'axe de la route permettant de représenter la structure de la route dans sa largeur. On distingue le profil en travers type et le profil en travers courant.

a) Profil en travers type

Le profil en travers type définit les différentes composantes de la voirie. Il doit à la fois offrir des possibilités de dépassement, d'implantation des équipements routiers et de circulation des différents usagers (piétons, 2R, véhicules légers, poids lourds, …) tout en maintenant un niveau de sécurité acceptable pour tous les usagers. Il doit également s'intégrer dans son environnement et rendre la voirie accessible aux riverains. Le profil en travers type présente également le système d'assainissement longitudinal projeté et le traitement de toute l'emprise. Le standard minimal est de 2 x 2 voies pour la catégorie U60.

Pour assurer son bon fonctionnement, un standard minimal ou normal des dimensions doit être respecté. Suivant le respect des prescriptions de l'ICTAVRU (1), nous avons effectué une comparaison entre les valeurs normales ou minimales, et les valeurs adoptées dans le cadre de ce projet. Cette comparaison des valeurs est présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3: Standard des dimensions suivant L'ICTAVRU et valeur adoptée par le projet

Eléments	Norme sur les voies de type U			Valeur du Projet selon les exigences du maitre d'œuvre	
	Valeur normale	Valeur minimale	Observations	Valeur adoptée	Observations
Largeur d'une voie de la chaussée	3,5 m	3 m	Peut être ramenée à 3,00 m notamment pour les voies U60	3,5 m	Offre une de bonnes conditions de circulation à la vitesse de référence choisie
Largeur du TPC (Bande médiane)	-	0,60 m	Dépend des équipements prévus ou des fonctions à assurer	2	Valeur accès suffisante pour jouer le rôle de refuge piéton
Largeur du trottoir	-	-	Dépend des fonctions à assurer	2 m	Permet d'assurer le croisement de deux piétons sans gêne
Largeur d'une piste cyclable	2 m	1,50 m	2m si unidirectionnelle	6 m	Offre de bonne condition de circulation car la voie est réservée aux bandes cyclables + Véhicules particulières
Largeur d'un site propre bus	-	-	-	4 m	Offre de bonnes conditions de circulation compte tenu du gabarit des bus

Les caractéristiques géométriques du profil en travers de notre route sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4: Caractéristiques géométriques de la chaussée

	Eléments	Largeur d'éléments
Chaussée principale	Chaussée de 2x2voies de 3.5m de large	2*7
	BDG	2*0,25 m
	BDD	2*0,25 m
	Pente de la chaussée	2,5%
TPC	Bande médiane (TPC)	2 m
	Pente du TPC	1%
Site propre réservé au bus ou BRT de part et d'autre de la chaussée	Largeur	2*4 m
	Bordure séparatrice	2*0,30 m
	Bordure T2+CS2	2*0,40 m
	Pente du BRT	2,5%
Trottoir entre les BRT et la piste cyclable	Largeur trottoir	1*2 m
	Bordure T2	2*0,15 m
	Pente	1%
	Caniveau	2*0.80 m
Voies de contre-allées	Largeur de la bande cyclable+ VP	2*6 m
	Bordure T2	2*0,15 m
	Pente de la piste cyclable+ VP (véhicules particuliers)	2,5%
	Largeur du trottoir	2*4 m
	Bordure P3	2*0,15 m
	Pente du trottoir	1%

	Caniveaux extérieurs	Variable

Source : Prescriptions techniques du projet

b) Profils en travers courants.

Ils mettent en évidence la composition et des dimensions de l'ensemble des éléments structurels de la chaussée (largeur et devers de chaque demi chaussée, largeur et devers des accotements, talus, caniveaux, aménagement pour piétons et cyclistes…).

Les profils en travers type et courant ainsi que le tracé combiné du projet, sont intégrés dans l'annexe I du document.

I.6. Conclusion

Ce chapitre a permis de proposer une conception géométrique de la route suivant les prescriptions de l'ICTAVRU. Nous avons ainsi effectué le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers en tenant compte de la norme, des contraintes environnementales et techniques liées au site.

II. DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL DE LA CHAUSSEE

II.1. Introduction

Il a pour objectif d'analyser et de déterminer les caractéristiques ainsi que l'épaisseur des différentes couches qui constituent la chaussée. Il s'agit de concevoir une chaussée durable, capable de supporter les charges générées par le trafic et les variations climatiques pendant sa durée de vie en optimisant le choix des matériaux (prenant en compte des matériaux disponibles localement) afin de réduire les coûts. Les zones concernées par le dimensionnement structural de la voirie sont la chaussée principale, les sites propre bus et les voies de contre-allées.

II.2. Méthodologie de dimensionnement

L'approche méthodologie adopté s'appuie sur les recommandations et prescriptions issues des documents et normes en vigueur en République Française, notamment celle du Centre Expérimental de Recherche et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP).

Il s'agit principalement :

- Du guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux CEBTP 1984 utilisé pour le prédimensionnement de la chaussée. Il s'agit principalement de déterminer la classe de trafic et de portance du sol en place, qui permettront de proposer une structure de chaussée (2).
- De la Norme Française NF P 98-086 pour déterminer les contraintes et les déformations admissibles (3) ;
- Du guide SETRA-LCPC « Conception et dimensionnement des structures de chaussée : Guide technique, 1994 » pour la détermination du CRT (coefficient de répartition transversale) et du CAM (Coefficient d'agressivité moyen) (4) ;
- Du logiciel de dimensionnement de structures de chaussées ALIZE-LCPC pour le calcul et la vérification des contraintes et déformations admissibles vis-à-vis des valeurs maximales.

II.3. Etude du trafic

Elle a pour but d'identifier et de quantifier pour chaque sens de circulation, les différents types de véhicules empruntant la route à une date précise, puis d'en estimer l'évolution à des échéances futures en tenant compte des changements de comportements et de l'activité humaine.

Concernant la répartition du trafic sur l'itinéraire, selon de guide pratique de dimensionnement de chaussée pour les pays tropicaux à la page 22 :

« Si la route a moins de 7 m de largeur, on prend en compte le trafic dans les deux sens de circulation ; mais lorsque la route fait plus de 7m de large, ou si les voies sont à circulation unidirectionnelle, le trafic dans le sens le plus chargé sera considéré » (2).

Etant donné que nous travaillons sur un projet d'élargissement des voies (2x2 voies de 3,5 m de large), nous considérons donc le trafic dans le sens le plus chargé.

D'après les données de comptages établies par le consultant, le trafic moyen journalier annuel (TMJA) enregistré à l'année de comptage 2021 est de 5478 véhicules par jour (VL/j) et de 521 poids lourds par jour (PL/j). Toutefois nous considérons pour le dimensionnement de notre chaussée des véhicules lourds, c'est-à-dire un TMJA de 521 PL/j/sens en raison de leur impact considérable sur la chaussée qui peut causer des dommages tels que :

- Usure superficielle de la couche de roulement ;
- Fatigue des couches ;
- Formation d'ornière des couches liées ;
- Accumulation des déformations permanentes au niveau du support.

II.3.1. Hypothèse de calcul du trafic

Le coefficient de répartition (CRT) et le coefficient d'agressivité moyen (CAM) sont issus du guide technique « conception et dimensionnement des structures de chaussée du SETRA-LCPC France-édition 1994 » (4).

- Coefficient de répartition transversale (CRT)

Le coefficient de répartition transversale est un facteur de pondération du trafic qui permet de prendre en compte la manière dont les véhicules lourds se répartissent sur les différentes voies. L'application de ce coefficient permet d'ajuster le calcul du nombre d'essieux équivalents aux conditions réelles d'exploitation, évitant ainsi un surdimensionnement de la chaussée (surestimation des besoins en matériaux). Il est obtenu en fonction du type de routes et les critères de choix de largeur ou types de voies. Nous avons à faire à une chaussée urbaine et ce type de chaussée est étudiée au cas par cas en fonction d'autres critères tels que les géométries, typologies de trafic, affectations des voies etc… Ce cas spécialement ne donne pas une valeur du CRT contrairement aux autres types de routes, il le laisse à l'appréciation du consultant.

Dans le cadre de ce projet et conformément aux spécifications techniques de l'APD, un CRT=0,65 a été adopté en fonction du comportement des usagers et du trafic.

- Coefficient d'agressivité moyen (CAM)

Le coefficient d'agressivité moyen est un indicateur destiné à évaluer l'effet destructeur moyen exercé par un véhicule poids lourd sur une structure de chaussée. En effet, les moyens de comptage et de pesage permettent la transformation du trafic en un nombre d'essieux standard NE de 130 kN. Cette transformation s'effectue par l'intermédiaire du coefficient d'agressivité moyen et faciliter les calculs de dimensionnement.

Le coefficient d'agressivité moyen (CAM) a été estimé à 1 pour tenir compte d'un faible taux (moins de 30%) de la surcharge vis-à-vis de la règlementation R14 de l'UEMOA (d'après les spécifications techniques de l'APD).
Les hypothèses utilisées pour le calcul du trafic sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 5: Hypothèses de calcul du trafic

Désignation	Valeurs
Année de comptage	2021
Trafic moyen journalier dans le sens de circulation le plus chargé	521 PL/jr/sens
Année de mise en service	2028
Durée de service	15 ans
Taux de croissance géométrique 2021-2024	3,00%
Taux de croissance géométrique 2025-2040	6,00%
Année de fin de service	2043
Coefficient de répartition transversale 2x 2 voies (CRT)	0,65
Coefficient d'agressivité moyen (CAM)	1
Essieu de référence : essieu isolé à roues jumelées de 13 tonnes	

NB : Au préalable, l'année de mise en service était prévue pour l'année 2026, vue la date de démarrage des travaux en 2025 et pour une durée de 36 mois, nous proposons une mise à jour c'est-à-dire 2028.

Le choix du taux de croissance s'est porté sur la moyenne arrondie entre la méthode basée sur l'historique du trafic et la croissance issue des performances économiques (source : APD). En d'autres termes le taux de 3 % correspond plus ou moins à l'évolution historique du trafic à travers les comptages. Quant au taux de 6%, celui-ci anticipe la croissance à long termes liées au développement économique, à l'urbanisation croissante et aux projets structurant notamment celui de l'élargissement de la route nationale n°2 qui entrainera ainsi une augmentation significative du trafic dans un futur. Cette décision permet de prendre en compte une estimation réaliste et fiable du trafic futur, conciliant prudence et anticipation.

II.3.2. Détermination de la classe de trafic

a) Classe de trafic de la chaussée principale

- Calcul du trafic moyen journalier dans le sens de circulation le plus chargée à l'année 2028 t_{2028}, année de mise en service. Il s'obtient par la formule :

$$\boldsymbol{t_n = t_1 \times (1 + i)^{n-1}} \ [1]$$

- t_n: Trafic moyen journalier à l'année de mise en service ;
- t_1: Trafic moyen journalier à l'année de comptage ;
- i: Taux d'accroissement annuel du trafic ;
- n : Nombre d'années.

Année 2021-2024= 4ans

Année 2025-2028= 4ans

$$\boldsymbol{AN:\ t_{2028} = 521 \times (1 + 0,03)^{4-1} \times (1 + 0.06)^{4-1}}$$

t_{2028}= 679 PL/j

- Calcul du trafic poids lourd cumulé pendant la durée de vie de la chaussée. Il s'obtient par la formule :

$$\boldsymbol{N = 365 \times t_{2028} \times \frac{(1 + i)^n - 1}{i}} \ [2]$$

- N: Trafic en nombre cumulé de poids lourds ;
- t_{2028}: Trafic moyen journalier à l'année de mise en service ;
- i: Taux d'accroissement annuel du trafic ;

- n : Durée de vie.

$$\boldsymbol{AN:\ N = 365 \times 679 \times \frac{(1+0,06)^{15}-1}{0.06}}$$

N = 5 768 600 PL

➢ Calcul du trafic cumulé de la voie la plus chargée. Il s'obtient par la formule :

$$\boldsymbol{N^* = N \times CRT\ [3]}$$

- N^* : Trafic cumulé de la voie la plus chargée ;
- N: Trafic en nombre cumulé de poids lourds ;
- CRT : Coefficient de répartition transversale

$$\boldsymbol{AN:\ N^* = 5\ 768\ 600 \times 0,65}$$

N* = 3749590 PL

➢ Calcul du trafic en nombre d'essieu équivalent standard. Il s'obtient par la formule :

$$\boldsymbol{NE = N^* \times CAM\ [4]}$$

- NE: Trafic en nombre d'essieu équivalent ;
- N: Trafic en nombre cumulé de poids lourds ;
- CAM: Coefficient d'agressivité moyen ;

NE = 3749590 PL soit 3,75×10⁶ PL

Le guide de CEBTP définit cinq (05) classes de trafic en nombre cumulé de poids lourds ou en nombre de passage d'un essieu standard de 13t.

Tableau 6: Classification du trafic de la chaussée principale

Classe de trafic	Trafic en nombre de passage d'un essieu standard de 13t.
T1	$NE < 5 \times 10^5$
T2	$5 \times 10^5 < NE < 1,5 \times 10^6$
T3	$1,5 \times 10^6 < NE < 4 \times 10^6$
T4	$4 \times 10^6 < NE < 10^7$
T5	$10^7 < NE < 2 \times 10^7$

Source : « Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux du CEBTP ».

Nous avons donc un trafic de classe T3 qui sera considéré pour la chaussée principale.

b) Classe de trafic du site propre bus

Comme hypothèse de base pour les sites BRT, un trafic journalier maximale de 120 bus (fréquence de 1 bus par 8 minutes) est retenu pour leur dimensionnement (Source : APD). Le dimensionnement a été fait suivant les prescriptions du CERTU « Chaussées bus : choix des matériaux et dimensionnement structurel. 2006 » (5). **Nous avons retenu un trafic de classe T2 pour les sites propres bus. Le détail de calculs pour la détermination de la classe de trafic sont consignés dans l'annexe II du document.**

c) Classe de trafic des voies de contre-allées

La chaussée principale de la Route Nationale n°2 supporte un trafic de classe T3 (généralement considérée comme un trafic moyen), caractérisé par un volume de circulation important et une proportion significative de poids lourds.

Dans le cadre de projet d'élargissement, les voies de contre-allées visent à assurer une séparation fonctionnelle entre le trafic de transit, concentré sur la chaussée principale, et le trafic local de desserte des quartiers riverains. Les voies de contre-allées sont ainsi principalement destinées à la circulation des véhicules légers et des deux-roues, tandis que la circulation des poids lourds y demeure occasionnelle et peut être liée aux besoins ponctuels de desserte locale ou ravitaillement. Le niveau de sollicitation de ces voies est, de ce fait nettement inférieur à celui de la chaussée principale.

En l'absence de données de comptage réel, les contre-allées n'existant pas à l'état initial, le trafic a été estimé sur la base d'hypothèses techniques fondées sur la fonction de la voie, la typologie des véhicules attendus et en référence également au trafic supporté par la chaussée principale. Ainsi, sur la base de cette analyse fonctionnelle et conformément aux recommandations des normes de dimensionnement des chaussées, les trafics de classe faible sont généralement associés aux voiries secondaires et aux voies parallèles aux axes principaux. Le trafic attendu sur les voies de contre-allées relève de ce fait, de la catégorie des trafics faibles ce qui correspond à un trafic journalier moyen inférieur à 1 000 véhicules par jour, toutes

catégories confondues conformément au « Guide du CEBTP ». Elle a ainsi été dimensionnée sur une durée de vie 15 ans selon le TDR. Ceci permettra ainsi d'assurer la durabilité des voies de contre-allées tout en évitant un surdimensionnement et un coût élevé de cette voie.

Tableau 7: Classification de trafic (toutes catégories de véhicules confondues)

Classe de trafic	Trafic en nombre de véhicule par jour
T1	< 300
T2	De 300 à 1000
T3	De 1000 à 3000
T4	De 3000 à 6000
T5	De 6000 à 12000

Source : CEBTP (Centre Expérimental de Recherche et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics), « Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux »

Ce qui correspond à un trafic de classe T2 pour les voies de contres allées.

II.4. Etude géotechnique

Les études géotechniques ont été réalisées par le laboratoire de PFO AFRICA BURKINA FASO. De ce fait, les sondages ont été réalisés sur la RN2 dans le but d'identifier et de caractériser les matériaux en place. Des prélèvements d'échantillons (1 à 3 prélèvements par sondage) ont été effectués dans l'ensemble des sondages (chaussée existante et zones d'élargissement), pour les essais de laboratoire. Dans la zone d'élargissement, les essais de laboratoire ont été réalisés sur les matériaux de plateforme de sol sur l'ensemble du tronçon. Ces sondages ont été faite sur des profondeurs allant de 1,30m à 2,60m avec prélèvements d'échantillons remaniés pour les essais. Pour la chaussée existante, les essais de laboratoire ont été réalisés sur les matériaux de couches de forme, de fondation et de base.

Il s'agit des essais d'identification (Analyse granulométrique, Limites d'Atterberg) et les essais de portance (Proctor modifié et essai CBR « California Bearing Ratio »).

- L'analyse granulométrique permet de déterminer la taille et la répartition des grains constituant un sol, d'établir la courbe granulométrique essentielle pour identifier et classer le matériau ;

- Les limites d'Atterberg (limite de liquidité et limite de plasticité) permettent d'identifier un sol et à caractériser sont état au moyen de son indice de consistance ;
- L'essai Proctor modifié a pour objectif d'identifier la densité sèche maximale qu'un matériau peut atteindre sous une énergie de compactage définie, ainsi que la teneur en eau optimale qui correspond à cette condition ;
- L'essai CBR sert à évaluer la capacité portante d'un sol compacté.

A l'issue des résultats obtenus, la plateforme du sol support au niveau des élargissement (gauche et droit) peut être considérée de façon générale comme de classe S3 et S4, avec quelques endroits à classe S2 (faible), et S5 (fort). De plus, les matériaux constituant les couches de la chaussée existante seront pour la plupart réutilisables en couche de remblais pour la nouvelle structure de chaussée.

Dans le cadre de ce projet, nous avons retenu un sol de classe S4 sur l'ensemble du tronçon en fonction des valeurs de CBR obtenues sur les matériaux en place (selon le TDR). Le choix de classes de portance est fait selon le CEBTP (Centre Expérimental de Recherche et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics).

Tableau 8 : Classification des sols

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

Source : Centre expérimentale de recherches et d'études du Bâtiment et Travaux Publics (CEBTP_1984).

La classe de portance retenue sur l'ensemble des tronçons sera un S4, avec un CBR minimum de 25 à 95% de l'optimum Proctor comme proposé par le consultant.

NB : Pour toutes les plateformes de classe inférieure à S4, on procèdera à une purge et à une reconstitution de cette plateforme sur une épaisseur d'environ 30 à 50 cm avec des matériaux répondant à une classe de plateforme S4 ou supérieure.

II.5. Dimensionnement des couches de chaussée par la méthode CEBTP

L'étude de trafic et l'analyse des sols de plateforme donnent le couple **T3/S4** pour la chaussée principale, **T2/S4** pour le site BRT et les voies de contre-allées**.** En se référant au catalogue du « Guide Pratique de dimensionnement des chaussées pour pays tropicaux » du CEBTP, nous avons proposé trois variantes de structure de chaussées souples. Elles sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 9: proposition des structures de chaussée à l'aide du guide CEBTP

Classe du trafic et du sol	Couches	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Voie : chaussée principale **T3/S4**	Revêtement	5 cm de Béton bitumineux	5 cm de Béton bitumineux	5 cm de Béton bitumineux
	Base	20 cm de Graveleux latéritique naturel	20 cm de Grave ciment	15 cm de concassé 0/d
	Fondation	15 cm de Graveleux latéritique naturel	20 cm de Grave latéritique ou Grave naturel	20 cm de Graveleux latéritique naturel ou Grave naturel
Voie : contre-allées et le site BRT **T2/S4**	Revêtement	4 cm de Béton bitumineux	4 cm de Béton bitumineux	4 cm de Béton bitumineux
	Base	15 cm de Graveleux latéritique naturel	15 cm de Grave naturelle amélioré au ciment	15 cm de concassé 0/d
	Fondation	20 cm de Graveleux latéritique naturel	20 cm de Graveleux latéritique naturel	20 cm de Graveleux latéritique naturel

Suite à une analyse des différents choix de dimensionnement proposé par le CEBTP et compte tenu de la disponibilité des matériaux, des habitudes de réalisation et du coût des travaux, la structure optimale retenue est la variante 1. Un ajustement de la couche de revêtement pour les voies de contre-allées et les sites de BRT a été fait. On distingue pour les différentes voies :

Structure de la chaussée principale de la variante retenue selon le guide CEBTP

- Couche de revêtement en Béton bitumineux : 5cm
- Couche de base en graveleux Latéritique naturel : 20cm
- Couche de fondation en graveleux latéritique naturel : 15cm

Structure de chaussée des voies de contre-allées et le site BRT de la variante retenue

- Couche de revêtement en Béton bitumineux : 5 cm
- Couche de base en graveleux Latéritique naturel : 15 cm
- Couche de fondation en graveleux latéritique naturel : 20 cm

II.6. Dimensionnement des couches de chaussée par la méthode rationnelle française

Les structures de chaussées obtenues du « guide pratique de dimensionnement des chaussées en pays tropicaux » du CEBTP ont été modélisées sur Alizé LCPC pour vérification afin de déterminer les épaisseurs optimales de la chaussée. Elle consiste à calculer les contraintes et déformations admissibles des matériaux sous l'effet du trafic considéré et la durée de vie escomptée suivant la norme NF P 98-086, et les comparées aux valeurs maximales. La vérification des couches de chaussée par la méthode rationnelle française concerne uniquement la chaussée principale, car les voies de contre-allées et les sites propre bus n'existant pas encore, nous sommes partis sur des hypothèses d'estimation de trafic et n'avons pas toutes les données d'entrée suffisante pour modéliser sur Alizé LCPC. Pour y procéder à la vérification, nous devons définir au préalable les paramètres d'entrée suivants :

A) Paramètres d'entrée et hypothèses de calcul

- Calcul du module élastique pour les matériaux à gros éléments

La valeur des modules élastiques à prendre en compte dans les vérifications des contraintes et déformations pour les matériaux naturels dans les pays tropicaux (sols de plateforme, graveleux latéritique naturel) est E = 50*CBR (en bar) ou E = 5*CBR (en MPa).

Tableau 10: Indice de plasticité et CBR des graveleux latéritiques

	Couche de fondation	Couche de base
IP	≤ 30 pour les trafics T1-T2 ≤ 20 pour les trafics T3-T5	≤ 15
CBR à 95% OPM	≥ 30	≥ 80

Source : NF P 98-086

Le calcul du module de notre couche de fondation et du sol support est présenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau 11: Récapitulatif des exigences de la couche d'assise et le sol support

	Couche de base	Couche de fondation	Plateforme
Matériaux	Graveleux latéritique naturel	Graveleux latéritique naturel	
CBR à 95% OPM	80 (valeur minimal)	30 (valeur minimal)	25
Module E	400 MPa	150MPa	125 MPa

Les classes de plate-forme sont définies dans le Guide des terrassements routiers (GTR). Ce guide distingue quatre classes selon les plages de valeur de leur module de déformation : la PF1 (entre 20 et 50 MPa), la PF2 (entre 50 et 120 MPa), la PF3 (entre 120 et 200 MPa) et la PF4 (>200MPa).

Nous avons donc une plateforme de classe PF3.

- Calcul des déformations verticales

Pour les matériaux non traités et le sol, la déformation verticale relative admissible s'obtient par la formule :

$$\boldsymbol{\varepsilon_{adm} = A \times NE^{-0,222}} \quad [5]$$

Avec : A= 16000 et 12000 respectivement pour un trafic faible et fort. Ce pendant dans le cadre de ce projet, le trafic est désigné comme un trafic fort car $\boldsymbol{NE > 250\,000}$.

- Taux d'accroissement géométrique : 6% (compte tenu du fait que nous avons deux taux d'accroissement à des périodes différentes, nous avons opté pour un taux de 6% tout en

choisissant de mettre comme donnée d'entrée le trafic cumulé PL calculé plus haut contrairement au TMJA pour ne pas surdimensionnée la chaussée)

- Durée de service : 15 ans
- Trafic cumulé NPL : 3 749 590 PL/j
- Risque de calcul : 5% (NF P 98-086 page 53)
- CAM : 1
- Paramètres des charges

- Essieu de roues jumelées supportant une charge de 130KN
- Pression verticale de 0,6620 MPa
- Rayon de contact 0,125 m
- Entraxe jumelage de 0,375 m

- Pour le dimensionnement des couches de chaussée sur Alizé, nous retiendrons pour nos calculs une température équivalente de 34°C, afin de tenir des conditions réelles de climat tropical au Burkina Faso. Le catalogue de dimensionnement des chaussées du Sénégal recommande cette température, issue de mesures in situ réalisées sur Dakar et Kaolack. Bien que les conditions climatiques du Senegal diffèrent légèrement à celles du Burkina Faso, la valeur de 34 °C apparait plus représentative que celle de 26°C définit par le CEBTP-guide pratique de dimensionnement des chaussées en pays tropicaux.
- Nature des interfaces des couches

- L'indice de couche BB/ GB ou GNT ou GC ou GL est collée ;
- L'indice de couche de base / fondation des structures souples ou Bitumineuse est collée;
- L'indice de couche de base / fondation des structures semi rigide est semi-collée ;
- L'indice de couche de fondation/plate-forme est collée, sauf dans le cas d'une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques ;

B) Simulation des couches de chaussée sur le logiciel Alizé

- Simulation 1 sur le logiciel Alizé

Nous avons dans un premier temps, entrée la structure de la chaussée principale obtenue du CEBTP sur le logiciel Alizé-LCPC, ensuite calculer les contraintes et déformations, et les

comparer à la valeur admissible. La structure de chaussée obtenue du CEBTP est (couche de revêtement en Béton bitumineux (BB) : 5cm ; Couche de base en graveleux Latéritique naturel (GLN) : 20cm, et Couche de fondation en graveleux latéritique naturel (GLN) : 15cm)

La figure 3 présente la simulation 1 faite sur le logiciel Alizé :

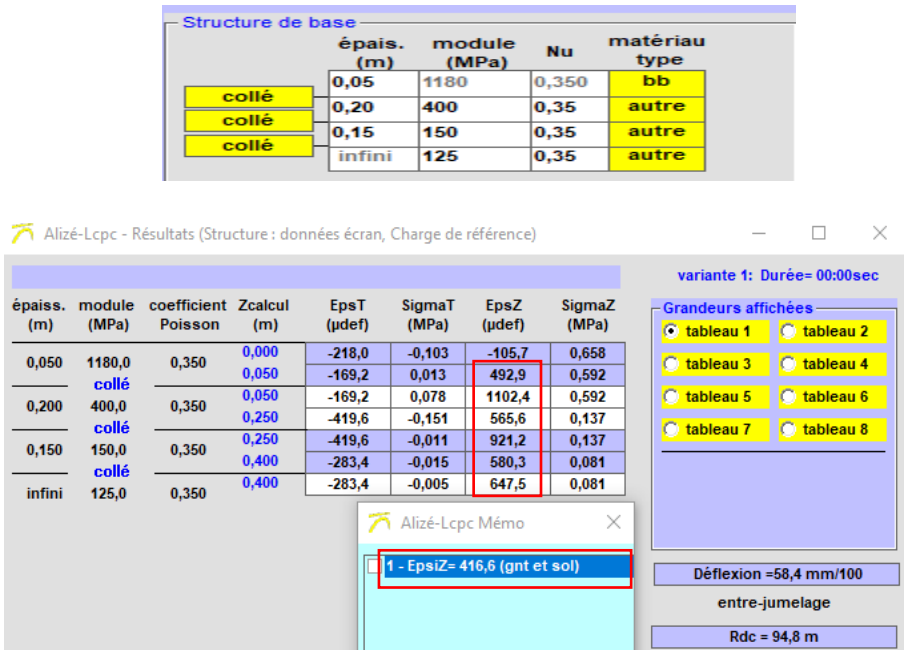


Figure 3: Simulation n° 1 Alize, déformation Epsi z non vérifiée

Source : Alizé-LCPC

Interprétation 1 : Les déformations verticales à la surface du sol support, de la couche de fondation et de la couche de base, sont toutes supérieure à la limite admissible qui est $\varepsilon zadm$ =416,6 µdef, ce qui voudrait dire que ces déformations ne sont pas acceptables sous les couches de la chaussée (la déformation verticale Epsi Z n'est pas vérifiée). Il faudra donc, ajuster l'épaisseur ou le module du matériau en place jusqu'à vérification des déformations.

- Simulation 2 sur le logiciel Alizé

La nouvelle structure, nous a permis de :

- Maintenir l'épaisseur et le module de la couche de revêtement ;
- Réviser la couche de base en augmentant l'épaisseur et en l'améliorant avec un liant hydraulique (ciment 2-3%). Nous prendrons le module E=1000 MPa (avec un CBR=200) ;

- Augmenter l'épaisseur et le module de la couche de fondation. Nous prendrons le module E=300 MPa (avec un CBR=60).

La figure 4 présente la simulation 2 faite sur le logiciel Alizé



épaiss. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,050	1180,0	0,350	0,000	-46,8	0,039	112,8	0,658
	collé		0,050	-15,7	0,176	334,8	0,621
0,250	1000,0	0,350	0,050	-15,7	0,154	393,8	0,621
	collé		0,300	-175,0	-0,177	206,3	0,099
0,250	300,0	0,350	0,300	-175,0	-0,017	350,2	0,099
	collé		0,550	-140,9	-0,039	220,0	0,041
infini	125,0	0,350	0,550	-140,9	-0,004	338,8	0,041

Figure 4: Simulation n° 2 Alize, déformation Epsi z vérifiée

Source : Alizé LCPC

Interprétation 2 : Les déformations verticales à la surface du sol support, de la couche de fondation et la couche de base, sont toutes inférieure à la valeur limite admissible qui est $\varepsilon zadm$ =416,6 µdef, par conséquent les déformations sont vérifiées.

La simulation 2 est correcte mais dans le but de réponde aux exigences du maitre d'ouvrage qui est de prolongé la durée de vie de la chaussée, permettant ainsi de réduire les coûts d'entretien, nous avons remplacé la couche de base par du grave bitume et ajusté à nouveau les épaisseurs de couche de fondation.

- Simulation 3 sur le logiciel Alizé

La nouvelle structure, nous a permis de :

- Maintenir l'épaisseur et le module de la couche de revêtement ;
- Modifier la couche de base par du grave bitume de type 2.
- Décomposer la couche de fondation en deux couches, la 1ère couche qui est du graveleux latéritique naturel d'épaisseur 15 cm, et une deuxième couche d'épaisseur 20 cm de graveleux latéritique amélioré au ciment.

La figure 5 présente la simulation 3 faite sur le logiciel Alizé

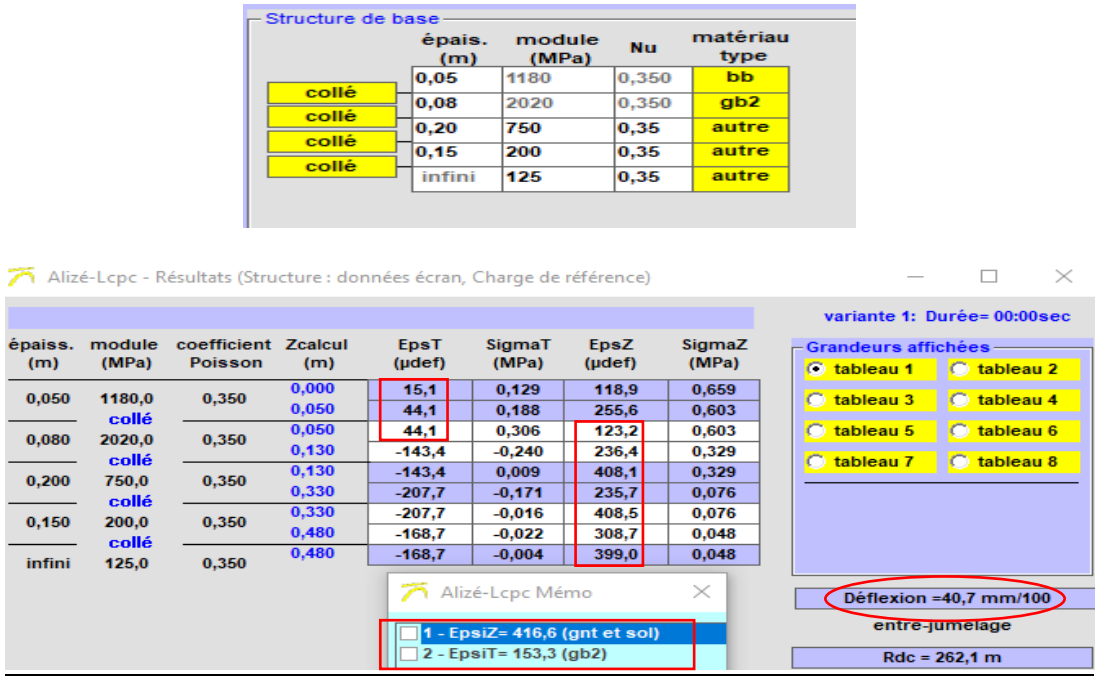


Figure 5: Simulation n° 3 Alize, déformation Epsi z vérifiée

Source : Alizé LCPC

Interprétation 3: Les déformations verticales à la surface du sol support, et de la couche de fondation, sont toutes inférieure à la limite admissible qui est $\varepsilon zadm$ =416,6 µdef, par conséquent ces couches sont vérifiées. Les déformations horizontales de la couche de revêtement et de base, sont nettement inférieure à la limite admissible qui est $\varepsilon tadm$ = 153,3 µdef; les couches de revêtement et de base sont également vérifiées. La déflexion maximale entre-jumelage est de 40,7 mm/100.

Nous retenons les couches de chaussée de la simulation 3. Ce choix tient compte de la disponibilité des matériaux, des habitudes de réalisation et surtout d'une bonne durée de vie de la chaussée en réduisant ainsi les coûts d'entretien.

Les caractéristiques des matériaux utilisées pour cette modélisation sont présentées dans le tableau ci-après.

Tableau 12: Caractéristiques des matériaux

Nature du matériau	Module (MPa)	Coefficient de poisson
Béton bitumineux semi-grenu (BBSG) à 34°C	1180	0,35
Grave bitume de classe 2 (GB2) à 34°C	2020	0,35
Graveleux latéritique amélioré au ciment (GLAC) avec un CBR=150	750	0,35
Graveleux latéritique naturel (GLN) avec un CBR ≥ 40	200	0,35
Plateforme S4 avec un CBR ≥ 25 à 95% OPM	125	0,35

Les vérifications techniques ont montré que les déformations et contraintes restent inférieures aux valeurs admissibles, ce qui confirme la résistance de la chaussée face aux charges du trafic. La structure de chaussée principale retenue après dimensionnement sur Alize donne la composition ci-dessous. :

- Couche de roulement en béton bitumineux semi-grenu (BBSG) : 5 cm
- Couche de base en grave bitume de classe 2 (GB2) : 8 cm
- Deuxième couche de fondation en Graveleux latéritique amélioré au ciment (GLAC) : 20 cm
- Première couche de fondation en Graveleux latéritique naturel (GLN) : 15 cm

II.7. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de faire un dimensionnement structurel de la chaussée, en suivant les règles et normes techniques en vigueur en République Française. Le dimensionnement de la chaussée principale, a été réalisé par la méthode CEBTP et par la méthode rationnelle française. Celui des contre-allées et les sites de bus ont été réalisé uniquement avec la méthode CEBTP. En tenant compte des données géotechniques, du niveau de trafic, des matériaux disponibles et des résultats issus du logiciel Alizé, nous avons proposé pour chaque voie, une structure de chaussée optimale. Il ressort également de cette étude que pour la chaussée principale, nous avons un trafic de classe T3, le sol support est de classe S4, avec un CBR minimum de 25 à 95% OPM correspondant à une plateforme de troisième classe (PF3). Ainsi qu'un trafic de classe T2, un sol support de classe S4 avec un CBR minimum de 25 à 95% OPM pour les voies de contre-allées et le site propre bus. La valeur du CBR minimum de 25 à 95% OPM est celle

proposé par le consultant. Elle permet d'assurer une portance suffisante de la plateforme pour supporter le trafic et limiter les déformations. Ce niveau de performance en région sahélienne tel qu'au Burkina Faso, est conforme aux recommandations du CEBTP.

Dans le cadre de ce projet, le tableau suivant fait la synthèse des structures de chaussées retenues pour chaque voie de circulation.

Tableau 13: structure de chaussée retenue

Voies	Couche	Structure de chaussée
Chaussée principale et voies de site propre bus (BRT)	Revêtement	5 cm de BBSG
	Base	8 cm de GB2
	2ème fondation	20 cm de GLAC
	1ère fondation	15 cm de GLN
	Plateforme	S4 (CBR minimum de 25 à 95% OPM)
Site de bus	Revêtement	5 cm de BBSG
	Base	15 cm de GLN
	Fondation	20 cm de GLN
	Plateforme	S4 (CBR minimum de 25 à 95% OPM)
Voies de contre allée	Revêtement	5 cm de BBSG
	Base	15 cm de GLN
	Fondation	20 cm de GLN
	Plateforme	S4 (CBR minimum de 25 à 95% OPM)

III. ETUDE HYDROLOGIQUE, HYDRAULIQUE, ET DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES

III.1. Introduction

Le but de cette étude, est d'assurer la sécurité et la durabilité de la route, en tenant compte des variations hydrologiques et des facteurs environnementaux qui pourraient affecter son fonctionnement. Dans cette partie, il sera donc question pour nous d'effectuer tout d'abord une étude hydrologique, puis une étude hydraulique, et enfin proposer un dimensionnement structurel des ouvrages d'assainissement.

III.2. Etude hydrologique

L'étude hydrologique consiste d'abord à délimiter les bassins versants en un bassin ou plusieurs sous-bassins. Elle permet également de déterminer les pluies journalières et annuelles pour des périodes de retour (décennale et centennale), ainsi que d'identifier les principales caractéristiques hydrologiques des bassins traversés par le tracé. Ces éléments permettent d'estimer les débits de crue nécessaires au dimensionnement des ouvrages d'assainissement. L'objectif est d'assurer un écoulement efficace des eaux pluviales et de réduire les risques d'érosion ou d'inondation susceptibles d'affecter la structure de la chaussée.

III.2.1. Période de retour et données pluviométriques

- Période de retour

La période de retour désigne l'intervalle de temps statistique au terme duquel un événement hydrologique d'une intensité donnée peut être observé de nouveau dans une zone donnée. Son estimation constitue un paramètre fondamental des études hydrologiques, car elle conditionne le dimensionnement et la sécurité des ouvrages face aux crues exceptionnelles.

Une période de retour de dix (10) ans a été retenue pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques (dalots et caniveaux), conformément aux recommandations du Schéma Directeur d'Assainissement Pluvial de la ville de Ouagadougou. Ce document préconise pour les ouvrages d'assainissement l'adoption d'une période de retour de 5 ans pour les collecteurs ou caniveaux secondaires, et 10 ans pour les dalots. Le choix d'une période de 10 ans permettra ainsi de protéger les infrastructures, et est en accord également sur le plan économique.

- Données pluviométriques

Les données pluviométriques de la station synoptique de Ouagadougou a été acquises dans le cadre du projet. Les variables pluviométriques retenues sont la pluie totale annuelle et la pluie

maximale annuelle de chaque année. Cette station pluviométrique donne une bonne représentation de la pluviométrie de la zone du projet eu égard de sa position géographique.

Les séries de données couvrent la période 1987 – 2016 pour la station de Ouagadougou. Soit trente (30) années d'observations continues sans lacunes.

Le **Tableau 14** donne une synthèse des données recueillies. Elles sont également présentées à la **Figure 6** pour la station de Ouagadougou.

Tableau 14: Données pluviométriques utilisées dans le cadre du projet

Station	Type de données	Période d'observations	Nombre d'observations	Observations
Ouagadougou	Pluie totale annuelle	1987 - 2016	30	Nombre d'observations suffisant
	Pluie maximale journalière	1987 - 2016	30	Nombre d'observations suffisant

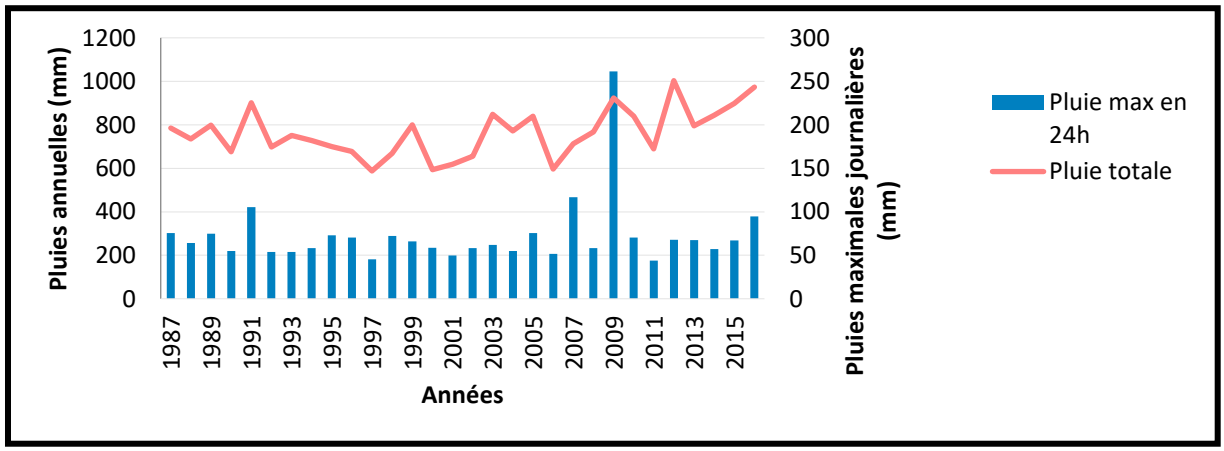


Figure 6: Pluies annuelles et maximales en 24h à la station de Ouagadougou – 1987-2016

L'ajustements statistiques des pluies journalières et annuelles maximales sont présenté **en Annexe III-(titre I).**

- La pluie maximale journalière décennale est de 123 mm et est déterminée par un ajustement de la loi de Gumbel à partir du logiciel Hyfran Plus.
- La pluie moyenne annuelle calculée sur cette période donne 875 mm à Ouagadougou.

III.2.2. Délimitation et détermination des caractéristiques des bassins versants

- Délimitation des bassins versants

Un bassin versant est une surface géographique délimitée par des lignes de crête, à l'intérieur de laquelle toutes les eaux de pluie s'écoulent vers un même point appelé exutoire. Il constitue

donc une unité naturelle de collecte et d'écoulement des eaux de ruissellement. Dans le cadre de ce projet, la délimitation des bassins versants a été réalisée à l'aide des logiciels Google Earth Pro, et Global Mapper.

À l'aide de Google Earth Pro qui est un logiciel de cartographie satellitaire très utilisé, nous avons tracé l'itinéraire de notre projet et positionné les différents ouvrages hydrauliques existants, en exploitant les coordonnées GPS dont nous disposions.

Nous avons ensuite importé le fichier cartographique dans Global Mapper, pour des analyses hydrologies plus approfondies. Dans ce logiciel, nous avons d'abord chargé le Modèle Numérique de Terrain (MNT), puis mettre toutes les données dans le même système de projection cartographique UTM WGS84 Zone 30N afin de superposer correctement l'ensemble des informations. Les courbes de niveau ont été générées pour visualiser la topographie, avant d'utiliser l'outil « Watershed » pour identifier les lignes d'écoulement et délimiter les bassins versants associés aux exutoires. Les résultats ont ensuite été réexportés vers Google Earth Pro pour une observation plus précise de l'environnement et du réseaux hydrographiques.

Pour chaque bassin identifié, les principales caractéristiques topographiques (la surface, le périmètre, la pente moyenne, la longueur du plus long chemin hydraulique, ainsi que les altitudes maximale « Zmax » et minimale « Zmin ») ont été extraites, permettant ainsi de déterminer les débits de projet.

NB : La ligne d'écoulement du bassin versant n° 2 (BV2) indiquée par une flèche, n'a pas été entièrement prise en compte dans la partie supérieure du bassin. L'analyse de la zone d'étude à l'aide de Google Earth a révélé la présence d'une zone agricole aménagée dans cette partie, susceptible de modifier l'écoulement naturel des eaux de ruissellement et de réduire leur contribution hydraulique vers l'exutoire. En conséquent, la ligne d'écoulement concernée n'a pas été intégrée dans la délimitation du bassin.

La figure ci-dessous présente la délimitation des bassins du projet.

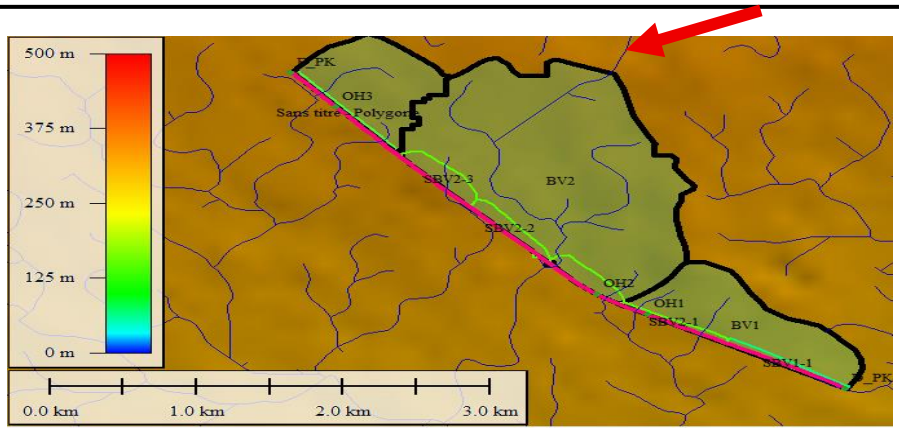


Figure 7: Délimitation des bassins versants

La délimitation des bassins versants nous a permis d'avoir comme résultat trois (03) bassins versants et six (06) sous bassins versants « bassins versants -caniveaux).

- Caractéristiques des bassins versants

Le tableau 15 et 16 ci-dessous présentent respectivement les caractéristiques des bassins versants (BV) et sous bassins versants (SBV).

Tableau 15: Caractéristiques des bassins versants (ouvrages transversaux)

BV	Superficie (km²)	Périmètre (km)	Pente (%)	Zmax (m)	Zmin (m)	Longueur d'écoulement (km)
BV1	0,689	4,255	1,08	317	305	0,762
BV2	3,037	7,555	1,05	331	309	3,456
BV3	0,653	3,629	0,63	327	320	0,942

Tableau 16: Caractéristiques des bassins versants caniveaux (ouvrages longitudinaux)

BV associés	SBV	Superficie (km²)	Périmètre (km)	Pente I (m/m)	Zmax (m)	Zmin (m)	Longueur d'écoulement (km)
BV1	SBV1-1	0,04387	1,983	0,0075	310	304	0,951
	SBV2-1	0,03138	1,715	0,0145	314	308	0,818
BV2	SBV1-2	0,0874	1,47	0,0108	314	309	0,646
	SBV2-2	0,0746	1,705	0,012	320	313	0,768
	SBV3_2	0,102	1,58	0,011	325	318	0,693
BV3	SBV1-3	0,0656	2,361	0,0117	325	320	1,125

III.2.3. Méthodologie de calculs des débits

Le débit de projet est le débit maximal retenu pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques. Il dépend de la période de retour considérée et s'estime généralement à l'aide de formules empiriques, surtout pour les petits bassins versants dépourvus de mesures hydrométriques.

Il existe de nombreuses méthodes d'estimation des débits. Toutefois, l'évaluation des débits de projet s'effectuera par les quatre (04) méthodes ci-après :

- La méthode ORSTOM actualisée et révisée, publiée en 1996 ;
- La méthode CIEH du manuel « Crues et apports » ;
- La méthode rationnelle du BCEOM de « l'Hydraulique routière » ;
- La méthode Caquot.

a) La méthode rationnelle :

C'est une technique d'estimation des débits de crue pour les petits bassins versants dont la superficie ne dépasse pas 4 km².Cette méthode est dite empirique et est issue d'expérimentations particulières qui peuvent s'adapter en zone rurale. On démontre ainsi que pour une averse homogène dans le temps et dans l'espace, d'intensité ***I***, le débit maximum ***Q*** est atteint si la durée de l'averse ***t*** est au moins égale au temps de concentration ***Tc*** du bassin. Nous considérerons donc les coefficients de montana pour lesquels t=Tc (6)

Le calcul de débit est donné par la formule :

$$\mathbf{Q} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{3,6}} * \mathbf{C} * \mathbf{I} * \mathbf{A}\ [\mathbf{6}]$$

- **Q** étant le débit de crue exprimée en m³/s ;
- **C** étant le coefficient de ruissellement supposé uniforme sur le petit bassin considéré et pendant la durée de l'averse ;
- **A** étant la superficie du bassin versant en km² ;
- **I** étant l'intensité de pluie exprimée en mm/h

  $\boldsymbol{I = a \times Tc^{-b}}$, où **a et b** sont les coefficients de montana données dans le tableau ci-dessous en fonction de notre zone d'étude.

Tableau 17: Coefficient de montana de la zone d'étude

Ouagadougou	Coefficients de Montana pour une période de retour T=10 ans	
	A	b
Pluie de durée < 1h	9,4	0,5
Pluie de durée > 2h	39	0,9

Source : Courbes Intensité-durée-fréquence (7)

Tc en mn représente le temps de concentration qui se détermine par la formule de KIRPICH ou celle de RICHARDS. Cependant, nous utiliserons uniquement celle de KIRPICH donnée par la formule :

$$\boldsymbol{Tc = \frac{1}{52} \times \frac{L^{0,77}}{P^{0,38}}} \ [7]$$

Où ***L*** représente la distance en mètres entre l'exutoire et le point le plus éloigné du bassin **en m** et ***P*** représente la pente moyenne du bassin versant **en m/m.**

b) La méthode ORSTOM

La méthode ORSTOM a été mise au point par AUVRAY & RODIER en 1965 à partir des données de 65 bassins versants de superficies inférieures à 120 km² (8). Cette méthode s'applique en théorie à toute l'Afrique de l'Ouest, entre 150 et 1600 mm de hauteur annuelle de précipitations. La méthode ORSTOM actualisée et révisée, publiée en 1996, s'applique désormais aux bassins versants ayant des superficies comprises entre quelques dizaines d'hectares et plus de 1500 Km². Dans cette méthode, le débit de pointe correspondant au ruissellement superficiel de la crue décennale et est défini par la relation suivante :

$$Qr_{10} = A \times P_{10} \times Kr_{10} \times \alpha_{10} \times S / Tb_{10} \times \text{m} \ [8]$$

Avec :

- m : le coefficient de majoration d'écoulement (estimé 1,03 et 1,15);
- A : le coefficient d'abattement de la pluie
- P_{10} : la pluie journalière décennale en mm,
- Kr_{10} : le coefficient de ruissellement,
- α_{10} : le coefficient de pointe, correspondant à la crue décennale

- S : la surface du bassin en km²,
- Tb_{10} : le temps de base correspondant à la crue décennale

c) La méthode CIEH

En 1983, Puech et Chabi-Gonni ont proposé une méthode statistique, connue depuis sous le nom de méthode CIEH et basée sur 162 bassins versants dont l'origine vient essentiellement du recueil de Dubreuil (1972) sur les bassins expérimentaux. Elle est applicable aux bassins versants de superficie comprise entre 10 Km² et 2500 Km² en zone sahélienne, et aux bassins versants dont la superficie est inférieure à 1500 Km² en zone tropicale sèche.

La formulation retenue pour retrouver l'expression du débit de pointe Q_{10} est basée sur un schéma de régression multiple et se présente sous la forme générale :

$$Q_{10} = a \times S^s \times \overline{Pan}^p \times I_g{}^i \times Kr_{10}{}^k \times Dd^d \cdots [\mathbf{9}]$$ Où :

- a, s, p, i, k, d sont des coefficients ;
- S est la surface du bassin (Km²) ;
- Ig est l'indice global de pente (m/km) ;
- Pan est la pluie moyenne (mm) ;
- Kr_{10} est le coefficient de ruissellement décennal (%) ;
- Dd est la densité de drainage (km^{-1}).

d) La méthode de Caquot

C'est une méthode simplifiée de calcul du débit maximum à l'exutoire d'un bassin versant urbain soumis à une précipitation donnée. Elle est applicable aux petits bassins urbanisés inférieur à 2 Km². La formule de Caquot est tirée de la formule rationnelle (mais en introduisant un facteur d'amortissement prenant en compte les effets de stockage temporaire du ruissellement sur le bassin versant et dans le réseau) donnant le débit de pointe Q_T :

$$Q_T = K^{1/u} . I^{v/u} . C^{1/u} . A^{w/u} \quad [\mathbf{10}]$$

- Q (T) = le débit de période de retour T. Q (m3/s)
- I = la pente moyenne du B.V. (m/m)
- C = le coefficient de ruissellement
- A = la superficie du B.V. (ha)
- K est un coefficient d'expression : $(0.5^{b(T)} . a(T))/ 6.6$

- U est un coefficient d'expression : 1 + 0.287 b (T) ;
- V est un coefficient d'expression : - 0.41 b (T) ;
- W est un coefficient d'expression : 0.95 + 0.507 b (T).

III.2.4. Estimation des débits de crue

Les méthodes de calcul retenues ont été faites en fonction des conditions particulières dans lesquelles elles sont applicables. Ainsi :

- La méthode rationnelle a servi pour calculer les débits des bassins versants 1, 2, et 3 ainsi que des sous bassins versants ;
- La méthode ORSTOM a été utilisée pour calculer les bassins versants 1, 2 et 3.
- La méthode CIEH n'a pas été utilisé dans le cadre de ce projet car tous nos bassins versants ont une superficie inférieure à 10 Km².
- La méthode caquot quant à elle, a permis de calculer les débits des sous bassins versants car elle est applicable aux petits bassins urbanisés tels que les caniveaux.

Les tableaux ci-dessous présentent les résultats de calcul des débits obtenus pour chaque méthode, et le débit de projet retenus pour chaque bassins versants et sous bassins versants.

Tableau 18: Résultats de calcul des débits des bassins versants par la méthode rationnelle

BV	S (Km²)	P (km)	Pente (%)	Ic	Longueur d'écoulement (km)	Tc (Mim)	Intensité (mm/h)	C	Q retenu (m³/s)
BV1	0,689	4,255	1,08	1,446	1089,117	18,207	132,179	0,4	**10,127**
BV2	3,037	7,555	1,05	1,223	1894,388	58,958	73,453	0,4	**24,806**
BV3	0,653	3,629	0,63	1,266	912,654	26,380	109,811	0,4	**7,974**

Tableau 19: Résultats de calcul des débits des bassins versants par la méthode ORSTOM

BV	S (m²)	Coef A	Kr10	P10 (mm)	α_{10}	Tb10 (s)	m	Q10 ORSTOM (m³/s)
BV1	689000	1,020	0,279	0,123	2,6	23161,432	1,05	**2,840**
BV2	3037000	0,940	0,247	0,123	2,6	46389,565	1,05	**5,097**
BV3	653000	1,023	0,230	0,123	2,6	32867,742	1,05	**1,567**

- Le débit de projet retenu des bassins versants est le maximum des débits obtenus des méthodes rationnelle et ORSTOM, et est donnée dans le tableau suivant :

Tableau 20: Récapitulatif des débits de projet retenus pour les bassins versants

Bassins versants	BV1	BV2	BV3
Débit de projet Q10 (m³/s)	**10,127**	**24,806**	**7,974**

- Le débit de projet retenu des sous bassins versants est le maximum des débits obtenus des méthodes rationnelle et Caquot, et est donnée dans le tableau suivant :

Tableau 21: Résultats de calcul des débits pour les sous bassins versants

BV Associés	SBV	Assemblage des SBV en série	Superficie (Km²)	Pente (m/m)	Méthode de calcul		Débit Qp retenu (m³/s)
					Ratio	Caquot	
BV1	SBV1-1	SBVeq1 = SBV1-1	0,04387	0,0075	0,55	0,54	**0,55**
	SBV2-1	SBVeq2 = SBV1-1 + SBV2-1	0,03138	0,0145	0,80	0,94	**0,94**
BV2	SBV3-2	SBVeq1 = SBV3-2	0,0874	0,0108	1,56	1,68	**1,68**

	SBV2-2	SBVeq2 = SBV3-2 + SBV2-2	0,0746	0,012	2,09	2,85	**2,85**
	SBV1-2	SBVeq3= SBV3-2 + SBV2-2+ SBV1-2	0,102	0,011	2,68	4,31	**4,31**
BV3	SBV1-3	SBVeq1 = SBV1-3	0,0656	0,0117	0,84	0,84	**0,84**

Les détails de calcul des débits Par les différentes méthodes sont détaillés en **Annexe III-(titre II).**

III.3. Etude hydraulique

Les études hydrauliques consistent à déterminer les sections des ouvrages transversaux et longitudinaux, dans le but de permettre l'évacuation des débits de projet obtenus. Dans le cadre de ce mémoire, nous procèderons tout d'abord au diagnostic des ouvrages hydrauliques existants, ensuite au dimensionnement structurel.

III.3.1. Diagnostic des ouvrages existants

Sur notre tronçon, nous avions au total quatre (04) ouvrages hydrauliques transversaux existants, donc trois (03) dalots et une buse métallique. Uniquement des dalots seront adoptés dans le cadre de ce projet.

Nous avons effectué une visite sur notre tronçon d'étude durant la période de stage pour observer visuellement l'état des ouvrages transversaux existants. Mais, une enquête plus récente (année 2023) avait été fait par le consultant, et nous nous sommes en appropriés de ces images.



***Photo 5** : Buse métallique de section 3Φ80 cm*

PK 05+620

Coordonnée GPS :

- X= 650273 m
- Y= 1371280 m

Problème constaté : Obstruction de l'ouvrage

Ouvrage à supprimer.

	***Photo 6** : Dalot de section 2 x 2,40 x 1 cm²* *PK 06+550* Coordonnée GPS : - X= 649453 m - Y= 1371714 m Problème constaté : Présence des déchets plastiques et obstruction
	***Photo 7** : Dalot de section 3 x 2 x 2 cm²* *PK 06+950* Coordonnée GPS : - X= 649110 m - Y= 1371916 m Problème constaté : obstruction
	***Photo 8 :** Dalot de section 2 x 2 x 2 cm²* *PK 09+550* Coordonnée GPS : - X= 647329 m - Y= 1373805 m Problème constaté : aucun problème contacté

Figure 8: Diagnostics des ouvrages transversaux existants

On constate une absence des ouvrages longitudinaux sur tout le tronçon, ce qui augmente les risques d'inondation dans la zone et d'érosion dus aux eaux de ruissellement.

Ces informations sur le terrain ont permis de vérifier si les sections existantes peuvent toujours évacuer les débits calculés, si non une solution optimale sera adoptée en tenant compte la vitesse limite d'écoulement qui est de 3m/s selon le BCEOM de « l'hydraulique routière ».

III.3.2. Dimensionnement hydraulique

a) Dimensionnement des dalots

La méthode de dimensionnement utilisée dans ce chapitre est graphique et s'appuie sur les courbes expérimentales de l'ouvrage « Hydraulique Routière » de BCEOM (6). L'approche de calcul retenue repose sur le postulat du fonctionnement en sortie libre, ce qui signifie que le niveau de l'eau à la sortie de l'ouvrage se situe en-dessous du sommet de ce dernier.

Pour cela nous devons vérifier que la hauteur de l'eau a amont de notre ouvrage est tel que $H1 \leq 1{,}25 \times D$.

- **Choix des ouvrages et hypothèses de calcul**
  - La vitesse maximale d'écoulement admissible à l'entrée du dalot est fixée à 3 m/s, conformément aux recommandations du **BCEOM (page. 235)** ;
  - L'écoulement est considéré comme étant à surface libre ;
  - Les ouvrages proposés sont des dalots à cadre fermé en béton armé ;
  - Chaque ouvrage sera équipé de murs en aile formant un angle de 30° avec l'axe longitudinal du dalot.
- **Méthodologie de dimensionnement et détermination des sections hydrauliques**

Le schéma ci-après, élaboré à partir des recommandations du BCEOM illustre la démarche adoptée pour le dimensionnement hydraulique des ouvrages.

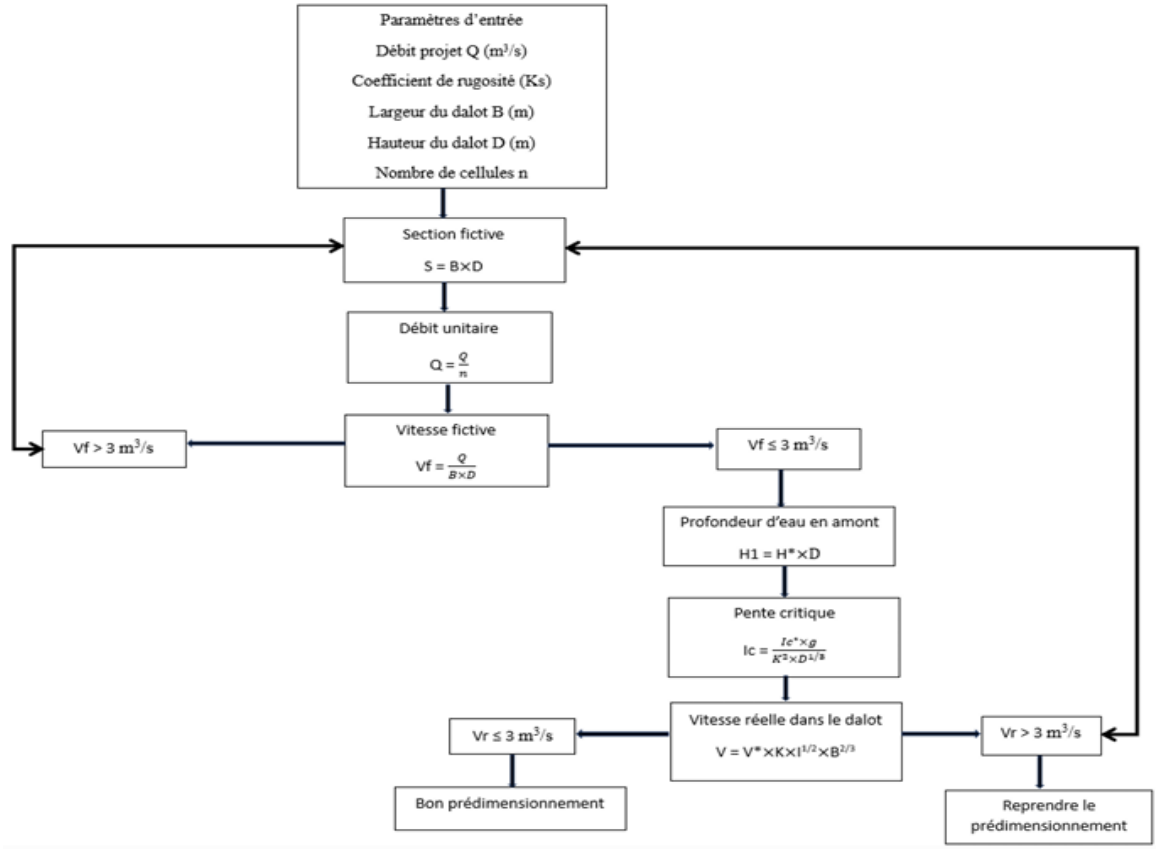


Figure 9: Méthodologie de dimensionnement hydraulique d'un dalot

- **Détermination des sections hydrauliques**

Les résultats issus du calcul hydraulique des dalots sont présentés dans le tableau ci-dessous, ainsi qu'avec leur positionnement sur le tronçon d'étude. Ils feront ensuite l'objet d'un dimensionnement structurel. Le détail des calculs est consigné **en annexe III (titre III).**

Tableau 22: Récapitulatif des sections dalots retenus

Désignation des dalots	BV associés	Débit à évacuer (m³/s)	PK	Section existante	Section calculée	Section Retenue
OH1	**BV_1**	**10,13**	PK 06+550	2x240x100	3x200x150	**3x200x150**
OH2	**BV_2**	**24,81**	PK 06+950	3x200x200	3x300x150	**3x300x200**
OH3	**BV_3**	**7,97**	PK 09+550	2x200x200	3x200x150	**3x200x150**

b) Dimensionnement des sections hydrauliques des caniveaux

Les calculs hydrauliques ont été réalisés essentiellement avec la formule de MANNING STRICKLER en condition d'écoulement uniforme.

$$Q = K_s \times S \times Rh^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \ [\mathbf{11}] \ ; Avec:$$

Q : Débit dans le caniveau (en m³/s)

S = b*y : Section mouillée du caniveau (en m²)

P = b +2y : Périmètre mouillé du caniveau (en m)

y : tirant d'eau (m) ;

b : Largeur au plafond du caniveau (m)

Rh = S/P : Rayon hydraulique (en m)

Ks = 70 pour béton armé : Coefficient de Strickler

I : Pente du caniveau (en m/m)

Les pentes ont été choisies, de façon générale, dans le sens de la pente du terrain naturel. En vérifiant que les vitesses dans les caniveaux sont supérieures à la vitesse minimale (1m/s) qui est la vitesse caractéristique ne favorisant pas de dépôt, et inférieures à la vitesse maximale (3m/s). En tenant compte à la fois du débit transitant dans le caniveau, de la pente, de la largeur au plafond, et de la proximité de l'exutoire, une revanche variable d'environ 15 cm en moyenne a été fixée.

Le résultat des sections des caniveaux est présenté dans le tableau ci- dessous

Tableau 23: Synthèse des sections des caniveaux

BV Associés	Exutoire	SBV	Débit Q (m³/s)	Section adoptée	Intervalle PK		
					Linéaire (m)	PK début	PK fin
BV1	**SBV2-1 (CE_1D)**	**SBV1-1**	1,48	**80x80**	951	05+000	05+951
	OH1	**SBV2-1**	1,47	**80x80**	818	05+951	06+769
BV2	**OH2**	**SBV1-2**	2,99	**120x120**	646	07+415	06+769
	SBV1-2	**SBV2-2**	2,38	**120x100**	768	08+183	07+415
	SBV2-2	**SBV3-2**	2,10	**100x80**	693	08+876	08+183
BV3	**OH3**	**SBV1-3**	1,92	**80x80**	1127	08+876	10+003

CE_D : Caniveaux extérieurs côté droit

OH : ouvrage hydrauliques (transversaux)

Le détail des calculs est consigné **en annexe III (titre III)**

Pour des raisons de facilité d'entretien et afin de minimiser les risques d'obstructions dues aux dépôts divers et une dégradation de la chaussée, une section minimale de 80 x 80 cm² ont été adoptée pour les caniveaux intérieurs conformément à l'APD, servant de drainage des eaux de ruissellement de chaque demi-chaussée.

III.4. Dimensionnement structurel des ouvrages

III.3.1. Hypothèse de base

- Références et règlements de calcul

Les calculs seront établis selon les prescriptions et recommandations des documents suivants :

- Le BAEL 91 modifié 99 ;
- Le Guide de conception des Ponts – cadres et Portiques (SETRA) ;
- Le Fascicule n° 61 (Titre II) concernant les charges d'exploitation - Conception Calcul et épreuves des ouvrages d'art (Cahier des Prescriptions Communes (CPC) français) (9) ;

- Caractéristiques des matériaux

Choix de la classe du béton

Le choix du dosage en ciment et la résistance à la compression du béton à 28 jours dépendent de la classe d'exposition du milieu où se trouve nos différents ouvrages.

Ce tableau extrait du document « Durabilité des Ouvrages » des différents classes d'exposition auxquelles peuvent être soumis un ouvrage.

Tableau 24: Classe d'exposition de l'ouvrage

Classe d'exposition		Caractéristiques de l'environnement
Pas de risque d'attaque ni de corrosion	X0	Très sec, taux d'humidité très faible
Carbonatation provoquant la corrosion	XC1	Toujours sec ou humide
	XC2	Plus souvent humide, quelque fois sec
	XC3	Modérément humide
	XC4	Alternativement humide ou sec
Exposition au gel/dégel avec ou sans agent de déverglaçage	XF1	Faible exposition au gel sans agents antigel
	XF2	Faible exposition au gel avec agents antigel
	XF3	Forte exposition au gel sans agents antigel
	XF4	Forte exposition au gel avec agents antigel

A partir de la classe d'exposition de l'ouvrage, nous pourrons déterminer la classe de notre béton à savoir la résistance du béton et le dosage en ciment. Le tableau ci-dessous illustre cela :

Tableau 25: Choix du dosage en ciment et la résistance du béton

	X0	XC1/XC2	XF1/XC3/XC4/XD1	XF2	XF3	XF4
Eeff/liant éq, maxi	-	0,65	0,60	0,55	0,55	0,45
Resistance mini	-	C20/25	C25/30	C25/30	C30/37	C30/37
Liant éq, mini	150	260	280	300	315	340
Air mini	-	-	-	4	4	4
Additions maxi	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Nature ciment	-	-	-	-	-	-

Nos ouvrages seront réalisés avec un béton de classe B25, avec les caractéristiques mécaniques suivantes :

- Résistance (sur éprouvettes cylindriques) à la compression à 28 jours : fc_{28} =25 MPa
- Résistance à la traction à 28 jours : ft_{28} =0,6+0,06xfc_{28} =2,1MPa
- Dosage en ciment pour béton armé : 350 kg/m³ de CPA 42.5
- Poids volumique du béton : γ_b = 25 KN/m³
- Module de déformation longitudinale instantanée : Ei= 11000x$(fc28)^{1/3}$ = 32164,195 MPa
- Module de déformation longitudinale différé :
- Contrainte limite du béton à l'ELS : σ_{bc} =0,6xfc_{28} = 15 MPa
- Contraintes de calcul à l'ELU : $f_{bu} = \frac{0,85 \times f_{c28}}{\theta \times \gamma_{béton}}$, avec $\theta = 1$ et $\gamma_{béton} = 1,5$.

$$fbu = 14,17MPa$$

Acier

- Nuances de l'acier : Acier à Haute Adhérence (HA), Fe E 500
- Limite d'élasticité fe= 500 MPa
- Coefficient de fissuration : η= 1,6 pour HA
- Coefficient de sécurité : γ_s= 1,15 (9)
- Coefficient de scellement : Ψs= 1,5 pour HA
- Contrainte admissible des aciers à l'ELS (fissuration préjudiciable) :

$$\sigma_{st} = \min\{\frac{2}{3}\,\text{fe}, \max(\frac{1}{2}\,fe; 110\sqrt{\eta.ft_{28}})\} = 250\ \text{MPa}$$

- Contraintes admissibles à l'ELU : $f_{su} = \frac{f_e}{\gamma_s} = 434{,}78\ MPa$
- Enrobage : 3cm

Revêtement béton bitumineux

- Poids volumique du béton bitumineux : $\Upsilon_{BB} = 24kN/m^3$
- Épaisseur béton bitumineux : $e_{BB} = 5cm$
- Epaisseur grave bitume : e_{GB} =8cm

Sol

Les caractéristiques du matériau de remblai sont issues des essais géotechniques et conformes aux prescriptions du cahier des clauses techniques particulières (CCTP).

- Contrainte admissible du sol support est supposé égale à 0,15 MPa
- Poids volumique des terres : γr = 20 kN/m^3
- L'angle de frottement interne : 30°
- Coefficient de poussée des terres ka = 0,33
- Surcharge des terres : q = 10 KN/m^2

- Système de chargement (10)

Le dimensionnement des dalots en matière de structure commence par une évaluation précise des charges qu'ils devront supporter, ainsi que par un calcul détaillé des sections d'acier nécessaires pour les soutenir. Cette phase essentielle nécessite une analyse approfondie des diverses sollicitations auxquelles les dalots seront soumis, notamment les charges routières A(L), B (Bc, Bc Niger et Bt), les charges militaires Mc 120...

- Les cas de chargement à étudier (cas des caniveaux)
  - Dallette : sera étudiée sous une roue isolée de 10 Tonnes (système Br) en stationnement
  - Piédroits ou violes : Soumises aux efforts transmis par la dallette chargée et aux poussées dues à la roue de 10 Tonnes stationnée à fleur de la paroi du piédroit
  - Radier : étudié sous les efforts qui sont transmis par les voiles dans les différents cas de chargement et par la réaction du sol.

III.4.2. Dimensionnement structurel des dalots

Le dimensionnement structurel des dalots se fera de deux façons à savoir : le dimensionnement manuel et à l'aide du logiciel CYPE. Nous avons effectué le prédimensionnement et déterminé les sollicitations du OH1 et OH3 de section hydraulique 3 x 200 x150 manuellement afin de déterminer le système de charge le plus défavorable, ensuite nous utiliserons le logiciel CYPE pour la modélisation et calcul des armatures. Le dimensionnement structurel du OH 2 sera entièrement fait sur le logiciel CYPE-Ponts-cadres PICF-2017 en référence du guide SETRA du « Ponts-cadres et portiques »(11).

Les sections d'aciers du OH 1 obtenues sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 26: Récapitulatif des sections d'aciers des cellules du dalot 3*200*150 cm²

N°	DESIGNATION		Acier As	Espacement (cm)	Acier Ar	Espacement (cm)
1	Tablier	Supérieur	HA10	20	HA10	20
		Inférieur	HA10	20	HA10	20
2	Radier	Supérieur	HA12	20	HA12	20
		Inférieur	HA12	20	HA12	20
3	Piédroit	Nappe en arrière	HA10	20	HA10	20
		Nappe en avant	HA10	20	HA10	20
4	Mur en aile	Nappe en arrière	HA10	15	HA10	20
		Nappe en avant	HA10	15	HA10	20
5	Semelle mur en aile	Supérieur	HA10	15	HA10	20
		Inférieur	HA10	15	HA10	20

Le détail de ces calculs sont consignés e**n annexe IV.**

Les plans de ferraillages sont consignés **en annexe XI.**

III.4.2. Dimensionnement structurel des caniveaux

Seul le dimensionnement manuel du caniveau de section 100 x 80 cm² a été réalisé

Les détails de calcul pour le dimensionnement du caniveau de section 100 x 80 cm² sont présentés en **annexe V.** Les plans de ferraillages sont consignés **en annexe XI.**

Les sections d'aciers obtenues sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 27: Récapitulatif des aciers du caniveau de section 100 x 80 cm²

Désignation	**Dallette**		**Piédroit**		**Radier**	
Caractéristiques	**b= 1.14 m** **e=0.20 m**		**e=0.15 m** **h= 1.00 m**		**b=1.30 m** **e= 0.15 m**	
Section	Nappe supérieure	Nappe inférieure	Nappe en avant	Nappe en arrière	Nappe supérieure	Nappe inférieure
Aciers principaux	9HA8	9HA8	8HA8	8HA8	8HA8	8HA8
Espacement (cm)	10	10	12	12	12	12
Aciers de répartitions	5 HA 8	5HA8	5 HA 8	5HA8	7 HA 8	7 HA8
Espacement (cm)	10	10	20	20	20	20

III.5. Conclusion

Les résultats issus du calcul des débits ont permis de déterminer les sections hydrauliques des ouvrages longitudinaux et transversaux. Par ailleurs, le prédimensionnement et détermination des sollicitations du OH1 et OH3 de section hydraulique 3 x 200 x150, ont été fait manuellement afin de déterminer le système de charge le plus défavorable, ensuite nous avons utilisé le logiciel CYPE pour la modélisation et le calcul des armatures. Le dimensionnement manuel d'un caniveau a été réalisé. L'ensemble des détails de calcul et plan de ferraillage est présenté en annexe.

IV. SIGNALISATION, ET EQUIPEMENT DE SECURITE

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous aborderons d'abord la signalisation routière qui sera utilisée dans le cadre de ce projet, ensuite, nous parlerons des équipements de sécurité routière et, enfin nous ferons l'aménagement de notre route.

IV.2. Signalisation routière

La signalisation routière désigne l'ensemble des dispositifs implantés le long ou à proximité de la chaussée, et destiné à assurer la sécurité des usagers. Qu'elle soit permanente ou temporaire, verticale ou horizontale, elle contribue à organiser les déplacements conformément aux prescriptions du code de la route. Elle a pour but d'informer sur les dangers potentiels et de rappeler les règles de circulation à respecter, tout en fournissant des indications pratiques pour orienter les choix de conduite et faciliter les déplacements. On distingue :

IV.2.1. Signalisation temporaire

La signalisation temporaire est instaurée durant les phases d'exécution des travaux afin d'assurer la sécurité des usagers et des travailleurs. Elle a pour fonction d'alerter, de guider et de réguler la circulation en présence d'obstacles ou de modifications du tracé habituel, et sera utilisée au cours de la réalisation de la route et la construction des différents ouvrages. Les dispositifs utilisés sont généralement identifiables par leur couleur jaune.

Les signalisations temporaires que nous utiliserons dans le cadre de ce projet sont les suivants :

- Début et fin du chantier ;
- Déviations à gauche ou à droite ;
- Travaux, chaussée rétrécie ;
- Limitations de vitesse, feux tricolores ou agents de circulation ;
- Sortie de camion, route barrée ;



Figure 10: Signalisations temporaires

IV.2.2. Signalisation Permanente

On distingue :

a) La signalisation verticale

La signalisation verticale désigne l'ensemble des panneaux, dispositifs et supports implantés le long d'un axe routier, avec pour but de fournir aux usagers des informations essentielles garantissant la sécurité et la régulation de la circulation. Elle joue un rôle essentiel dans un projet routier tout en permettant de :

- Prévenir les dangers potentiels grâce aux panneaux de forme triangulaire, destinés à attirer l'attention des conducteurs sur des situations à risque ;
- Réglementer la circulation par l'intermédiaire des panneaux circulaires, qui imposent des obligations ou indiquent des interdictions spécifiques ;
- Orienter et informer les usagers à travers les panneaux d'indication.

Dans le cadre de ce projet, le bord du panneau sera placé à une distance minimale de 1,50 m de la chaussée selon les prescriptions techniques du maitre d'ouvrage. Le nombre de panneaux projetés en fonction de leurs catégories sont fournis dans le tableau suivant :

Tableau 28: Signalisation verticale

	Description	Type de panneau
	Surélévation de la chaussée (signal de position)	C27
	Arrêt obligatoire	AB4
	Passage pour piéton (signal de position)	C20
	Passage pour piéton (signal avancé)	A13B
	Endroit fréquenté par les enfants (signal avancé)	A13a
	Limiter la vitesse à 30 Km/h	B14-30
	Fin de la limitation des vitesses de 30 Km/h	B33-30
	Parking public	C1a
	Arrêt autobus	C6
	Cédez le passage	AB3a
	Ralentisseur de type dos d'âne	A2b
	Arrêt et stationnement interdit	B6D

b) La signalisation horizontale

Elle fait référence à toute inscription sur la chaussée, donnant les informations et des directives aux conducteurs, aux cyclistes et aux piétons. On a :

- Les lignes transversales

  Ligne continue pour indiquer un « STOP » et discontinue pour indiquer un « CEDEZ LE PASSAGE »
- Les lignes longitudinales
  - Les lignes discontinues axiales ou de délimitation des voies de type T1, T'1 ou T3, servent à séparer les flux de circulation et permettent aux conducteurs de les franchir pour dépasser ou changer de direction ;
  - Les lignes discontinues de bord de chaussée de type T2 ;
  - Les lignes continues infranchissables, utilisées pour délimiter les voies de circulation et annoncer aux conducteurs l'interdiction de dépassement ou changement de voie ;
  - Les lignes discontinues d'annonce d'une ligne continue ou de dissuasion (dépassement dangereux).

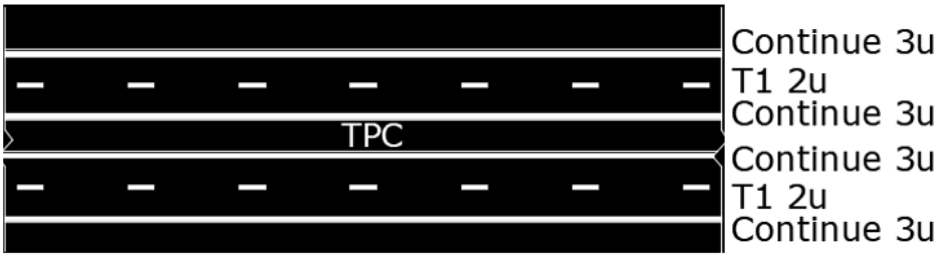


Figure 11: Signalisation horizontale

- Les flèches
  - Les flèches de rabattement ;
  - Les flèches directionnelles.
- Les autres marques
  - Des ralentisseurs et des têtes d'îlots.
  - Pour stationnement et autres périmètres protégés ;
  - Pour passage de piétons.

Tableau 29: Caractéristiques des lignes (signalisation horizontale)

Désignation des lignes	Modulation	Longueur du trait (m)	Longueur des vides (m)	Epaisseur (cm)
Lignes longitudinales				
Lignes continues axiales ou délimitation des voies	-	-	-	2u
				10
Lignes continues axiales ou délimitation du TPC ou à l'approche d'un ilot	-	-	-	3u
				15
Lignes discontinues axiales ou délimitation des voies	T'1	1,50	5	2u
				10
Axiale ou délimitation à l'approche d'un îlot	T3	3	1 ,33	3u
				15
Délimitation de la bande cyclable	T2	3	3,50	3u
				15
Délimitation des voies d'entrée /sortie ou entrecroisement	T2	3	3,50	3u
				15
Lignes transversales				
Ligne « STOP »	-	-	-	10 u
				50
Ligne « CÉDEZ-LE-PASSAGE »	T'2	0,50	0,50	5 u
				25
Passage piéton	T'2	0,50	0,50	5 u
				25

IV.3. Equipements de sécurité routière

C'est l'ensemble des équipements qui permettent d'assurer la sécurité des usagers.

IV.3.1. L'éclairage public

L'éclairage public désigne l'ensemble des installations lumineuses implantées le long des voies et constitue un équipement de sécurité fondamental pour les infrastructures. Il vise à améliorer

la visibilité des usagers particulièrement dans la nuit et renforcer la sécurité, tout en réduisant les risques d'accidents et d'agressions. Il contribue également à la fluidité du trafic et au confort de conduite. Dans le cadre de ce projet, Le fonctionnement de l'éclairage public sera assuré par un coffret d'éclairage normalisé. Le branchement au réseau électrique se fera par un transformateur de type HT/BT. Le réseau d'éclairage sera muni de commandes automatiques d'allumage et le câblage sera enterré.

IV.3.2. Les ralentisseurs

Ils ont pour objectif d'assurer le respect des limitations de vitesse et de réduire les risques d'accidents. Conformément à la norme NF P 98-100, on distingue deux types de ralentisseurs notamment les ralentisseurs de type trapézoïdal et les ralentisseurs de type dos d'âne. Dans le cadre de ce projet, le choix s'est porté sur des ralentisseurs en béton bitumineux de type dos d'âne, dont les dimensions respecteront la réglementation française :

- Hauteur : 0,10 ± 0,01 m
- Longueur : 4 ± 0,20 m ;
- Saillie d'attaque doit être inférieure à 5 mm.

IV.4. Conclusion

Au terme de cette section, nous avons présenté les différents panneaux et marquages au sol relatifs à la signalisation routière, ainsi que les équipements destinés à renforcer la sécurité routière.

CHAPITRE IV : NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

Introduction

Pour bien mener un projet routier, il est impératif de réaliser une étude ou notice d'impact environnemental et social (NIES) avant même le lancement du projet. Elle vise à évaluer les effets potentiels d'un projet sur l'environnement et les populations locales. Dans ce chapitre, il sera donc question pour nous de proposer un aperçu d'impact environnementale et social dans le cadre de notre projet car l'étude étant déjà réaliser.

I. Détermination des sources d'impacts

Chaque source d'impact est susceptible d'agir au moins sur une composante du milieu. En établissant ces liens d'impacts potentiels, on obtient une matrice d'interrelations entre les sources d'impacts d'une part, et les composantes du milieu d'autre part, durant toutes les phases des travaux. Ceci, permettrait de mieux appréhender les interactions entre les activités sources d'impacts et les éléments de l'environnement pouvant être impactés dans le cadre du projet.

Le tableau mettant en avant les différents impacts potentiels du projet est présente à **l'annexe VI du document.**

L'ensemble de ces activités produiront aussi bien des impacts positifs que négatifs sur le milieu d'insertion du projet qu'il conviendra d'analyser afin de proposer des mesures adéquates, pour soit les atténuer, les compenser (impacts négatifs) ou les bonifier (impacts positifs).

II. Identification des principaux impacts positifs et négatifs

Un impact positif engendre une amélioration de la composante du milieu touchée par le projet ; tandis qu'un impact négatif contribue à sa détérioration. En fonction des effets, un impact peut être positif, négatif ou indéterminé (c'est-à-dire qu'il présente à la fois des aspects positifs et négatifs).

Les principaux impacts qui sont susceptibles d'être induits par les différentes composantes environnementales et sociaux pouvant être affectés par la zone du projet sont consignés **dans le tableau à l'annexe VI.**

III. Identification et évaluation des risques du projet

L'identification et l'évaluation des risques d'un projet a pour objectif de déterminer la nature et l'ampleur des impacts potentiellement négatifs susceptibles d'affecter les milieux biophysique, et socio-économique, tout au long du cycle de vie du projet. La méthodologie repose sur l'analyse préliminaire des risques, qui utilise une matrice croisant la probabilité d'occurrence de l'impact et la gravité de ses conséquences, ce qui a permis de classer les risques par niveau.

L'identification et l'évaluation des risques de notre projet seront consignes **dans le tableau à l'annexe VII.**

IV. Mesure d'atténuation, de compensation et de bonification

- Mesures liées à la protection de la qualité de l'air et du climat
  - Arroser régulièrement et suffisamment les emprises des travaux, des pistes d'accès aux sites d'emprunt, à la traversée des zones habitées pour réduire l'envol de poussière ;
  - Limiter la vitesse des véhicules sur le chantier ;
  - Utiliser les véhicules et engins de chantier en bon état de fonctionnement afin de favoriser une bonne combustion et une réduction des émissions de gaz polluants ;
  - L'arrêt des moteurs des véhicules et des engins non utilisés ;
  - Plantations d'alignements d'arbres le long du tronçon de la route, et des bosquets au niveau de la bandes verte ainsi que des établissements scolaires et sanitaires qui sont longés sur la voie pour contribuer à l'absorption du CO_2 dégagé.
- Mesures liées à la santé publique
  - Mise en place d'une unité de mini santé pour la prise en charge des premiers soins et l'évacuation vers un centre localisé si nécessaire ;
  - Sensibiliser les personnels et les populations riveraines sur les IST, VIH/SIDA, hépatites et grossesses non désirées.
- Mesures pour le milieu socio-économique
  - Informer les populations sur les travaux, les interruptions de réseaux et les consignes de sécurité ;
  - Mettre en œuvre un plan d'action de réinstallation pour l'indemnisation des personnes affectées par le projet.

- Mesures liées à la sécurité
  - Sensibiliser les conducteurs à la prudence et à la limitation de vitesse ;
  - Fournir des EPI (Equipement de Protection Individuel) aux personnels du chantier avec port obligatoire ;
  - Mettre en place une signalisation adéquate pour les déviations de chantier et la sécurité des usagers.
- Mesures liées à la protection des sols et eaux
  - Collecter et traiter les déchets solides et liquides par des acteurs agréés, interdire le rejet de déchets solides et liquides sur le chantier ;
  - Interdire le rejet d'eaux usées dans les caniveaux, interdire le lavage d'engins dans les cours d'eau.
- Mesures liées à la protection de la végétation et de la faune
  - Planter des arbres en compensation le long du tronçon à aménager et dans les espaces disponibles ;
  - Il sera strictement interdit de réaliser les zones d'emprunt dans les aires protégées et lieux sacrés ;
  - Toutes les zones et piste d'accès défrichées devront être revégétalisées ;
  - Interdire la chasse, la capture et le transport de viande sauvage par le personnel ; limiter la vitesse pour la préserver.
- Mesures liées à la protection du paysage
  - Choisir les sites d'emprunt de matériaux et de carrières tout au moins 200 m de tronçon de route et à ce qu'ils ne soient pas visibles ;
  - Procéder à la récupération des matériaux excédentaires (déblais, déchets de démolition etc…) et leur acheminer vers des lieux de stockage appropriés ;
  - Procéder à la remise en état des zones d'emprunt de matériaux et des carrières.
- Mesures liées au patrimoine culturel et touristique
  - Sensibilisation du personnel au respect des us (les pratiques habituelles) et coutumes locales ;
  - Information et salutation des notables avant la réalisation des travaux ;
  - Respecter les cultures et coutumes des riverains.

Conclusion :

Ce chapitre a révélé les impacts positifs et négatifs liés à notre projet, ainsi que les mesures d'atténuation, de compensation et de bonification proposées conformément au cadre législatif et réglementaire du Burkina Faso. Malgré certains effets négatifs, il ressort que le projet demeure globalement avantageux aussi bien pour les usagers, que les riverains.

CHAPITRE V : ETUDE FINANCIERE ET PLANIFICATION DES TRAVAUX

Introduction

Nous sommes arrivées à l'étape finale de cette étude. Nous présenterons dans ce chapitre, l'analyse financière du tronçon étudié, visant à estimer le coût global lié aux travaux d'élargissement de la RN2, afin d'analyser la répartition des dépenses et surtout apprécier la faisabilité économique du projet. Nous allons également présenter l'état actuel d'avancement des travaux, et proposer un planning optimisé destiné à assurer une exécution efficace et le respect des délais.

I. ETUDE FINANCIERE DU PROJET

- Avant métré du projet

Il consiste à déterminer les quantités de matériaux nécessaires à la réalisation des projets, en s'appuyant sur le DAO (Dossier d'Appel d'Offre) ou plans d'exécution.

Il tiendra en compte les taches suivants :

- Installation générale du chantier ;
- Travaux préparatoires ;
- Terrassements généraux ;
- Exécution de la chaussée ;
- Assainissement de la zone du projet ;
- Signalisations, sécurité et éclairage ;
- Actions liées au sociale et à l'environnement.

- Devis estimatifs du projet

L'estimation du cout global des travaux d'élargissement de la RN2 sur le tronçon de 4,995 Km, a été faite en se basant sur la mercuriale des prix d'infrastructure routière 2025 pour la ville de Ouagadougou. Les prix ont été extraits du code 03.3.6 du mercurial des prix, relatif à la « construction des routes bitumées » (12). Pour l'évaluation du coût global, nous avons retenu les prix moyens afin de fournir une estimation fiable et représentative des dépenses prévues.

Le tableau ci-dessous donne un récapitulatif du devis estimatif du projet, et les détails de ces calculs sont présentés **à l'annexe IX.**

Le cout global de notre projet s'élève à 10 645 532 895 FCFA tout taxe comprise (TTC), soit 2 129 106 509 FCFA TTC par kilomètre.

Ces montants sont répartis comme suit :

N°	Désignation	Montant (FCFA)	% du total TTC
100	Installation générale du chantier	421 933 952	3,96
200	Travaux préparatoires	213 596 610	2
300	Terrassements généraux	1 432 500 000	13,46
400	Exécution de la chaussée	4 081 704 228	38,34
500	Assainissement de la zone du projet	2 237 489 827	21,02
600	Signalisations, sécurité et éclairage	403 302 796	3,79
700	Actions liées au sociale et à l'environnement.	80 750 000	0,76
I	Total général HT	8 871 277 413	
II	TVA 18%	1 596 829 934	15
III	Imprévus (2%)	177 425 548	1,67
IV	Total général TTC	10 645 532 895	100

- Interprétation

Le cout global de notre tronçon s'élève à 10 645 532 895 FCFA tout taxe comprise (TTC), soit 2 129 106 509 FCFA TTC par kilomètre. Les aléas des imprévus ont été pris égale à 2 % pour tenir compte des activités qui pourront surgir au cours des travaux mais qui n'ont pas été pris en compte.

L'analyse montre que la tâche « Exécution de la chaussée » représente la part la plus importante dans le coût total des travaux TTC, soit 38,34%. Ce qui reste cohérent avec la qualité et la consistance de la structure de chaussée proposée au regard des sollicitations attendues à termes de trafics.

II. PLANIFICATION DES TRAVAUX

La planification des travaux a pour objectif d'organiser l'exécution du projet de manière cohérente, en assurant une bonne coordination des tâches et une maîtrise des délais. Elle constitue un outil essentiel pour le suivi et la gestion du chantier.

La méthode utilisée est celle de PERT. Celle-ci a été établi à partir du planning prévisionnel fourni par l'entreprise, qui a servi de base de travail. Une analyse de l'enchaînement des tâches et de leurs durées a permis de proposer un planning optimisé, tenant compte des contraintes du site et du maintien partiel de la circulation. Afin d'élaborer ce planning, nous nous sommes appuyés sur plusieurs hypothèses de planification :

- ✓ Les rendements des équipements ont été estimés à partir de leurs performances usuelles, en considérant un niveau de fonctionnement moyen, sans pannes majeures susceptibles de perturber l'avancement des travaux. Cette hypothèse tient compte des conditions locales, notamment l'état des sols, l'accessibilité du site et des contraintes climatiques.
- ✓ La main-d'œuvre mobilisée est supposée qualifiée. Les rendements humains correspondent à un rythme de travail normal, dans des conditions standards, sans recours systématique aux heures supplémentaires.
- ✓ Les ressources matérielles nécessaires à l'exécution des travaux sont supposées disponibles en temps voulu. Les approvisionnements en matériaux ne présentent pas de ruptures susceptibles d'entraîner des arrêts prolongés de chantier.
- ✓ Les travaux sont supposés se dérouler dans des conditions normales d'exécution, en tenant compte des aléas climatiques majeurs.

Sur la base de ces hypothèses, certaines tâches ont été reprogrammées à des dates plus appropriées, afin d'améliorer leur enchaînement, de limiter les temps morts entre activités et d'assurer un meilleur agencement global des travaux, tout en veillant à ne pas perturber l'exécution des autres tâches.

Cette réorganisation a permis d'optimiser le planning initial et d'aboutir à une réduction de la durée globale des travaux de deux mois et vingt jours par rapport à la date de fin initialement prévue par l'entreprise, tout en garantissant le respect des exigences techniques et de sécurité.

Le planning détaillé des travaux est présenté **en annexe X.**

Conclusion

L'étude financière a permis d'évaluer de manière fiable le coût global des travaux et de vérifier la cohérence de la répartition des dépenses. Nous avons obtenu un cout global de 10 645 532 895 FCFA TTC. La planification des travaux, basée sur un planning prévisionnel optimisé à partir de celui de l'entreprise, a permis un meilleur agencement des tâches et une réduction de la durée globale du chantier de deux mois et vingt jours par rapport à la date de fin initialement prévue.

CONCLUSION GENERALE

La présente étude, intitulée « Revue de l'étude technique détaillée des travaux d'élargissement de la Route Nationale n°2 en 2×2 voies au Burkina Faso, intégrant les sites propres de bus et les voies de contre-allée: tronçon Bissighin – Yagma – Bassinko, long de 4,995 km », dont l'objectif général est de concevoir et de dimensionner une chaussée durable, confortable et économique, capable de supporter les charges de trafic actuel et de résister aux conditions environnementales locales tout en assurant la sécurité et le confort des usagers.

Les travaux réalisés ont permis de mener à bien la conception géométrique du projet, de définir une structure de chaussée adaptée, de faire les études hydrologiques et hydrauliques nécessaires, d'établir une notice d'impact environnementale et social, d'estimer le coût global des travaux et proposer un planning d'exécution un planning d'exécution optimisé.

À partir du fond topographique et du plan de lotissement fournis, les logiciels AutoCAD et Covadis ont été utilisés pour la modélisation du tracé, ce qui nous a permis de générer des profils en travers, ainsi que des profils combinés (profil en long et axe en plan) en cohérence avec les contraintes du site et les normes en vigueur.

Le dimensionnement de la structure de chaussée a été réalisé en tenant compte des caractéristiques géotechniques du sol et du niveau de trafic observé dans la zone d'étude. Le choix des différentes couches de fondation, de base et de roulement vise à garantir la durabilité et la pérennité de la chaussée durant sa durée de vie.

En matière d'assainissement, les ouvrages de drainage ont été dimensionnés à partir des débits de calcul déterminés en amont. Des caniveaux et dalots ont été proposés afin d'assurer une évacuation efficace des eaux pluviales. Les sections de caniveaux intérieures de 80x80 cm² ont été adopté pour le drainage des eaux de demi-chaussées. Ces aménagements contribuent à la protection de la chaussée contre les risques d'inondation, sous réserve d'un entretien régulier garantissant leur bon fonctionnement dans le temps. Par ailleurs, le dimensionnement structurel des ouvrages en béton armé a été effectué afin d'assurer leur résistance mécanique et leur durabilité.

Une analyse des impacts environnementaux et sociaux a également été réalisée afin d'identifier les effets potentiels du projet, qu'ils soient positifs ou négatifs. Cette analyse a permis de proposer des mesures d'atténuation appropriées, conformes à la réglementation en vigueur.

Enfin, l'estimation des quantités de matériaux a permis d'établir une évaluation financière basée sur les prix unitaires du mercurial 2025. Le coût global du projet est ainsi estimé à 10 645 532 895 FCFA TTC, soit environ 2 129 106 509 FCFA TTC par kilomètre. Un planning d'exécution des travaux a été proposé à l'aide de la méthode de PERT, en s'appuyant sur le planning initial de l'entreprise, puis optimisé afin d'assurer une bonne organisation des tâches et le respect des délais d'exécution.

La réalisation de ce projet d'élargissement favorisera surtout l'amélioration des conditions de circulation et de drainage dans la zone du projet et la structuration du réseau routier national.

RECOMMANDATIONS

L'élargissement d'une route est un projet complexe. Il implique des enjeux techniques, économiques, sociaux et environnementaux. Les travaux peuvent également perturber la circulation et la vie des riverains. A cet effet, nous recommandons :

- De veiller au respect des règles de sécurités du chantier afin de prévenir d'éventuels accidents ;
- D'Organiser le chantier de manière efficace pour éviter les retards ;
- De mettre en place un plan d'entretien périodique de la chaussée et des ouvrages d'assainissement afin de prolonger leur durée de vie ;
- De Maîtriser les nuisances liées aux poussières, au bruit et aux déchets pendant et après les travaux ;
- La bonne réalisation et la vérification du CBR des différentes couches de chaussée pour éviter les déformations structurales.

BIBLIOGRAPHIE

1. Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques, « Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines ICTAVRU ». CERTU, 2009.

2. Centre expérimental de recherches et d'études du bâtiment et des travaux publics (CEBTP), « Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux ». La Documentation française 1984.

3. « Dimensionnement structurel des chaussées routières », NF P 98-086, mai 2019.

4. « Conception et dimensionnement des structures de chaussée : Guide technique » SETRA-LCPC, 1994.

5. Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques, « Chaussées bus : choix des matériaux et dimensionnement structurel ». CERTU, 2006.

6. NGUYEN VAN TUU, B. LEMOINE, ET J. POUPLARD. Bureau Central d'Études pour les Équipements d'Outre-Mer (BCEOM), « HYDRAULIQUE ROUTIÈRE ». En collaboration avec le Ministère de la Coopération et du Développement, 1981.

7. C. PUECH ; D. CHABI GONNI et CIEH. « Courbes hauteur de pluie - durée - fréquence - Afrique de l'Ouest et Centrale pour des pluies de durée de 5 minutes à 24 heures ». OUAGADOUGOU : CIEH, 1984.

8. CIEH, ORSTOM, ET LCT-CEMAGREF-ENGREF. « 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 ». 2 mars 1998.

9. « Règles BAEL 91 Révisées 99–Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites ». DTU P 2000.

10. « Fascicule 61 - Titre II - Conception Calcul et Épreuves Des Ouvrages D'Art Programme Des Charges Et Epreuves Des Ponts Routes ». Ministère de l'Équipement et du Logement / Ministère de l'Économie et des Finances, réédition en 1980.

11. V. Le Khac, Et A. L. MILLAN. Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes « Ponts-cadres et portiques - Guide de conception ». SETRA, 1992.

12. COULIBALY, Drissa. « Mercuriale 2025 : BTP, Fournitures, Prestations | Autorité de régulation de la commande publique (ARCOP) ». [en ligne]. 2025. Disponible à l'adresse : https://www.arcop.bf/mercuriale-2025-btp-fournitures-prestations/

ANNEXES

ANNEXE I : CONCEPTION GEOMETRIQUE DE LA ROUTE

Tableau I : Tracé en plan de la chaussée principale

Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	333.82gr	385.270	5000.000	650808.026	1370971.197
Arc 1	Rayon	1000.000 m	29.030	5385.270	650475.842	1371166.355
	Centre X	649969.292 m				
	Centre Y	1370304.145 m				
Droite 2	Gisement	331.97gr	236.856	5414.300	650450.603	1371180.695
Arc 2	Rayon	1000.000 m	12.288	5651.156	650242.986	1371294.696
	Centre X	649761.676 m				
	Centre Y	1370418.146 m				
Droite 3	Gisement	331.19gr	1055.371	5663.443	650232.179	1371300.544
Arc 3	Rayon	-1500.000 m	478.317	6718.814	649300.922	1371797.100
	Centre X	650006.678 m				
	Centre Y	1373120.697 m				
Droite 4	Gisement	351.49gr	1350.173	7197.131	648921.552	1372085.080
Arc 4	Rayon	-2000.000 m	72.306	8547.304	647989.378	1373061.819
	Centre X	649436.212 m				
	Centre Y	1374442.641 m				
Droite 5	Gisement	353.79gr	867.291	8619.610	647940.413	1373115.017
Arc 5	Rayon	-2000.000 m	11.947	9486.901	647364.695	1373763.664
	Centre X	648860.495 m				
	Centre Y	1375091.287 m				
Droite 6	Gisement	354.17gr	442.539	9498.848	647356.791	1373772.623
Arc 6	Rayon	2000.000 m	58.613	9941.387	647065.011	1374105.347
	Centre X	645561.307 m				
	Centre Y	1372786.682 m				
				10000.000	647025.725	1374148.842
Longueur totale de l'axe 5000.000 mètre(s)						

Tableau II : Profil en long du projet

Elts Caractéristiques				Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon		Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente	0.87 %	236.323	5000.000	301.997
Parabole 1	Rayon	-114665.263 m	793.531	5236.323	304.058
	Sommet Absc.	6236.365 m			
	Sommet Alt.	308.419 m			
Pente 2	Pente	0.18 %	869.430	6029.854	308.233
Parabole 2	Rayon	-12573.790 m	75.302	6899.285	309.799
	Sommet Absc.	6921.930 m			
	Sommet Alt.	309.819 m			
Pente 3	Pente	-0.42 %	54.001	6974.587	309.709
Parabole 3	Rayon	5353.565 m	60.362	7028.588	309.483
	Sommet Absc.	7051.007 m			
	Sommet Alt.	309.436 m			
Pente 4	Pente	0.71 %	821.283	7088.950	309.570
Parabole 4	Rayon	58742.429 m	290.067	7910.232	315.391
	Sommet Absc.	7493.910 m			
	Sommet Alt.	313.916 m			
Pente 5	Pente	1.20 %	175.266	8200.300	318.163
Parabole 5	Rayon	-18369.346 m	257.550	8375.566	320.270
	Sommet Absc.	8596.461 m			
	Sommet Alt.	321.599 m			
Pente 6	Pente	-0.20 %	825.417	8633.116	321.562
Parabole 6	Rayon	21265.130 m	154.102	9458.533	319.915
	Sommet Absc.	9500.966 m			
	Sommet Alt.	319.873 m			
Pente 7	Pente	0.53 %	387.365	9612.635	320.166
				10000.000	322.200
Longueur totale de l'axe 5000.000 mètre(s)					
Longueur développée totale de l'axe 5000.084 mètre(s)					

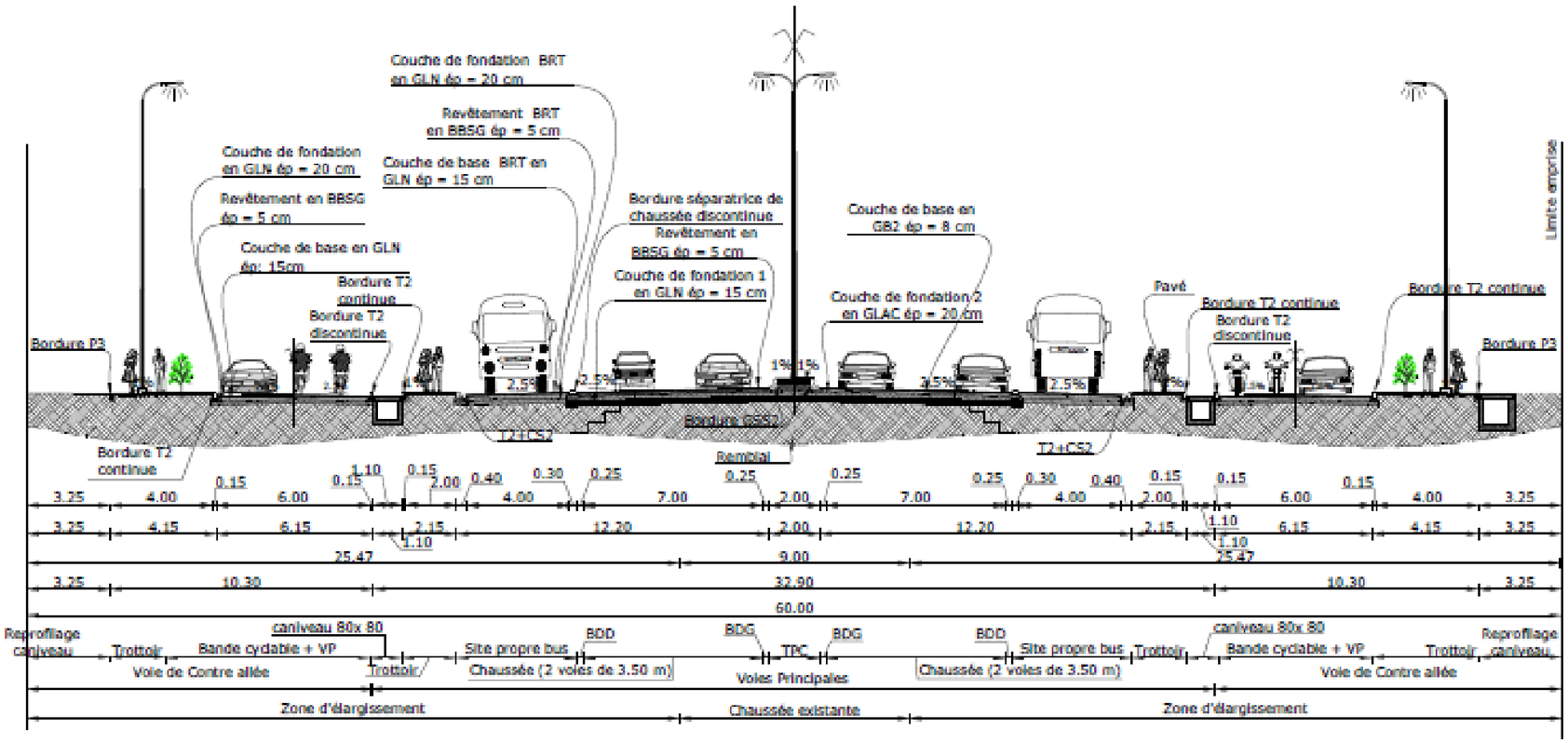
PLANS GEOMETRIQUES DU PROJET

- PROFIL EN TRAVERS TYPE
- PROFIL EN TRAVERS COURANT
- TRACÉ COMBINÉ

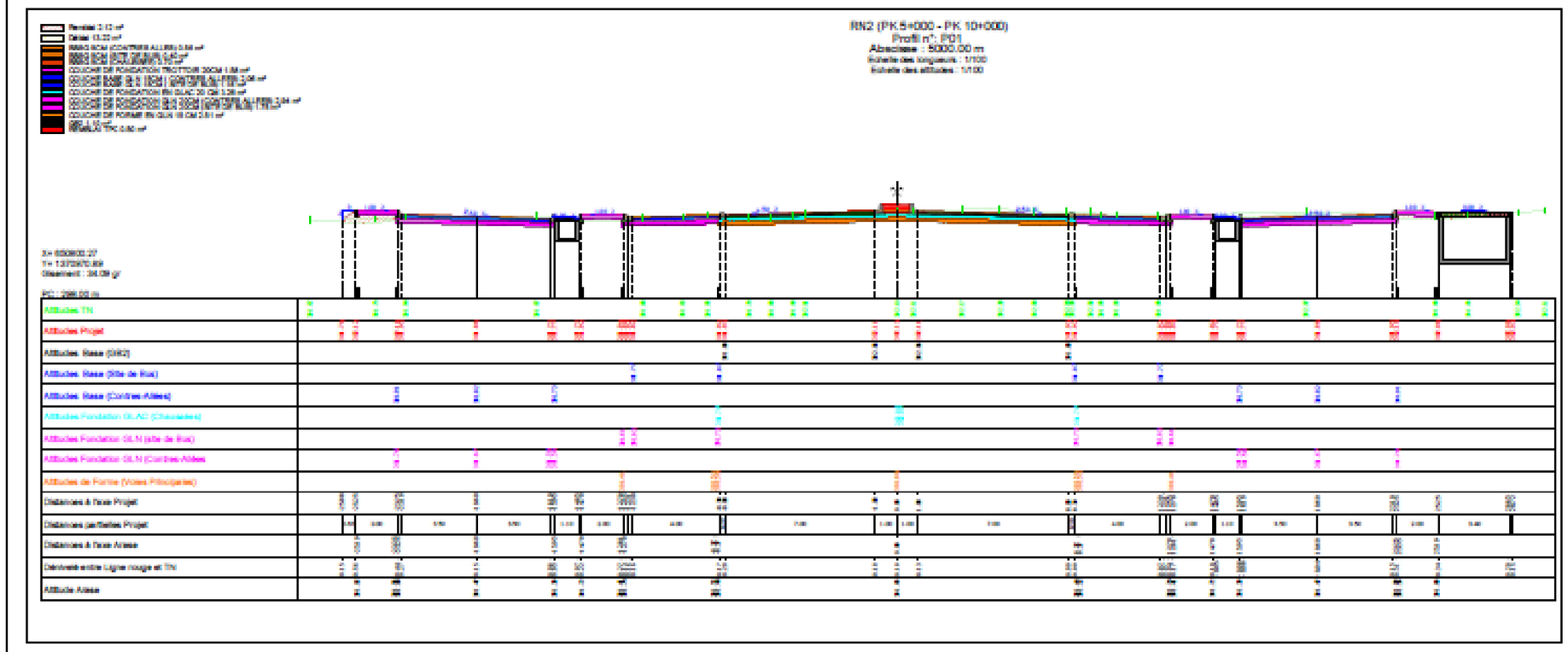
PROFIL EN TRAVERS TYPE

ÉLARGISSEMENT DE LA RN 2 EN 2X2 VOIES DU PK 05+000 AU PK10+000

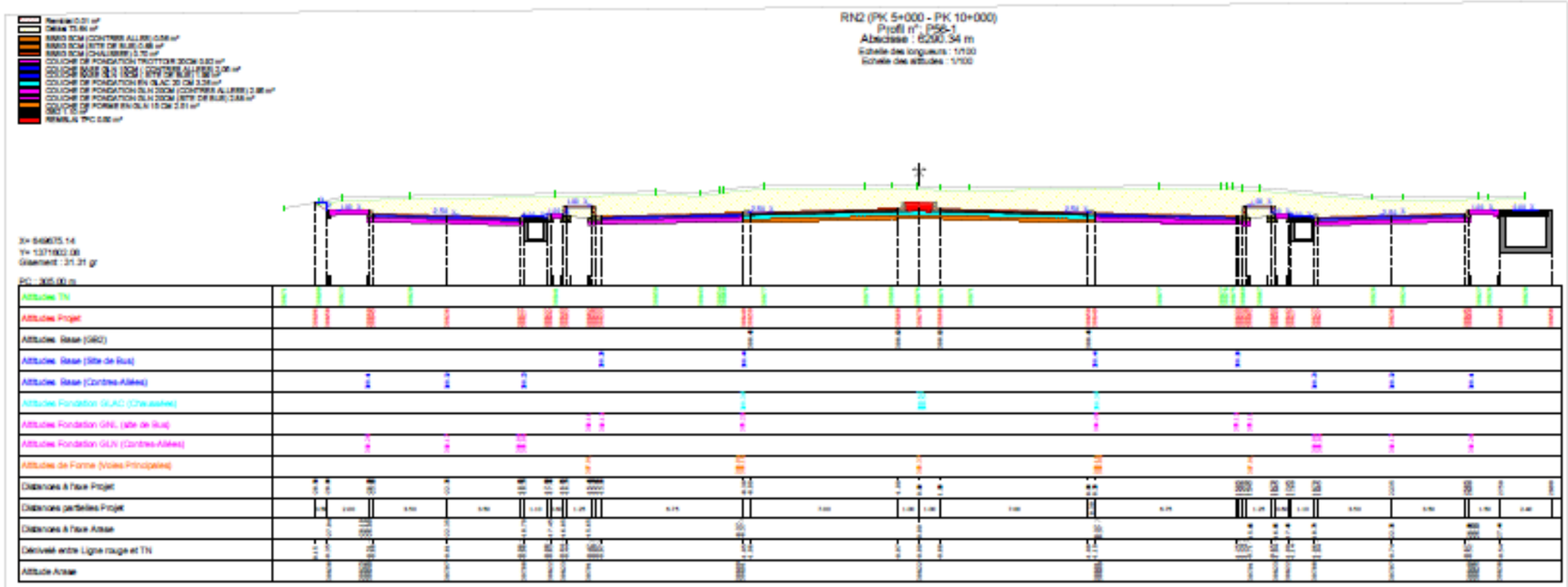
Echelle : 1/150è



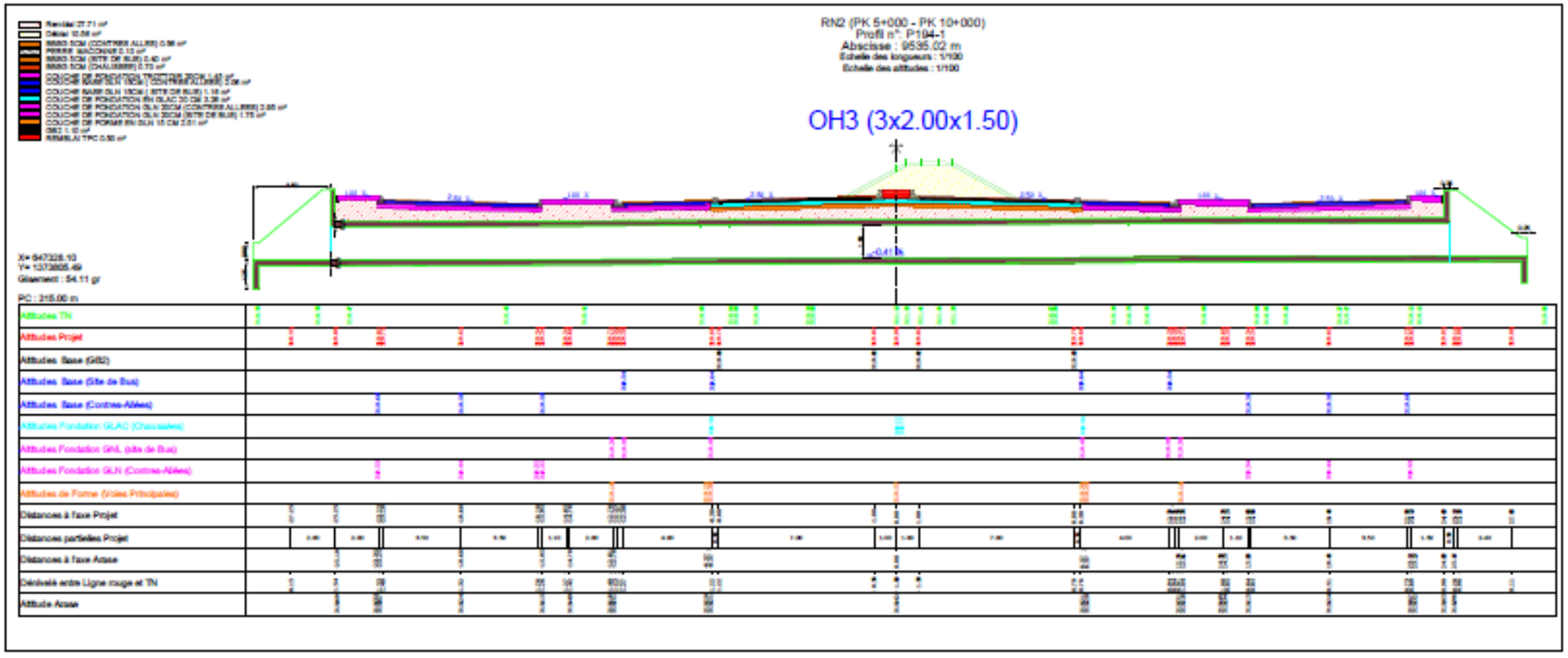
REPUBLIQUE DU BURKINA FASO MINISTERE DES INFRASTRUCTURES ET DU DESENCLAVEMENT DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES ROUTIERES	CABINET D'INGENIERIE ET D'EXPERTISE EN GENIE CIVIL INSTITUT INTERNATIONAL D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT	REVUE DE L'ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX D'ELARGISSEMENT DE LA ROUTE NATIONALE N°2 EN 2*2 VOIES AU BURKINA FASO, INTEGRANT LES SITES PROPRES DE BUS ET LES VOIES DE CONTRE-ALLÉE: TRONCON BISSIGHIN-YAGMA-BASSINKO, LONG DE 4,995 KM.	PROFIL EN TRAVERS TYPE	Etabli par:	KITIO SAÏDA LAURA
				Date:	Novembre 2025
				Encadreur CIE-GC:	NANA JOSUE
				Encadreur 2iE:	MADOUGOU ISSA
		PLAN D'EXECUTION	Plan n°: 1	Echelle:	1/50ème



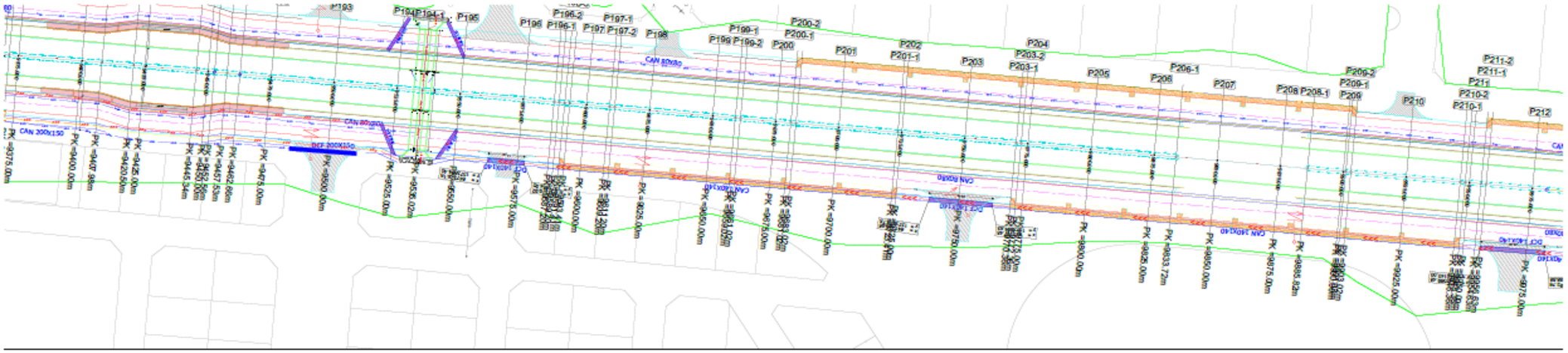
REPUBLIQUE DU BURKINA FASO MINISTERE DES INFRASTRUCTURES ET DU DESENCLAVEMENT DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES ROUTIERES	CABINET D'INGENIERIE ET D'EXPERTISE EN GENIE CIVIL INSTITUT INTERNATIONAL D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT	REVUE DE L'ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX D'ELARGISSEMENT DE LA ROUTE NATIONALE N°2 EN 2*2 VOIES AU BURKINA FASO, INTEGRANT LES SITES PROPRES DE BUS ET LES VOIES DE CONTRE-ALLÉE: TRONCON BISSIGHIN-YAGMA-BASSINKO, LONG DE 4,995 KM.	PROFIL EN TRAVERS COURANT	Etabli par:	KITIO SAIDA LAURA
				Date:	Novembre 2025
			Profil 01 du levé topographique	Encadreur CIE-GC:	NANA JOSUE
			Début du PK 05+000	Encadreur 2iE:	MADOUGOU ISSA
		PLAN D'EXECUTION	Plan n°: 2	Echelle:	1/100

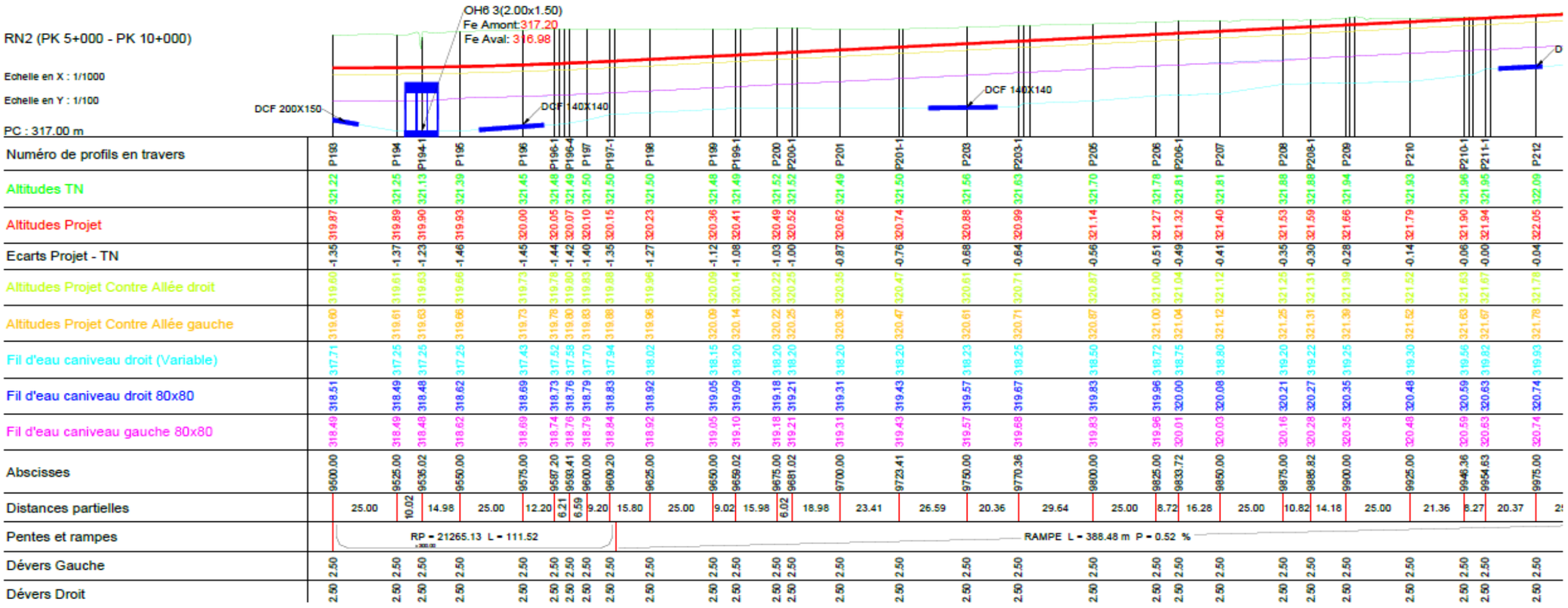


REPUBLIQUE DU BURKINA FASO MINISTERE DES INFRASTRUCTURES ET DU DESENCLAVEMENT DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES ROUTIERES	CABINET D'INGENIERIE ET D'EXPERTISE EN GENIE CIVIL INSTITUT INTERNATIONAL D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT	REVUE DE L'ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX D'ELARGISSEMENT DE LA ROUTE NATIONALE N°2 EN 2*2 VOIES AU BURKINA FASO, INTEGRANT LES SITES PROPRES DE BUS ET LES VOIES DE CONTRE-ALLÉE. TRONCON BISSIGHIN-YAGMA-BASSINKO, LONG DE 4,995 KM.	PROFIL EN TRAVERS COURANT	Etabli par:	KITIO SAIDA LAURA
				Date:	Novembre 2025
			Profil 56_1 du levé topographique	Encadreur CIE-GC:	NANA JOSUE
			Route en déblai	Encadreur 2iE:	MADOUGOU ISSA
		PLAN D'EXECUTION	Plan n°: 3	Echelle:	1/100



REPUBLIQUE DU BURKINA FASO MINISTERE DES INFRASTRUCTURES ET DU DESENCLAVEMENT DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES ROUTIERES	CABINET D'INGENIERIE ET D'EXPERTISE EN GENIE CIVIL INSTITUT INTERNATIONAL D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT	REVUE DE L'ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX D'ELARGISSEMENT DE LA ROUTE NATIONALE N°2 EN 2*2 VOIES AU BURKINA FASO, INTEGRANT LES SITES PROPRES DE BUS ET LES VOIES DE CONTRE-ALLÉE: TRONCON BISSIGHIN-YAGMA-BASSINKO, LONG DE 4,995 KM. PLAN D'EXECUTION	PROFIL EN TRAVERS COURANT Profil 194-1 du levé topographique Dalot de 3x200x150 Plan n°: 4	Etabli par: Date: Encadreur CIE-GC: Encadreur 2iE: Echelle:	KITIO SAIDA LAURA Novembre 2025 NANA JOSUE MADOUGOU ISSA 1/100




RN2 (PK 5+000 - PK 10+000)
Echelle en X : 1/1000
Echelle en Y : 1/100
PC : 317.00 m
OH6 3(2.00x1.50)
Fe Amont:317.20
Fe Aval: 316.98
DCF 200X150
DCF 140X140
DCF 140X140
Numéro de profils en travers
Altitudes TN
Altitudes Projet
Ecarts Projet - TN
Altitudes Projet Contre Allée droit
Altitudes Projet Contre Allée gauche
Fil d'eau caniveau droit (Variable)
Fil d'eau caniveau droit 80x80
Fil d'eau caniveau gauche 80x80
Abscisses
Distances partielles
Pentes et rampes
RP = 21265.13 L = 111.52
RAMPE L = 388.48 m P = 0.52 %
Dévers Gauche
Dévers Droit

ANNEXE II : ESTIMATION DE LA CLASSE DE TRAFIC DU SITE DE BUS

Le calcul du trafic pour le dimensionnement de site de bus est effectué, en supposant que la voie dédiée sera exclusivement réservée aux bus. Il est estimé en fonction du nombre moyen de passages journaliers (MJA), en prenant en compte les hypothèses suivantes :

- Comme hypothèse de base pour les sites BRT, un trafic journalier maximale de 120 bus (fréquence de 1 bus par 8 minutes). **Source : Rapport de synthèse de l'entreprise**

En absence de données précises sur les caractéristiques du modèle exact d'autobus qui sera mis en service notamment le nombre d'essieu, la répartition des charges sur les essieux. Il a été nécessaire de formuler d'autre hypothèse afin d'estimer la classe de trafic. Cette approche repose sur le Certu : « Chaussées bus : Choix des matériaux et dimensionnement structurel » (5), qui est conforme au Règlementation régionale de l'UEMOA relatif à l'harmonisation des normes et des procédures du contrôle de gabarit, du poids autorisés en fonction des types de bus. Le calcul de trafic devra tenir compte des différentes silhouettes de véhicules et les distingués.

- Le choix du véhicule pour la ligne du BRT sera des modèles urbains standards mesurant 12 mètres de long ayant 6 roues et équipés de deux essieux.
- Les autobus sont considérés comme des poids lourds en raison de leur taille et capacité. Le trafic moyen journalier annuel est estimé donc à 120 PL/jour/sens (année de comptage 2021).
- 365 jours de travail, de 05h à 23h pour l'exploitation du BRT
- Heures de pointe du matin (07h-09h) et du soir (16h-20h)
- Heures creuses (05h-07h, 09h-16h, et 20h-23h)

- Détermination de la classe du trafic en nombre d'essieux équivalent NE.

1) Poids des véhicules

Leur poids total autorisé en charge (PTAC) est de 18 tonnes. La répartition des charges sur les essieux est la suivante :

Essieu avant : 6 tonnes

Essieu arrière : 12 tonnes

2) Calcul du nombre d'essieux équivalent

Après avoir déterminé tous les paramètres de bases ci-dessus, nous procédons actuellement au calcul du nombre d'essieux équivalents (NE) que la structure devra supporter sans subir de dommages pendant sa durée de service. Le NE est donné par la formule suivante :

NE = MJA x 365 x C (d ,t) x CAM x k (cana)

Avec

MJA : le trafic moyen journalier annuel sur la section à dimensionner

d : durée de service

t : taux de croissance annuel

C (d, t) : le facteur de cumule

CAM : coefficient d'agressivité moyen

k(cana) : coefficient de canalisation

- Le coefficient d'agressivité moyen CAM

Le CAM est le rapport entre le nombre de poids lourds et les essieux équivalents de 13 tonnes. Il dépend de l'intensité du trafic ainsi que des matériaux composant la chaussée. Le CAM est estimé selon la répartition des charges entre les essieux avant et arrière pour chaque niveau de remplissage des bus. Il est donné par la formule suivante :

$$CAM = \frac{\sum(\frac{P}{13})^{\propto}}{n}$$

Avec :

p : le poids de l'essieu

n : le nombre de véhicule (n= 1)

α : coefficient en fonction de la structure. α vaut 5 pour les structures bitumineuses et 12 pour les structures en béton

Les poids des autobus selon l'état de chargement sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau III: Poids des autobus selon l'état de chargement

	vide	Mi-chargé	Plein	Moyenne composée
Poids essieu avant	2	4	6	
Poids essieu arrière	8	10	12	
Structure bitumineuse	CAM vide = 0.09	CAM Mi-chargé =0.27	CAM plein = 0.69	0.35
Structure rigide	CAM vide = 0.003	CAM Mi-chargé =0.04	CAM plein = 0.38	0.14

D'où

Structure bitumineuse : cas plein

$$CAM = \frac{(\frac{6}{13})^5}{1} + \frac{(\frac{12}{13})^5}{1}$$

Structure rigide : cas plein

$$CAM = \frac{(\frac{6}{13})^{12}}{1} + \frac{(\frac{12}{13})^{12}}{1}$$

CAM=CAM des bus circulant la plupart des temps à mi- chargé

Les valeurs de CAM étant très faible, et en absence de mesures plus précises ou d'analyse théorie de trafic, il est recommandé de prendre une valeur égale à 0.5 quel que soit le type de structure (c'est une valeur par excès qui englobent un coefficient de sécurité.

- Coefficient de canalisation du trafic k(cana)

Le coefficient de canalisation dépend de la largeur et de l'utilisation de la voie considérée. Le tableau ci-dessous présente les différentes valeurs de ce coefficient en fonction des largeurs variées.

Tableau IV : Récapitulatif du coefficient de canalisation

Coefficient de canalisation	Trafic non canalisé l ≥ 3.50 m	Trafic sémi-canalisé 3m < l < 3.50 m	Trafic entièrement canalisé l=3m	Systèmes guidés
Section courante	1	1.3	1.6	2
Arrêts	2	2	2	2.5

Source : CEREME

Notre couloir du BRT ayant une largeur de 4 m par sens, ce qui convient à un k(cana) = 1 en section courante et k(cana) = 2 en station.

- Taux de croissance arithmétique (t_a) : cas de croissance linéaire

C'est un taux de croissance arithmétique du trafic qui est pris en compte. Le rapport d'étude du trafic ne donne pas le taux de croissance arithmétique. Nous allons déterminer sa valeur grâce à l'hypothèse de calcul de la chaussée principale.

Taux de croissance géométrique 2021-2025	3,00%
Taux de croissance géométrique 2025-2040	6,00%
Trafic moyen journalier dans le sens de circulation le plus chargé (t_0)	521 PL/jr/sens
Année de comptage	2021
Année de mise en service	2028
Trafic moyen journalier à l'année de mise en service 2028 (tn)	679 PL/jr/sens

Année 2021-2024= 4ans

Année 2024-2028= 4ans

Trafic moyen journalier dans le sens de circulation le plus chargée à l'année de mise en service (2028) :

Cas de croissance exponentielle : $t_n = t_0 \times (1+i)^{n-1} = 679\ PL/j$ (déjà calculé)

Cas de croissance linéaire : $t_n = t_0 \times (1 + (n-1) \times t_a)$ (selon le CEBTP)

$$\Rightarrow \quad t_a = \frac{t_n - t_0}{(n-1)\times t_0} \times 100 = \frac{679-521}{(4-1)\times 521+(4-1)\times 521} \times 100$$

$$t_a = 5.05\%$$

- Détermination du facteur de cumule du trafic C.

La durée de service correspond à la période sans besoin d'entretien structurel mais ne concernant pas la couche de surface. En lien avec le risque de calcul, une durée de 15 ans comme celle de la chaussée principale est choisie pour le couloir du BRT. Le facteur de cumul est calculé avec la formule suivante :

$$C = d \times \left[1 + \frac{t \times (d-1)}{2}\right]$$

Avec :

d : durée de service (en année)

t : taux de croissance annuel (arithmétique)

$$C = 15 \times \left[1 + \frac{0.05 \times (15-1)}{2}\right]$$

C = 20.25

- Déterminations de la valeur de NE

  Calcul du TMJ de l'année de mise en service des sites de bus.

  Hypothèse de 120 bus en année 2021 : t_1=120 PL/jour/sens

  Année de mise en service : 2028

$$TMJ = t_1 \times (1 + (n-1) \times t_a)$$
$$TMJ = 120 \times (1 + (7-1) \times 0.05$$
$$TMJ = 162 \text{ PL/jour/sens}$$

Le calcul de NE est donnée par la formule : NE = MJA x 365 x C (d ,t) x CAM x k (cana)

Avec : TMJ=162 PL/jour/sens ; C=20.25 ; CAM = 0.5 ; k(cana) = 1 en section courante et k(cana) = 2 en station.

Les résultats du calcul du trafic du BRT effectué sur les 15 ans de service sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau V : Nombre d'essieux équivalent selon la zone et la nature de chaussée

Types de structure	Sections	Nombre d'essieux équivalent (PL)
Structure bitumineuse	Section courante	598 692
	Zone de station	1 197 383
Structure en béton	Section courante	598 692
	Zone de station	1 197 383

Pour déterminer la classe de notre trafic connaissant le nombre d'essieux équivalent, nous nous referons au tableau de classification du trafic défini dans le catalogue des structures types de chaussées neuves ci-dessous.

Tableau VI : Tableau de classification du trafic cumulé selon guide CEBTP

Classe de trafic	**Nombre cumulé de passe d'essieux équivalent**
T1	$NE < 5 \times 10^5$
T2	$5 \times 10^5 < NE < 1{,}5 \times 10^6$
T3	$1{,}5 \times 10^6 < NE < 4 \times 10^6$
T4	$4 \times 10^6 < NE < 10^7$
T5	$10^7 < NE < 2 \times 10^7$

Selon le tableau de classification de trafic, notre trafic sur le couloir du BRT est récapitulé dans le tableau suivant selon le type de structure de chaussée

Tableau VII : Classes de trafic selon la nature de la chaussée du BRT

Désignation	Chaussée bitumineuse	Chaussée rigide
Trafic section courante	T2	T2
Trafic zone d'arrêt	T2	T2

Le trafic considéré pour les sites propre bus est un trafic de classe 2 (T2) en chaussée bitumineuse.

ANNEXE III : ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

A) ETUDE HYDROLOGIQUE

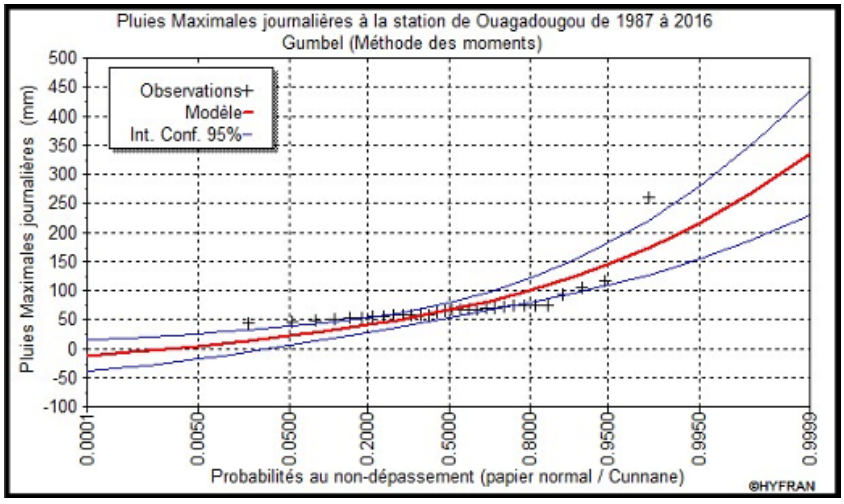
I. RESULTATS DE L'AJUSTEMENT STATISTIQUE DES PLUIES JOURNALIERES ET ANNUELLES

- Pluies Maximales journalières à la station de Ouagadougou de 1987 à 2016

Des ajustements statistiques ont été opérés sur les séries des pluies maximales journalières à l'aide du logiciel HYFRAN PLUS. La Loi de Gumbel (loi de doublement exponentielle) a été retenue pour l'estimation de la pluie maximale annuelle pour différentes la période de retour de 10 ans.

Paramètres (u=54.801390 et alpha=30.488796)

Quantiles (q = F(X) (probabilité au non-dépassement) et T = 1/(1-q))



T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
10000.0	0.9999	336	54.6	229	443
2000.0	0.9995	287	45.3	198	375
1000.0	0.9990	265	41.3	184	346
200.0	0.9950	216	32.0	154	279
100.0	0.9900	195	28.0	140	250
50.0	0.9800	174	24.0	127	221
20.0	0.9500	145	18.8	108	182
10.0	**0.9000**	**123**	**14.9**	**94.2**	**153**
5.0	0.8000	101	11.0	78.9	122
3.0	0.6667	82.3	8.33	66.0	98.6
2.0	0.5000	66.0	6.55	53.1	78.8
1.4286	0.3000	49.1	6.02	37.3	60.9
1.2500	0.2000	40.3	6.41	27.7	52.9
1.1111	0.1000	29.4	7.41	14.8	43.9
1.0526	0.0500	21.3	8.41	4.87	37.8
1.0204	0.0200	13.2	9.57	-5.54	32.0
1.0101	0.0100	8.24	10.3	-12.0	28.5
1.0050	0.0050	3.96	11.0	-17.6	25.5
1.0010	0.0010	-4.12	12.3	-28.3	20.0
1.0005	0.0005	-7.04	12.8	-32.2	18.1
1.0001	0.0001	-12.9	13.8	-40.0	14.2

P_{10} = 123 mm

- Pluies annuelles à la station de Ouagadougou de 1987 à 2016

La pluie moyenne annuelle calculée sur cette période donne 875 mm à Ouagadougou.

P_{an} = 875 mm

II. ESTIMATION DES DEBITS DE CRUES

Les méthodes de calcul retenues ont été faites en fonction des conditions particulières dans lesquelles elles sont applicables. Ainsi :

- La méthode rationnelle a servi pour calculer les débits des bassins versants 1, 2, et 3 ainsi que des bassins versants caniveaux ;
- La méthode ORSTOM a été utilisée pour calculer les bassins versants 1, 2 et 3.
- La méthode CIEH n'a pas été utilisé dans le cadre de ce projet car tous nos bassins versants ont une superficie inférieure à 10 Km².
- La méthode caquot quant à elle, a permis de calculer les débits des bassins versants caniveaux.

Nous commençons tout d'abord par déterminer les caractéristiques physiques de nos bassins par les formules ci-dessus :

Tableau VIII : Caractéristiques physiques des bassins à déterminer

Caractéristiques physiques	Formules	Unité
L'indice de compacité ou indice de forme (I_{comp})	$I_{comp} = 0{,}282 \times \frac{P}{S^{1/2}}$	–
Longueur du rectangle équivalent (L)	$L = S^{1/2} \times \frac{I_{comp}}{1{,}128} \times (1 + (1 - (\frac{1{,}128}{I_{comp}})^2)^{\frac{1}{2}})$	M
Dénivelée (D)	Alt5% - Alt95%	M
Indice global (Ig)	D/L	M/Km
Moyenne des hauteurs pluviométriques annuelles (Pan)	Moyenne des pluies	Mm
Hauteur d'averse décennale ponctuelle (P10)	Déterminée par Loi de Gumel	Mm
Coefficient de ruissèlement (Kr70)	$K_r 70 \; et \; K_r 100 = \frac{a}{S+b} + c$	%
Coefficient de ruissèlements (Kr100)		
Coefficient de ruissèlements (Kr10)	Interpolation entre Kr70 et K100	%
Coefficient d'Abattement (A)	$A = 1 - \left[\frac{161 - 0{,}042Pan}{100} \times \log S\right]$	–
Temps de base (Tb)	$Tb10 = a \times S0{,}36 + b$	Min
Temps de concentration (Tc)	$Tc = \frac{1}{52} \times \frac{L^{0,77}}{P^{0,38}}$	Min
Coefficient de Montana (a et b)	Valeurs Définies dans la méthodologie	
Intensité moyenne (I)	$I = a \times \mathrm{Tc}^{(-b)}$	Mm/h
Coefficient de pointe Alpha	2,6 cas général	_
Précipitation décennale (Pm10)	$Pm10 = P10 \times A$	Mm

NB : Le calcul des différentes caractéristiques physiques, jusqu'au l'estimation de débit s'est effectuée à l'aide des fiches Excel établies.

II.1. Estimation du débit des bassins par la méthode rationnelle

Le calcul de débit est donné par la formule :

$$\mathbf{Q = \frac{1}{3,6} * C * I * A}$$

- **Q** étant le débit de crue exprimée en m³/s ;
- **C** étant le coefficient de ruissellement supposé uniforme sur le petit bassin considéré et pendant la durée de l'averse ;
- A étant la superficie du bassin versant en km² ;
- **I** étant l'intensité de pluie exprimée en mm/h

Les coefficients de montana données dans le tableau ci-dessous en fonction de notre zone d'étude.

Tableau IX : Coefficient de Montana de la zone d'étude

Ouagadougou	Coefficients de Montana pour une période de retour T=10 ans	
	A	b
Pluie de durée < 1h	9,4	0,5
Pluie de durée > 2h	39	0,9

Source : Courbes Intensité-durée-fréquence

Les résultats de calculs des débits des bassins et sous bassins sont inscrits dans les tableaux ci-dessous.

Tableau X: Résultats du calcul de débits des bassins versants par la méthode rationnelle

CALCUL DE DEBIT DES BASSINS VERSANTS				
Caractéristiques physiques	**Unités**	**BV1**	**BV2**	**BV3**
Superficie (S)	Km²	0,689	3,037	0,653
Périmètre (P)	Km	4,255	7,555	3,629
Pente (i)	M/m	0,0108	0,0105	0,0063
Chemin hydraulique (l)	M	762	3456	942
Indice de compacité (Ic)	-	1,446	1,223	1,266
Longueur du rectangle équivalente (L)	M	1 089,117	1 894,388	912,654
Temps de concentration (Tc)	Min	18,207	58,958	26,380
Coefficient de Montana (a)	-	9,4	9,4	9,4
Coefficient de Montana (b)	-	0,5	0,5	0,5
Intensité (I)	Mm/h	132,179	73,453	109,811
Coefficient de ruissellement (C)	-	0,4	0,4	0,4
Débit obtenu	**m^3/s**	**10,127**	**24,806**	**7,974**

Tableau XI : Résultats du calcul de débits des sous bassins versants par la méthode rationnelle

CALCUL DE DEBIT DES SOUS BASSINS VERSANTS							
Bassins versants associés		**BV1**		**BV2**			**BV3**
Caractéristiques physiques	**Unités**	**SBV1-1**	**SBV2-1**	**SBV3-2**	**SBV2-2**	**SBV1-2**	**SBV1-3**
Superficie (S)	Km²	0,04387	0,03138	0,102	0,0746	0,0874	0,0656
Périmètre (P)	Km	1,983	1,715	1,580	1,705	2,361	2,361
Pente (i)	M/m	0,0075	0,0145	0,0110	0,0120	0,0108	0,0117
Chemin hydraulique (l)	M	951	818	693	768	646	1125
Indice de compacité (Ic)	-	2,670	2,730	1,395	1,760	2,252	2,600
Longueur du rectangle équivalente (L)	(M)	572,481	497,124	402,174	452,918	659,692	678,259
Temps de concentration (Tc)	Min	24,848	17,167	16,804	17,589	16,033	23,830
Coefficient de Montana (a)	-	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4
Coefficient de Montana (b)	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Intensité (I)	Mm/h	113,144	136,124	137,584	134,480	140,856	115,535
Coefficient de ruissellement (C)	-	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Débit obtenu	**m^3/s**	**0,55**	**0,47**	**1,56**	**1,12**	**1,37**	**0,84**

Tableau XII : Résultats du calcul de débits d'assemblage des sous bassins versants par la méthode rationnelle

CALCUL DES DEBITS D'ASSEMBLAGE DES SOUS BASSINS VERSANT										
Bassin versant associer	**Assemblage des sous bassins versants en série**	**Temps de concentration (min) Tc= Tr + Ts**	**Superficie (Km²)**	**Coefficient de Montana**		**Coefficient de ruissellement**	**Intensité I (m/m)**	**Débit équivalent Qeq (m³/s)**	**Débit brut Qbrut (m³/s)**	**Débit retenu Q (m3/s)**
			Σsi	**a**	**b**	**C =Σ(C*A) /ΣA**				
BV1	**SBVeq1 = SBV1-1**	24,848	0,04387	9,4	0,5	0,4	113,144	0,552	0,552	**0,55**
	SBVeq2 = SBV1-1 + SBV2-1	34,848	0,07525	9,4	0,5	0,4	95,541	0,799	0,552	**0,80**
BV2	**SBVeq1 = SBV3-2**	18,142	0,10200	9,4	0,5	0,4	132,413	1,502	1,561	**1,56**
	SBVeq2 = SBV3-2 + SBV2-2	28,142	0,17660	9,4	0,5	0,4	106,316	2,088	1,561	**2,09**
	SBVeq3= SBV3-2 + SBV2-2+ SBV1-2	38,142	0,26400	9,4	0,5	0,4	91,3217	2,681	1,561	**2,68**
BV3	**SBVeq1 = SBV1-3**	23,830	0,06560	9,4	0,5	0,4	115,535	0,843	0,843	**0,84**

II.3. Estimation du débit des bassins versants par la méthode ORSTOM

Dans cette méthode, le débit de pointe correspondant au ruissellement superficiel de la crue décennale et est défini par la relation suivante :

$$Qr_{10} = A \times P_{10} \times Kr_{10} \times \alpha_{10} \times S / Tb_{10}$$

Avec :

- A: le coefficient d'abattement de la pluie
- P_{10} : la pluie journalière décennale en mm,
- Kr_{10} : le coefficient de ruissellement,
- α_{10} : le coefficient de pointe, correspondant à la crue décennale
- S : la surface du bassin en km²,
- Tb_{10}: le temps de base correspondant à la crue décennale

Détermination des paramètres a, b et c pour calcul des coefficient Kr

Les valeurs a, b et c sont renseignées dans les tableaux ci-dessous en fonction de la classe d'infiltration et de l'indice global de pente.

TABLEAU 3
Paramètres de l'équation de détermination de Kr_{70} pour la zone tropicale sèche en fonction de l'indice de pente et de la classe d'infiltrabilité

Caractéristiques		a'	b'	c'
Infiltrabilité	Pente			
I	15	2000	100	29,5
	7	1620	100	27,5
	3	1250	100	25
RI	15	250	20	21,7
	7	200	20	18,5
	3	150	20	15
P	7	50	15	8

TABLEAU 4
Paramètres de l'équation de détermination de Kr_{100} pour la zone tropicale sèche en fonction de l'indice de pente et de la classe d'infiltrabilité

Caractéristiques		a'	b'	c'
Infiltrabilité	Pente			
I	15	2400	100	32
	7	1940	100	30
	3	1440	100	28
RI	15	325	30	26
	7	240	30	22
	3	200	30	17
P	7	55	17	9,5

Le projet se situe dans une zone tropicale sèche, caractérisée par une in filtrabilité faible des bassins, lesquels présentent un comportement relativement imperméable (RI). On fera une interpolation entre les indices de pente global de (3 ;7) , pour déterminer les paramètres a, b, et c , correspondant à nos différents BV.

Paramètre de calcul Kr70 (BV1)				
Classe de bassin versant	Indice de pente global corrigé Icor	a	b	c
RI	7	200	20	18,5
	5,71	**200**	**20**	**18,016**
	3	150	20	15

Paramètre de calcul Kr100 (BV1)				
Classe de bassin versant	Indice de pente global corrigé Icor	a	b	c
RI	7	240	30	22
	5,71	**227,1**	**30**	**20,388**
	3	200	30	17

Paramètre de calcul Kr70 (BV2)				
Classe de bassin versant	Indice de pente global corrigé Icor	a	b	c
RI	7	200	20	18,5
	3,257	**153,2125**	**20**	**15,225**
	3	150	20	15

Paramètre de calcul Kr100 (BV2)				
Classe de bassin versant	Indice de pente global corrigé Icor	a	b	c
RI	7	240	30	22
	3,257	**202,57**	**30**	**17,321**
	3	200	30	17

Paramètre de calcul Kr70 (BV3)				
Classe de bassin versant	Indice de pente global corrigé Icor	a	b	c
RI	7	200	20	18,5
	3,744	**200**	**20**	**17,279**
	3	150	20	15

Paramètre de calcul Kr100 (BV3)				
Classe de bassin versant	Indice de pente global corrigé Icor	a	b	c
RI	7	240	30	22
	3,744	**207,44**	**30**	**17,93**
	3	200	30	17

- Détermination des paramètres a et b pour calcul des temps de base

Les paramètres a et b varient en fonction de l'indice de pente et déterminés par interpolation linéaire à partir des formules suivantes :

$Ig = 3$; $Tb10 = 325 \times S^{0,36} + 315$

$Ig = 7$; $Tb10 = 163 \times S^{0,36} + 142$

Paramètre de calcul Tb10 (BV1)			
Classe de bassin versant	Indice de pente global corrigé Icor	a	b
RI	7	163	142
	5,71	**215,25**	**197,7925**
	3	325	315

Paramètre de calcul Tb10 (BV2)			
Classe de bassin versant	Indice de pente global corrigé Icor	a	b
RI	7	163	142
	3,257	**314,5915**	**303,88**
	3	325	315

Paramètre de calcul Tb10 (BV3)			
Classe de bassin versant	Indice de pente global corrigé Icor	a	b
RI	7	163	142
	3,744	**294,87**	**282,82**
	3	325	315

Tableau XIII : Résultat du calcul de débits des bassins versants par la méthode ORSTOM

CALCUL DU DEBIT DES BASSINS VERSANTS				
Caractéristiques physiques	**Unités**	**BV1**	**BV2**	**BV3**
Superficie (S)	Km²	0,689	3,037	0,653
Périmètre (P)	Km	4,255	7,555	3,629
Indice de compacité (Ic)	-	1,446	1,223	1,266
Longueur de rectangle équivalent	Km	1,729	2,617	1,320
Altitude 5%	M	316,152	319,087	326,376
Altitude 95%	M	306,279	310,564	321,435
Indice global de la pente Ig	(M/km)	5,710	3,257	3,744
Moyenne des hauteurs pluviométriques annuelles (Pan)	Mm	875	875	875
Coefficient d'abattement (A)	-	1,020	0,940	1,023
Coefficients de ruissellement (Kr70)	M/m	27,683	21,876	26,963

Coefficients de ruissellement (Kr100)	M/m	27,788	23,453	24,697
Hauteur d'averse décennale ponctuelle(P10)	M	0 ,123	0,123	0,123
Coefficients de ruissellement (Kr10)	M/m	27,868	24,662	22,961
Temps de base (Tb10)	Seconde	23 161,432	46 389,565	32 867,742
Coefficient de pointe (α)	-	2,6	2,6	2,6
Débit décennal Q10	**M³/s**	**2,840**	**5,097**	**1,567**

II.3. Estimation du débit des bassins versants caniveaux par la méthode de Caquot

L'expression de la formule de CAQUOT s'écrit sous la forme suivante :

$$Qbrut = K^{1/U} \times I^{V/U} \times C^{1/U} \times A^{W/U}$$

- Q brut = le débit de période de retour T. Q (m3/s)
- I = la pente moyenne du B.V. (m/m)
- C = le coefficient de ruissellement
- A = la superficie du B.V. (ha)
- K est un coefficient d'expression : $(0.5^{\,b\,(T)} \text{x a (T)})/ 6,6$
- U est un coefficient d'expression : 1 + 0.287 b (T) ;
- V est un coefficient d'expression : - 0.41 b (T) ;
- W est un coefficient d'expression : 0.95 + 0.507 b (T).
- a et b sont les coefficients de Montana

Avant l'application de la formule de caquot quelques conditions sont à vérifier :

Pour M≠ 2, il faut nécessairement corriger le Débit par la formule ; $Q_{cor} = m \times Q_{brut}$

Pour M <0,8 les résultats ne sont pas satisfaisants. Donc, 0,8 constitue la limite inférieure de M. Si M<0,8 alors on prendra M=0,8

- M est l'allongement des bassins versants :$M = \frac{L}{\sqrt{A}}$
- m est facteur correctif en fonction de la morphologie des Bassins versant.

  $m = (\frac{M}{2})^{\mu}$ avec μ un coefficient d'expression : $\frac{0,84.b}{1+0,287.b}$

L'application numérique s'est faite à partir des fiches Excel établies et est reporté dans le tableau ci-dessus

Tableau XIV: Résultat du calcul du débit des bassins versants caniveaux par la méthode de Caquot

Calcul du débit des bassins versants-caniveaux							
Bassins versants associés		**BV1**		**BV2**			**BV3**
Sous bassins versants		**SBV1-1**	**SBV2-1**	**SBV3-2**	**SBV2-2**	**SBV1-2**	**SBV1-3**
Paramètres		**SBVeq1 = SBV1-1**	**SBVeq2 = SBV1-1 + SBV2-1**	**SBVeq1 = SBV3-2**	**SBVeq2 = SBV3-2 + SBV2-2**	**SBVeq3= SBV3-2 + SBV2-2+ SBV1-2**	**SBVeq1 = SBV1-3**
Superficie (ha)	Aj	4,387	3,138	10,200	7,460	8,740	6,560
Superficie cumulée (ha)	ΣAj	4,387	7,525	10,200	17,660	26,400	6,560
Coefficient de Montana	a	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4
	b	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
Coefficient de ruissellement	C	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Chemin hydraulique (hm)	Lj	9,510	8,180	6,930	7,680	6,460	11,250
Longueur équivalente	Leq = ∑Lj	9,510	17,690	6,930	14,610	21,070	11,250
Allongement du BV	Mj = Lj/√Aj	4,540	4,618	2,170	2,812	2,185	4,392
Allongement équivalent	Meq = ∑Lj/√∑Aj	4,540	6,449	2,170	3,477	4,101	4,392

Calcul de μ	μ = 0,84b/1+0,287b	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49
Coefficients d'ajustement	u = 1+0,287b	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
	v = -0,41b	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
	w = 0,95+0,507b	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
	K = 0,5^b*a/6,6	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01
Facteurs correctifs	Mj # 2 mj = (Mj/2) ^ μ	0,669	0,66	0,96	0,85	0,96	0,68
	Meq # 2 meq = (Meq/2) ^ μ	0,669	0,56	0,96	0,76	0,70	0,68
Coefficient de ruissellement	Ceq =(∑Cj*Aj) /∑Aj	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Pente (m/m)	Ieq =(∑Lj)²/(∑(Lj/√Ij)) ²	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
$Q = m \times K^{1/U} \times I^{V/U} \times C^{1/U} \times A^{W/U}$	Qj (m3/s)	0,54	0,40	1,68	1,17	1,47	0,84
	∑Qj (m3/s)	0,54	0,94	1,68	2,85	4,31	0,84
	Qeq (m3/s)	0,54	0,82	1,68	2,12	2,65	0,84
Débit de projet retenu	**Qp (m3/s)**	**0,54**	**0,94**	**1,68**	**2,85**	**4,31**	**0,84**

B) ETUDE HYDRAULIQUE

III. CHOIX DES OUVERTURES DES DALOTS

Tableau XV : Choix des ouvertures des dalots

Bassin Versant	BV1	BV2	BV3
	OH1	OH2	OH3
Débit à évacuer Q10 (m3/s)	10,127	24,806	7,970
Pesanteur g(m²/s)	9,81	9,81	9,81
Vitesse admissible Vadm (m/s)	3	3	3
Nombre de Cellule n	3	3	3
Débit par cellule Q10/n (m3/s)	3,376	8,269	2,657
Hauteur du dalot D(m)	1,5	2	1,5
Largeur d'une cellule B(m)	2	3	2
Calcul de la hauteur d'eau en amont H1 (m)			
Débit réduit Q*(m3/s)	0,207	0,220	0,163
Hauteur réduite H* (abaque 77 du BCEOM) (m)	**0,66**	**0,7**	**0,56**
Hauteur d'eau en amont H1(m)	0,99	1,4	0,84
Vérification (H*=H1/D≤1,25)	Oui	Oui	Oui
Revanche r (≥ 0,5) = (D - H1) (m)	0,51	0,6	0,660
Détermination de la pente longitudinale critique Ic (Ic* du projet ≥ Ic trouvée)			
Débit réduit Q*(m³/s)	0,191	0,169	0,150
Pente critique réduite Ic* (abaque 82 du BCEOM) (m)	**2,85**	**2,8**	**2,75**
Coefficient de rugosité Ks	70	70	70
Pente critique Ic	0,005	0,004	0,004
Détermination de la vitesse d'écoulement (V Sortie ≤ Vmax)			
Débit réduit Q*(m3/s)	0,113	0,101	0,090
Vitesse réduite V* (abaque 84 du BCEOM) (m/s)	**0,34**	**0,33**	**0,32**

Vitesse de sortie V (m/s)	2,542	2,996	2,351
Vitesse maximale Vmax (m/s)	3	3	3
Vérification de la vitesse	Oui	Oui	Oui
Section choisie (cm)	3 x 200 x 150	3 x 300 x 200	3 x 200 x 150
Section existante (cm)	2 x 240 x 100	3 x 200 x 200	2 x 200 x 200
Section retenue (cm)	**3 x 200 x 150**	**3 x 300 x 150**	**3 x 200 x 150**
Observations et recommandations	**A reconstruire**	**A reconstruire**	**A reconstruire**

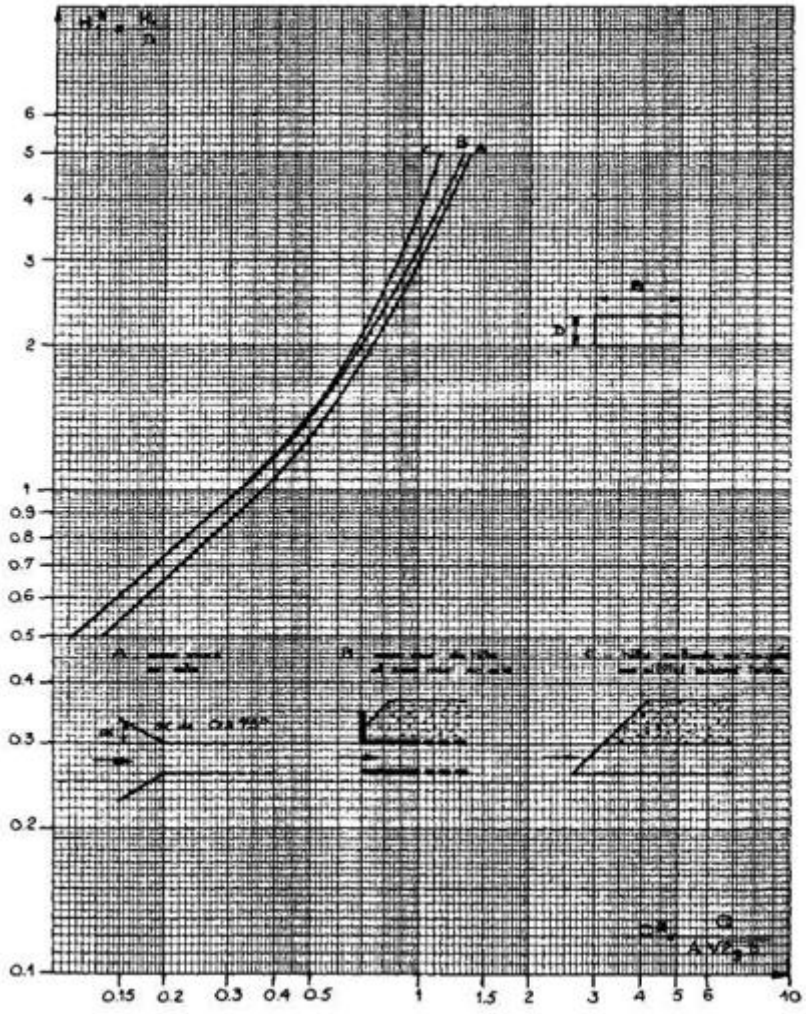


Figure I : Abaque de calcul de la valeur adimensionnelle de la hauteur réduite H*

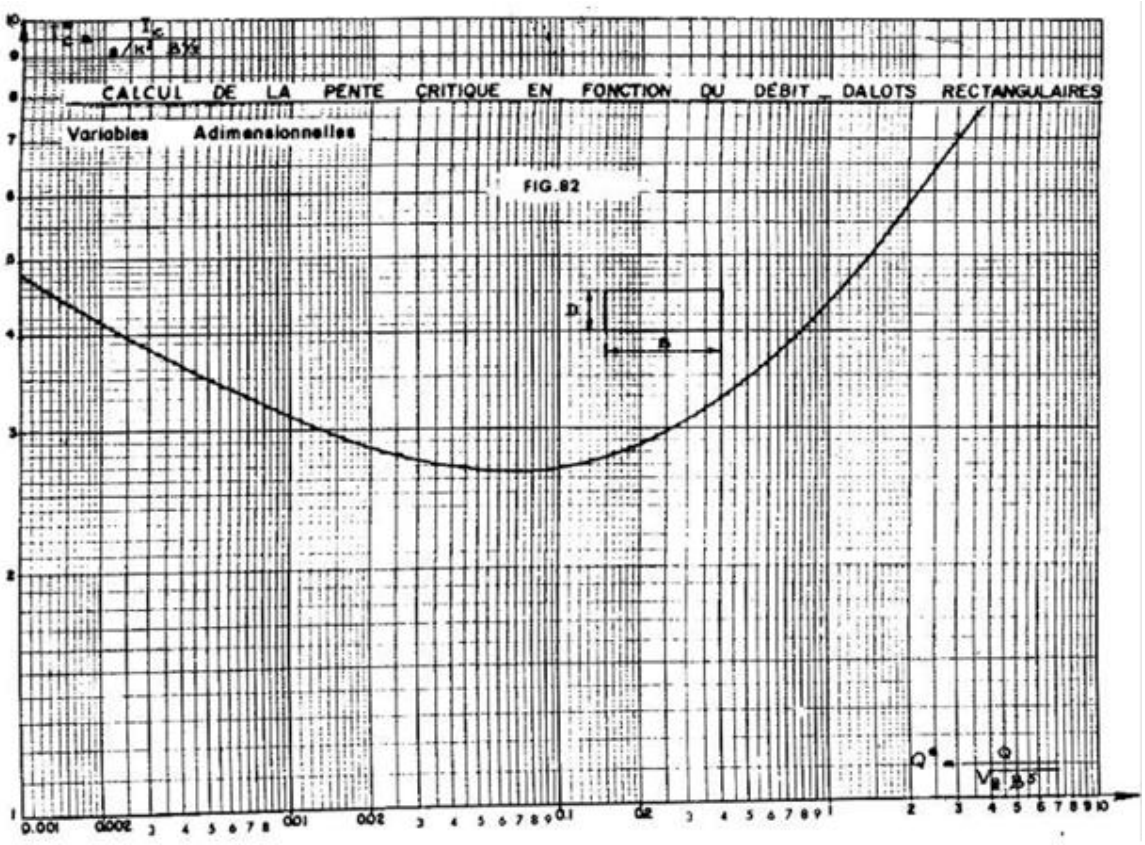


Figure II : Abaque de calcul de la pente critique Ic en fonction du débit

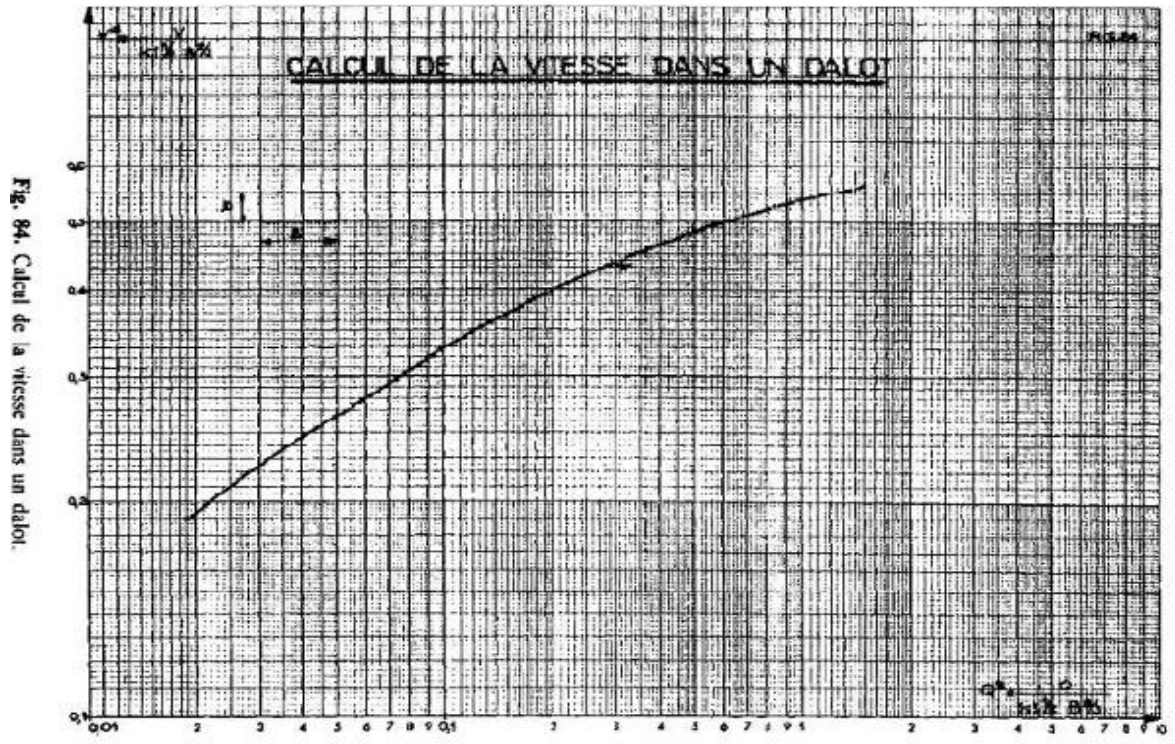


Fig. 84. Calcul de la vitesse dans un dalot.

Figure III : Abaque de calcul de la vitesse dans un dalot

IV. CHOIX DES OUVERTURES DES CANIVEAUX

Tableau XVI : Choix des sections des caniveaux

CALCUL DES SECTIONS DES OUVRAGES LONGITUDINALES									
Exutoire	**Sous bassins versants**	**Qp=Ks*S*Rh^ (2/3) *I^ (1/2)**							
		Coefficient de rugosité Ks	**Largeur B (m)**	**Tirant d'eau Y(m)**	**Section hydrauliq ue (m²)**	**Périmètre mouillée (m)**	**Rayon hydrauli que (m)**	**Pent e (m/ m)**	**Débit de pointe (m3/s)**
SBV2-1 (CE_1D)	**SBV1-1**	70	0,8	0,3132	0,251	1,426	0,176	0,01	0,550
OH1	**SBV2-1**	70	0,8	0,4671	0,374	1,734	0,215	0,01	0,940
OH2	**SBV1-2**	70	1,2	0,9893	1,187	3,179	0,373	0,01	4,310
SBV1-2	**SBV2-2**	70	1,2	0,7158	0,859	2,632	0,326	0,01	2,850
SBV2-2	**SBV3-2**	70	1	0,5773	0,577	2,155	0,268	0,01	1,680
OH3	**SBV1-3**	70	0,8	0,4748	0,380	1,750	0,217	0,01	0,960
(Suite)									
Exutoire	**Sous bassins versants**	**Débitance**		**Variation**	**Revanche (m)**	**Section S calculée**		**Section retenue**	
		D1=Ks*S* R^ (2/3)	**D2=Q/I^ (1/2)**	**K=D1-D2**		**B(m)**	**H(m)**	**B(m)**	**H(m)**
SBV2-1 (CE_1D)	**SBV1-1**	5,501	5,500	0,00	0,15	0,8	0,46	0,8	0,80
OH1	**SBV2-1**	9,402	9,400	0,00	0,15	0,8	0,62	0,8	0,80
OH2	**SBV1-2**	43,098	43,100	0,00	0,15	1,2	1,14	1,2	1,20

SBV1-2	**SBV2-2**	28,504	28,500	0,00	0,15	1,2	0,87	1,2	1,00
SBV2-2	**SBV3-2**	16,795	16,800	0,00	0,15	1	0,73	1	0,80
OH3	**SBV1-3**	9,604	9,600	0,00	0,15	0,8	0,62	0,8	0,80

(Suite)

Exutoire	**Sous bassins versants**	Vitesse	Vitesse adm	Intervalle PK	Intervalle PK	Intervalle PK	**Section adoptée (cm²)**
		V (m/s)	0,5 < V(m/s) < 3	Linéaire (m)	PK début	PK fin	
SBV2-1 (CE_1D)	**SBV1-1**	1,48	Condition vérifiée	951	05+000	05+951	**80x80**
OH1	**SBV2-1**	1,47	Condition vérifiée	818	05+951	06+769	**80x80**
OH2	**SBV1-2**	2,99	Condition vérifiée	646	07+415	06+769	**120x120**
SBV1-2	**SBV2-2**	2,38	Condition vérifiée	768	08+183	07+415	**120x100**
SBV2-2	**SBV3-2**	2,10	Condition vérifiée	693	08+876	08+183	**100x80**
OH3	**SBV1-3**	1,92	Condition vérifiée	1127	08+876	10+003	**80x80**

CE_D : Caniveaux extérieurs côté droit

OH : ouvrage hydrauliques (transversaux)

ANNEXE IV : DIMENSIONNEMENT STRUCTUREL DES DALOTS

Le dimensionnement manuel sera appliqué au OH3 de section hydraulique 3 x 200 x150, ensuite nous utiliserons le logiciel CYPE pour le reste des ouvrages transversaux.

I. Note de calcul du dalot de section 3x200x150 (OH1 et OH3)

a) Hypothèse de base

- Références et règlements de calcul

Les calculs seront établis selon les prescriptions et recommandations des documents suivants :

- Le BAEL 91 modifié 99 ;
- Le Guide de conception des Ponts – cadres et Portiques (SETRA) ;
- Le Fascicule 62 (Titre V) Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de Génie civil ;
- Le Fascicule n° 61 (Titre II) concernant les charges d'exploitation - Conception Calcul et épreuves des ouvrages d'art (Cahier des Prescriptions Communes (CPC) français) ;
- Il y a également les règles de la RDM (Résistances des matériaux) pour évaluer les moments et autres forces appliquées sur l'ouvrage.

- Béton

- Résistance (sur éprouvettes cylindriques) à la compression à 28 jours : fc_{28} =25 MPa
- Résistance à la traction à 28 jours : ft_{28} =0,6+0,06xfc_{28} =2,1MPa
- Dosage en ciment pour béton armé : 350 kg/m³ de CPA 42.5
- Poids volumique du béton : γ_b = 25 KN/m³
- Module de déformation longitudinale instantanée : Ei= 11000x$(fc28)^{1/3}$ = 32164,195 MPa
- Module de déformation longitudinale différé :
- Contrainte limite du béton à l'ELS : σ_b =0,6xfc_{28} = 15 MPa

- Acier

- Nuances de l'acier : Acier à Haute Adhérence (HA), Fe E 500
- Limite d'élasticité fe= 500 MPa
- Coefficient de fissuration : η= 1,6 pour HA
- Coefficient de sécurité : γ_s= 1,15
- Coefficient de scellement : Ψs= 1,5 pour HA

- Contrainte admissible des aciers à l'ELS (fissuration préjudiciable) :

$$\sigma_{st} = \overline{\min}\{\frac{2}{3}\,\text{fe}, \max(\frac{1}{2}\,fe; 110\sqrt{\eta.ft_{28}})\} = 250\ \text{MPa}$$

- Enrobage : 3cm

- Revêtement béton bitumineux
  - Poids volumique du béton bitumineux : $\Upsilon_{BB} = 24kN/m^3$
  - Épaisseur béton bitumineux : $e_{BB} = 5cm$
  - Epaisseur grave bitume : e_{GB} =8cm
- Remblai

Les caractéristiques du matériau de remblai sont issues des essais géotechniques et conformes aux prescriptions du cahier des clauses techniques particulières (CCTP).

- Contrainte admissible du sol support est supposé égale à 0,150 MPa
- Poids volumique des terres : γr = 20 kN/m^3
- Coefficient de poussée des terres ka = 0,33
- Surcharge des terres : q = 10 KN/m^2

b) Prédimensionnement du dalot de section 3x200x150

Désignons par e_t, e_p, et e_r, les épaisseurs respectives du tablier, des piédroits et du radier du dalot à pré dimensionner.

$$e = \frac{l}{32} + 0{,}125\ (en\ m)$$

$$Avec\ \ l: largeur\ hygraulique\ d'une\ cellule\ (en\ m)$$

$$et\ e: épaisseur\ de\ la\ dalle\ (\ minimale\ 20\ cm)$$

AN : $e = \frac{2}{32} + 0{,}125 = 0{,}1875m$

Nous retenons une valeur de : **e = e_t = e_p = e_r = 25 cm.**

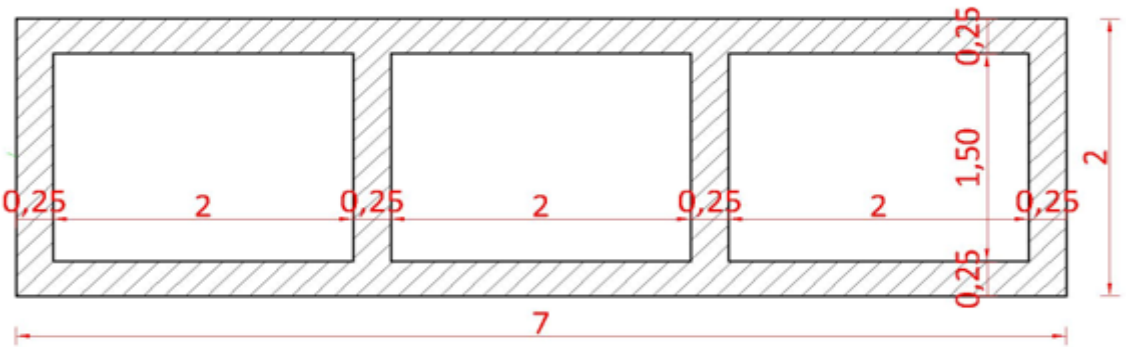


Figure IV : Coupe transversale dalot

c) Evaluation des charges permanentes

- Charge permanente du tablier G1

Sollicitations	Formules	Applications numériques	Résultats (KN/m²)
Poids propre du tablier : P_T	γ_b x e_t	25x0,25	6,25
Poids du remblai au-dessus du tablier : P_r	γr x $e_{remblai}$	20x0,35	7
Poids du revêtement au-dessus du tablier : P_R	γ_{BB} x (e_{BB} + e_{GB})	24x0,13	3,12
Poids du guide roue en béton : Pg	$\frac{e \times h \times \gamma b}{Lradier} \times 2$	$\frac{0,25 \times 1 \times 25 \times 2}{51,10}$	0,245
Charge permanente du tablier : G1			**16,615**

- Charge permanente des Poussées latérales sur un piédroit de rive G2

G2 = P1 + P2 + Pq

La poussée des terres n'agit que sur les piédroits situés aux extrémités. Ainsi, l'effort est évalué sur l'un des piédroits puis reporté de manière uniforme sur l'autre. La valeur de cette charge est déterminée en fonction de la hauteur du point étudié par rapport à la ligne moyenne de la fibre neutre du tablier et du radier.

Niveau de référence du tablier

$Z1 = e_{remblai} + e_t/2 = 0,35+0,13+0,25/2 = 0,605m$

Niveau de référence du radier

$Z2 = e_{remblai} + e_t + b + e_r/2 = 0,35+0,25+1,50+0,25/2 = 2,225$ m

Sollicitations	Formules	Applications numériques	Résultats (KN/m²)
Poussée latérale en Z1 : P1	Ka x ϒr x Z1	0,33x20x0,605	3,993
Poussée latérale en Z2 : P2	Ka x ϒr x Z2	0,33x20x2,225	15,543
Surcharge de remblai : Pq	Ka x q	0,33 x10	3,3
Charge permanente des Poussées latérales sur un piédroit : G2			**22,836**

- Charge permanente du radier G3

Sollicitations	Formules	Applications numériques	Résultats (KN/m²)
Charge permanente du tablier : G1	_	_	16,615
Poids propre des piédroits sur le radier : Pp	$\frac{\text{nbre piedroit} \times (\gamma b \times ep \times b)}{a \times n}$	$\frac{4 \times (25 \times 0{,}25 \times 1{,}50)}{2 \times 3}$	6,25
Poids propre du radier : P_{Radier}	γ_b x e_r	25x0,25	6,25
Charge Permanente du radier G3			**29,12**

d) Evaluations de charges d'exploitation

Ce sont les charges engendrées par le passage des véhicules sur l'ouvrage. Selon le fascicule 61 titre II, les charges d'exploitations à prendre en compte pour le dimensionnement de l'ouvrage sont :

L'article 4 du fascicule 61 titre II pour le système A ;

L'article 5 du fascicule 61 titre II pour le système B (Bc, Bt, Br) ;

Les charges militaires Mc120.

Système de charge A

Le système est constitué de charges à résistance variable uniformément réparties selon la longueur de la surcharge, correspondant à une ou plusieurs rangées de véhicules fixés au pont. Ils représentent des embouteillages ou un parking. La valeur est donnée par :

$$Q_{A\,(l)} = \gamma_q \times a_2 \times q(l)$$

$$q(l) = Sup[a1 \times A(l); (4 - 0,002.L)]\ ;\ A(l) = 2,30 + \frac{360}{L+12}$$

Avec :

- a_1 : un coefficient de dégression transversal qui se détermine en fonction du nombre de voie et de la classe du pont. Elle est donnée selon le tableau suivant :

Tableau XVII : Choix du coefficient a1

Classe du pont	Largeur roulable (Lr)	**Nombre de voies chargées** (a_1)				
		1	2	3	4	5
I	≥ 7 m	1	1	0,9	0,75	0,75
II	5,5 m < L_r < 7 m	1	0,9	-	-	-
III	≤ 5,5 m	0,9	0,8	-	-	-

NB : portée de l'ouvrage est de 50 m

Largeur roulable Lr: largeur mesurée entre bordure ou dispositif de retenue mais étant donné que le TPC, trottoir…ne sont pas chargé par des véhicules nous considérons :

Lr=Largeur de la chaussée principale+ Largeur site de bus + Largeur voie de contre allée sans trottoir=7x2+4x2+7x2=36m (donc nous avons un pont « dalot » de première classe);

Largeur chargeable : Lc = Lr s'il n'y pas des bordures ou Lr diminuée de 50cm le long de chaque dispositif de retenue donc Lc = 36m

Nombre de voies : n = Int (Lc/3) (Int : partie entière)

AN : **n=Ent (36/3) = 12 voies**

Nous avons donc a_1=(Classe 1 ; 12voies) =0,75

- a_2 : est un coefficient calculé donné en fonction de la classe du pont par la formule : $\boldsymbol{a_2 = \frac{V_0}{V}}$;

V étant la largeur d'une voie (m) (Lr/11) et V_0 fonction de la classe du pont

Classe du pont	Largeur roulable (Lr)	V_0
I	≥ 7 m	3,5 m
II	5,5 m < L_r < 7 m	3,0 m
III	≤ 5,5 m	2,75 m

V_0=3,5m car nous avons un pont de première classe

$$\boldsymbol{a_2 = \frac{3,5}{36/12} = 1,17}$$

- A(l) : surcharge exprimée en kN/m² et L étant la largeur chargeable exprimée en m ;

$$\boldsymbol{A(l) = 2,30 + \frac{360}{36+12} = 9,8\ KN/m^2}$$

- q(l) : densité de charge effectif ou charge résultant du maximum exprimé en kN/m²

$$\boldsymbol{q(l) = Sup[1 \times 9,8; (4 - 0,002 \times 36)] = 9,8\ KN/m^2}$$

- $\boldsymbol{\gamma_q}$ **:** coefficient de pondération à l'ELS égal à 1,2 et à l'ELU égal à 1,6

La charge $\boldsymbol{Q_{A(l)}}$ à l'ELU : $\boldsymbol{Q_{A(l)} = 13,72\ KN/m^2}$

La charge $\boldsymbol{Q_{A(l)}}$ à l'ELS : $\boldsymbol{Q_{A(l)} = 18,29\ KN/m^2}$

- **Système de charge B (Bc, Bt, Br)**

La charge totale de chargement Q_B est donnée par la relation suivante :

Q_B = max(Q(Bt) ; Q(Bc) ; Q (Bc Niger), Br)

Avec :

$Q_{Bc} = \gamma_q \times b_c \times B_C \times \delta$

$Q_{Bt} = \gamma_q \times b_t \times B_t \times \delta$

$Q_{Bc\ Niger} = \gamma_q \times b_c \times B_{c\ Niger} \times \delta$

Le coefficient de majoration dynamique s'obtient par :

$\delta_i = 1 + \frac{0,4}{1+0,2\times L} + \frac{0,6}{1+4\frac{G}{S}}$, Avec : L = max (Lr ; portée de la travée)

- **Système sous charge B_C**

Dans le cadre du calcul lié au système Bc, l'analyse se concentrera spécifiquement sur le sous-système Bc Niger. Ce choix se justifie par le fait qu'il constitue le cas le plus défavorable pour le dimensionnement des ponts (dalots). Au sein de la zone l'UEMOA, le sous-système Bc est d'ailleurs normalisé sur la base du modèle Bc Niger, caractérisé par une charge de 13 tonnes.

Les charges du sous-système Bc Niger :

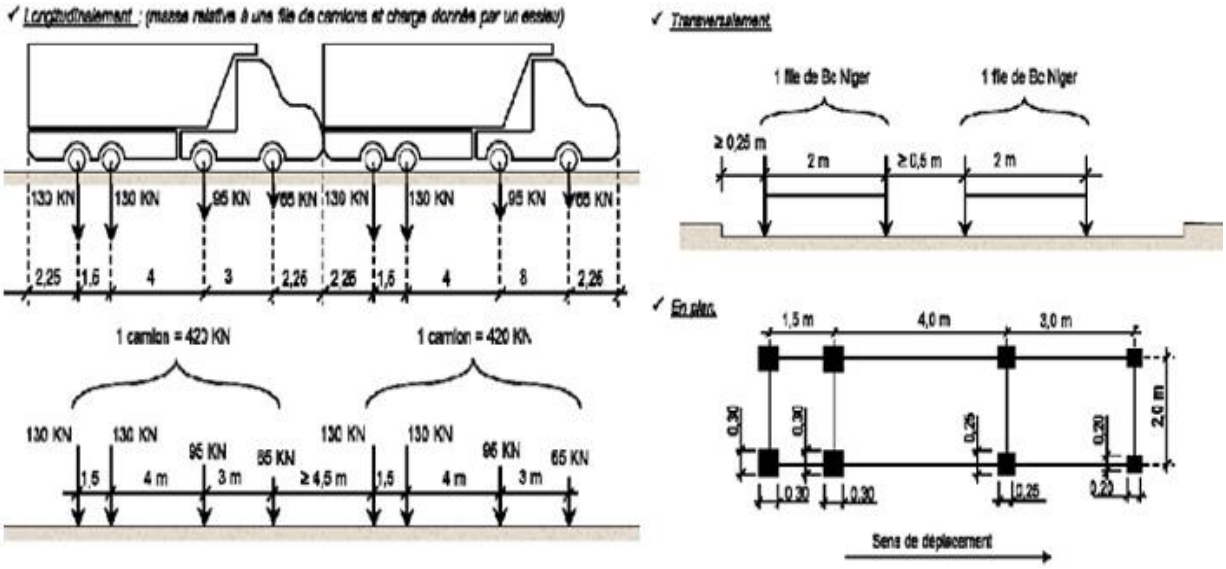


Figure V : Sous-système Bc Niger

$Q_{Bc\ Niger} = \gamma_q \times b_c \times B_{c\ Niger} \times \delta$

- Coefficient bc :

Les charges du système Bc sont multipliées par le coefficient bc qui dépend de la classe du pont et du nombre de files de camion disposé transversalement définis dans le tableau ci-dessous :

	Classe du pont	Nombre de voies chargées				
		1	2	3	4	5
bc	I	1,2	1,1	0,95	0,80	0,70
	II	1	1	-	-	-
	III	0,9	0,8	-	-	-

Nous avons un dalot de classe I et plus de voies, donc bc=0,70

- Charge la plus défavorable du système :

Dans le sens transversal, on dispose autant de files de camions que de voie de circulation. Ce qui nous permet alors de déterminer la charge repartie sur notre dalots (la charge totale des roues de camions qui se posent sur notre tablier). Au total, nous avons 14 files de camions qui peuvent se poser sur notre largeur roulable.

$$\mathrm{Q} = (130 + 130 + 95) \times 14 = 4970\mathrm{KN}$$

- Calcul de la surface d'encombrement Sxy :

Sxy=$Lx \times Ly$

Avec :

Lx: la longueur entre les roues des camions posées sur le dalot suivant le sens transversal et Ly: la longueur entre les roues des camions posées sur le dalot suivant le sens longitudinal.

$$\mathrm{Sxy} = (1{,}5 + 4 + \frac{0{,}3}{2} + \frac{0{,}25}{2}) \times ((2 \times 14 + 0{,}5 \times 13) + 0{,}30)$$

$$\mathrm{Sxy} = 200{,}97\ \mathrm{m}^2$$

- Calcul de la charge surfacique Bc :

$$Bc = \frac{Q}{Sxy} = \frac{4970}{200{,}97}\ Soit\ une\ charge\ surfacique\ Bc = 24{,}73\ KN/m^2$$

- Calcul de la charge G sur le tablier

$$Gt = G1 \times Surface\ chargeable = 16{,}615 \times 36 \times (2 + 0{,}25 \times 2) = 1495{,}32KN$$

- Calcul de la charge G sur le radier

$$Gr = G1 \times Surface\ chargeable = 29{,}115\ \times 36 \times (2 + 0{,}25 \times 2) = 2620{,}32\ KN$$

- Calcul du coefficient δ

$$\delta_i = 1 + \frac{0{,}4}{1+0{,}2\times 36} + \frac{0{,}6}{1+4\frac{G}{4970}}$$

$$\delta_{bc\ tablier} = 1{,}321$$

$$\delta_{bc\ radier} = 1{,}241$$

- Calcul de Q_{Bc}

$La\ charge\ Q_{Bc\ Niger}\ sur\ le\ tabier$ à $l'ELS$: $Q_{Bc} = 1{,}2 \times 0{,}70 \times 24{,}73 \times 1{,}321$

$$= 39{,}204\ KN/m^2$$

$La\ charge\ Q_{Bc\ Niger}\ sur\ le\ tablier$ à $l'ELU$: $Q_{Bc} = 1{,}6 \times 0{,}7 \times 24{,}73 \times 1{,}321$

$$= 52{,}273 KN/m^2$$

$La\ charge\ Q_{Bc\ Niger}\ sur\ le\ radier$ à $l'ELS$: $Q_{Bc} = 1{,}2 \times 0{,}7 \times 24{,}73 \times 1{,}241$

$$= 38{,}85 KN/m^2$$

$La\ charge\ Q_{Bc\ Niger}\ sur\ le\ radier$ à $l'ELU$: $Q_{Bc} = 1{,}6 \times 0{,}7 \times 24{,}73 \times 1{,}241$

$$= 49{,}13\ KN/m^2$$

- **Système sous charge Bt**

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

Il ne s'applique qu'aux ponts de première et deuxième classe ;

Le nombre de camions est limité à deux dans le sens transversal ;

Il est affecté d'un coefficient de pondération bt égale à 1 pour les ponts de première classe et 0,9 pour ceux de deuxième classe.

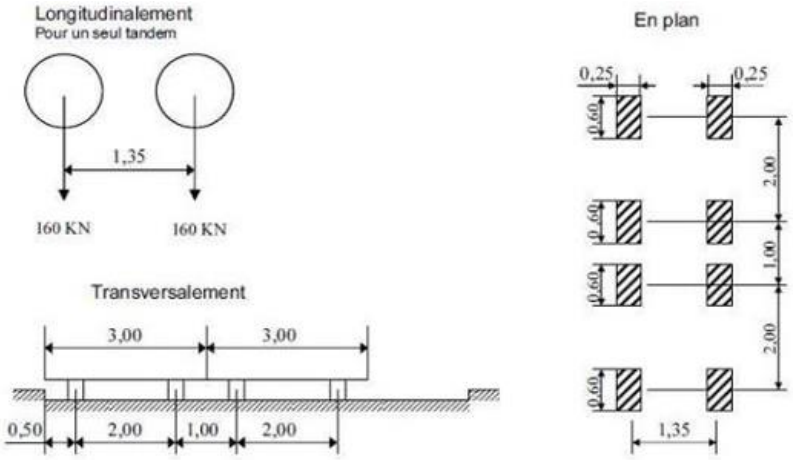


Figure VI : Sous-système Bt

On dispose sur une travée de l'ouvrage, deux (02) tandems de deux essieux, équivalent à quatre (04) essieux de 16t chacun, soit Q= 160x4= 640 kN

$$Q_{Bt} = \gamma_q \times b_t \times B_t \times \delta$$

- Coefficient bt :

Le coefficient que nous utiliserons sera bt = 1 car notre dalot est de première classe.

- Calcul de la surface d'encombrement Sxy :

$$Sxy = Lx \times Ly$$

Avec : Ly la largeur d'influence du camion suivant le sens transversal et Lx celle suivant le sens longitudinal. On a:

Ly = 2+1+2+0,6 = 5,6 m

Lx=1,35+0,25 = 1,6 m

D'où : $Sxy = 8{,}96\ m^2$

- Calcul de la charge surfacique Bt

$$Bt = \frac{Q}{Sxy} = \frac{640}{8{,}96}\ Soit\ une\ charge\ surfacique\ Bt = 71{,}429\ KN/m^2$$

- Calcul de la charge G sur le tablier

$$Gt = G1 \times Surface\ chargeable = 16{,}615 \times 36 \times (2 + 0{,}25 \times 2) = 1495{,}32KN$$

- Calcul de la charge G sur le radier

$$Gr = G1 \times Surface\ chargeable = 29{,}115 \times 36 \times (2 + 0{,}25 \times 2) = 2620{,}32\ KN$$

- Calcul du coefficient δ

$$\delta_i = 1 + \frac{0{,}4}{1+0{,}2\times 36} + \frac{0{,}6}{1+4\frac{G}{640}}$$

$$\delta_{bt\ tablier} = 1{,}107$$

$$\delta_{bt\ radier} = 1{,}083$$

$$\delta_{=} \max(\delta_{bc\,;}\ \delta_{bt})$$

- Calcul de Q_{Bt}

$La\ charge\ Q_{Bt}\ sur\ le\ tabier$ à $l'ELS$: $Q_{Bt} = 1{,}2 \times 1 \times 71{,}429 \times 1{,}321 = 113{,}235\ KN/m^2$

$La\ charge\ Q_{Bt}\ sur\ le\ tablier$ à $l'ELU$: $Q_{Bt} = 1{,}6 \times 1 \times 71{,}429 \times 1{,}321$
$= 150{,}980\ KN/m^2$

$La\ charge\ Q_{Bt}\ sur\ le\ radier$ à $l'ELS$: $Q_{Bt} = 1{,}2 \times 1 \times 71{,}429 \times 1{,}241 = 106{,}438\ KN/m^2$

$La\ charge\ Q_{Bt}\ sur\ le\ radier$ à $l'ELU$: $Q_{Bt} = 1{,}6 \times 1 \times 71{,}429 \times 1{,}241 = 141{,}92\ KN/m^2$

- **Système sous charge B_r**

Il s'agit d'une roue isolée, positionnée perpendiculairement à l'axe longitudinal de la chaussée. La roue du camion peut être placée à n'importe quel point de la largeur roulable afin de provoquer l'effet le plus défavorable possible.

Toutefois, en termes d'intensité, les sollicitations générées par le système Br demeurent nettement inférieures à celles induites par les systèmes Bt et Bc. Par conséquent, l'étude de ce système n'est pas nécessaire dans le cadre du présent dimensionnement.

- **Système de charge militaire**

  - **Système Mc120.**

La figure ci-dessous présente la disposition du système $M_{c\,80}$

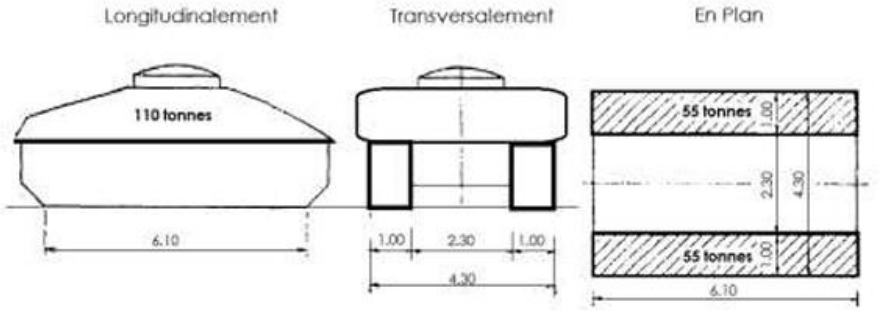


Figure VII : Sous-système Mc120

La charge totale de chargement MC120 est donnée par la relation suivante :

$$Q_{MC180} = \gamma_q \times M_{c\,120} \times \delta$$

Le coefficient de majoration dynamique s'obtient par :

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

Application du sous-système $M_{c\,120}$

Tableau XVIII : Application du sous-système $M_{c\,120}$

Système Mc120		
	Formule	Résultat
Charge totale sur tablier Q (KN)	550x2	1100
Largeur d'influence suivant Lx (m)		6,10
Largeur d'influence suivant Ly (m)		4,30
Surface d'encombrement Sc (m²)	$Lx \times Ly$	26,23
Charge surfacique Mc 120 (KN/m²)	Q/Sc	41,92
Charge G sur le tablier (KN/m²)		1495,32
Charge G sur le radier (KN/m²)		2620,32
Calcul de charge $Q_{Mc\,120}$ sur le tablier	**ELS**	**ELU**
Le coefficient de majoration dynamique δ	1,14	1,14
ɣq	1,2	1,6
$Q_{MC\,120\ tablier}$ (KN/m²)	**57,47**	**76,63**
Affectation de charge sur le Radier		
Calcul de charge $Q_{Mc\,120}$ sur le radier	**ELS**	**ELU**
Le coefficient de majoration dynamique δ	1,106	1,106
ɣq	1,2	1,6
$Q_{MC\,120\ radier}$ (KN/m²)	**55,65**	**74,20**

- **Système Mc80.**

La figure ci-dessous présente la disposition du système MC80.

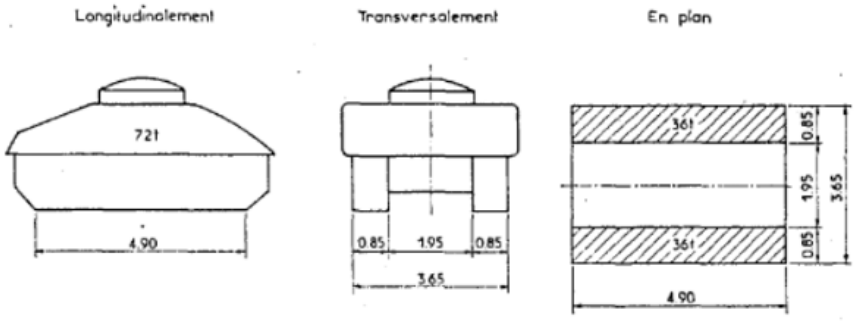


Figure VIII: Sous-système MC80

La charge totale de chargement MC80 est donnée par la relation suivante :

$$Q_{MC80} = \gamma_q \times M_{c\,80} \times \delta$$

Le coefficient de majoration dynamique s'obtient par :

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

Tableau XIX : Application du sous-système $M_{c\,80}$

Système Mc80		
	Formule	Résultat
Charge totale sur tablier Q (KN)		720
Largeur d'influence suivant Lx (m)		4,9
Largeur d'influence suivant Ly (m)	1,95+0,85	2,8
Surface d'encombrement Sc (m²)	$Lx \times Ly$	13,72
Charge surfacique Mc 80 (KN/m²)	Q/Sc	52,478
Charge G sur le tablier (KN/m²)		1495,32
Charge G sur le radier (KN/m²)		2620,32
Calcul de charge $Q_{Mc\,80}$ sur le tablier	**ELS**	**ELU**
Le coefficient de majoration dynamique δ	1,113	1,113
ɣq	1,2	1,6
$Q_{MC\,80\ tablier}$ (KN/m²)	**70,105**	**93,474**
Affectation de charge sur le Radier		
Calcul de charge $Q_{Mc\,80}$ sur le radier	**ELS**	**ELU**
Le coefficient de majoration dynamique δ	1,087	1,087
ɣq	1,2	1,6
$Q_{MC\,80\ radier}$ (KN/m²)	**68,4744**	**91,2992**

Tableau XX : Récapitulatif des charges

RECAPITULATIF DES CHARGES				
Désignation	**Tablier**		**Radier**	
	ELS (KN/m²)	**ELU (KN/m²)**	**ELS (KN/m²)**	**ELU (KN/m²)**
Système A(l)	13,72	18,29	13,72	18,29
Système Bt	**113,24**	**150,98**	**106,44**	**141,92**
Système Bc Niger	39,204	52,273	36,85	49,13
Système Mc80	70,105	93,474	68,47	91,30
Système Mc120	57,47	76,63	55,65	74,196
Cas défavorable Bt	**113,24**	**150,98**	**106,44**	**141,92**

Source : auteur

Ce tableau présente les résultats obtenus pour l'ensemble des systèmes de charge analysés. Il permet de constater que le système Bt constitue le cas le plus défavorable, comparativement aux systèmes A, ainsi qu'aux sous-systèmes Br, Bc Niger et Mc. En conséquence, les calculs seront réalisés uniquement sur la base des charges du système Bt.

La suite de calcul s'est faite à l'aide du logiciel CYPE en modélisant uniquement le système Bt.

e) Note de calcul du dalot 1 et 3 de section 3x200x150 cm² assisté du logiciel CYPE

1-NORME ET MATÉRIAUX

Norme : BAEL-91 (R-99) (France)

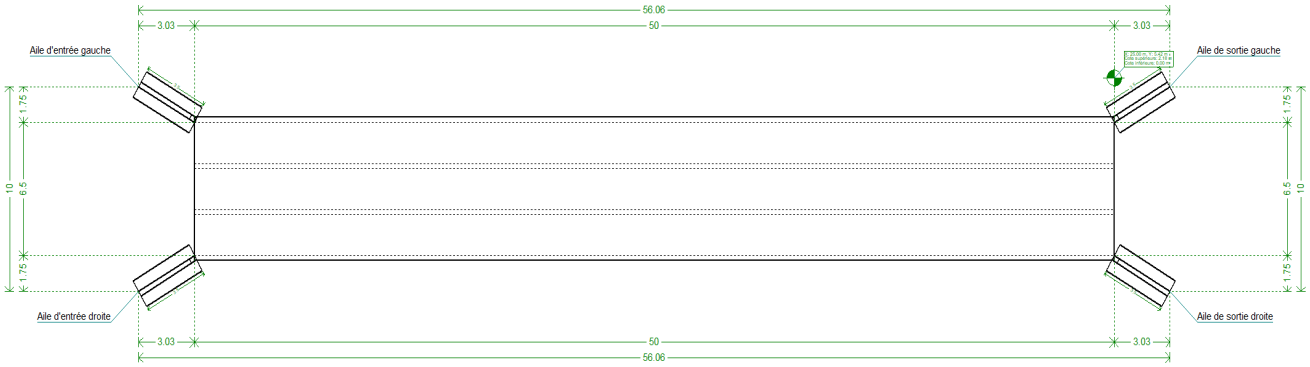
Béton : B25

Acier des barres : Fe E500

Enrobage extérieur : 3.0 cm

Enrobage intérieur : 3.0 cm

2-GÉOMÉTRIE



Plan supérieur module : Par gabarit (1.50 m)

MODULE

Épaisseurs	Piédroits : 25 cm Tablier/radier : 25 cm
Cellule 1	Mesure de la portée : Perpendiculairement à la paroi gauche Portée à l'entrée : 200 cm Portée en sortie : 200 cm
Mur intermédiaire 1	Épaisseur : 25 cm
Cellule 2	Mesure de la portée : Perpendiculairement à la paroi gauche Portée à l'entrée : 200 cm Portée en sortie : 200 cm
Mur intermédiaire 2	Épaisseur : 25 cm

MUR EN AILE D'ENTRÉE GAUCHE

Longueur totale : 3.50 m

Longueur supérieure : 0.32 m

Épaisseur en extrémité : 0.80 m

Hauteur : 2.18 m

Surcharge du terrain sur l'arrière : 10.00 kN/m²

Épaisseur du mur : 0.25 m

Épaisseur de la semelle : 0.35 m

Débords semelle :

- Arrière : 0.60 m
- Avant : 0.60 m

MUR EN AILE D'ENTRÉE DROITE

Longueur totale : 3.50 m

Longueur supérieure : 0.32 m

Épaisseur en extrémité : 0.80 m

Hauteur : 2.18 m

Surcharge du terrain sur l'arrière : 10.00 kN/m²

Épaisseur du mur : 0.25 m

Épaisseur de la semelle : 0.35 m

Débords semelle :

- Arrière : 0.60 m
- Avant : 0.60 m

MUR EN AILE DE SORTIE GAUCHE

Longueur totale : 3.50 m
Longueur supérieure : 0.32 m
Épaisseur en extrémité : 0.80 m
Hauteur : 2.18 m
Surcharge du terrain sur l'arrière : 10.00 kN/m²
Épaisseur du mur : 0.25 m
Épaisseur de la semelle : 0.35 m
Débords semelle :
- Arrière : 0.60 m
- Avant : 0.60 m

MUR EN AILE DE SORTIE DROITE

Longueur totale : 3.50 m
Longueur supérieure : 0.32 m
Épaisseur en extrémité : 0.80 m
Hauteur : 2.18 m
Surcharge du terrain sur l'arrière : 10.00 kN/m²
Épaisseur du mur : 0.25 m
Épaisseur de la semelle : 0.35 m
Débords semelle :
- Arrière : 0.60 m
- Avant : 0.60 m

3-TERRAINS

Module de réaction : 34000.0 kN/m³

Contrainte admissible sol d'assise : 150.00 kN/m²

Poids volumique : 20.0 kN/m³

Angle de frottement interne : 30 degrés

Cohésion : 0.00 kN/m²

Pourcentage de frottement terrain-mur : 0 %

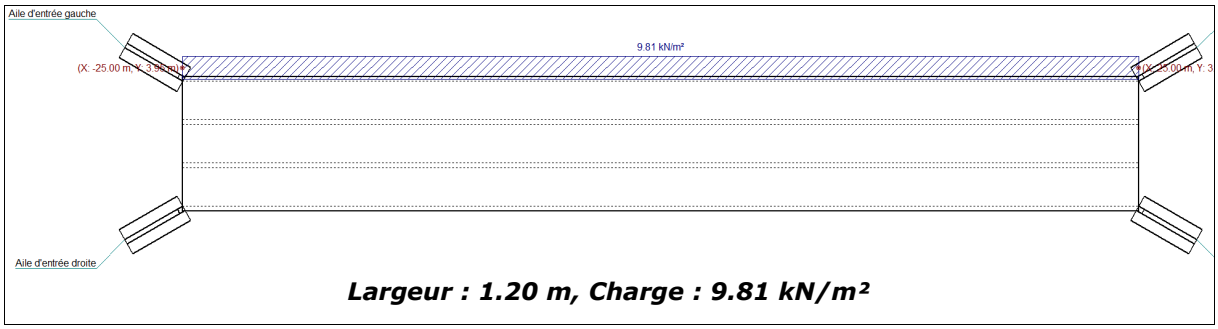
Angle de transmission des charges : 45 degrés

4-ACTIONS

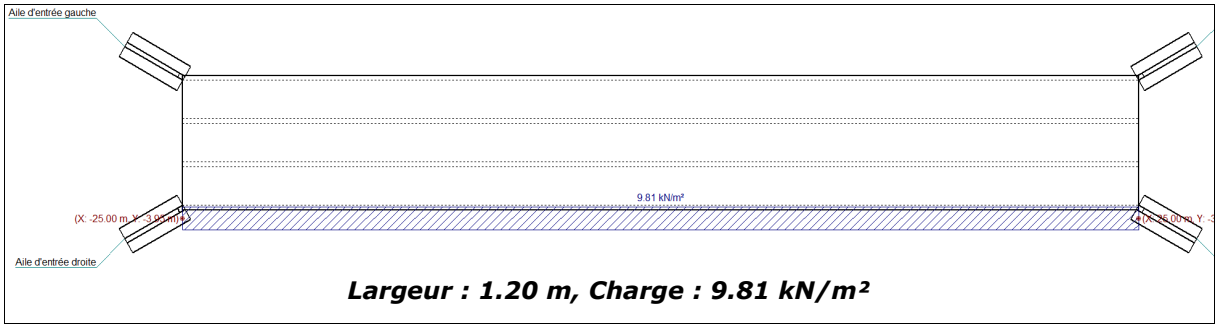
Surcharge uniforme supérieure : 10.00 kN/m²

Sans surcharge uniforme inférieure

Sans charge hydraulique



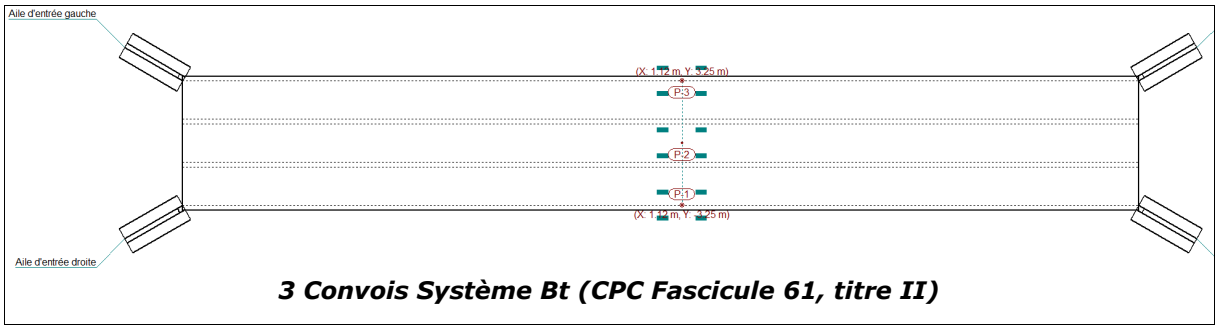
Largeur : 1.20 m, Charge : 9.81 kN/m²



Largeur : 1.20 m, Charge : 9.81 kN/m²

Chaque file de 3 convois du système Bt a été disposé sur toute la largeur chargeable et étudier cas par cas afin de déterminer la position la plus défavorable.

Il s'agit ici d'un cas de chargement.



3 Convois Système Bt (CPC Fascicule 61, titre II)

5- MÉTHODE DE CALCUL

Le modèle de calcul utilisé consiste en éléments finis triangulaires du type lamelle épaisse tridimensionnelle, qui considère la déformation par l'effort tranchant. Chaque élément est constitué de six nœuds, aux sommets et aux milieux des côtés, avec six degrés de liberté chacun.

Le maillage du pont-cadre est réalisé en fonction de ses dimensions (épaisseur et portée). Sur chaque nœud, après une analyse élastique et linéaire, huit efforts sont obtenus, avec lesquels la section de béton et l'armature sont dimensionnées et vérifiées. A partir des déplacements sont vérifiés la flèche, les pressions sur le terrain, le soulèvement du radier, etc.

6- DESCRIPTION DE L'ARMATURE

MODULE

Panneau	Position	Direction	Armature de base	Renfort
Tablier	Supérieur	Longitudinal	HA10e=20, crosse=44cm	
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA10e=20, crosse=29cm	Renforts 1: HA10 - Murs 1 à 1 - Longueur ini.= 1.02m - Longueur fin. = 0.78m Renforts 2: HA10 - Murs 2 à 2 - Longueur ini.= 0.78m - Longueur fin.= 0.86m
	Inférieur	Longitudinal	HA10e=20, crosse=44cm	
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA10e=20, crosse=11cm	Renforts 1: HA10 - Cellules 1 à 1 - Longueur ini.= 0.64m - Longueur fin.= 0.89m Renforts 2: HA10 - Cellules 3 à 3 - Longueur ini.= 0.91m - Longueur fin.= 0.64m
Radier	Inférieur	Longitudinal	HA12e=20, crosse=53cm	
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA12e=20, crosse=38cm	
	Supérieur	Longitudinal	HA12e=20, crosse=53cm	
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA12e=20, crosse=19cm	

Panneau	Position	Direction	Armature de base	Renfort
Piédroit gauche	Arrière	Vertical	HA10e=20, crosse=29cm - Longueur crosse en pied=29 cm	
		Horizontal	HA10e=20, crosse=44cm	
	Avant	Vertical	HA10e=20, crosse=11cm - Longueur crosse en pied=11 cm	
		Horizontal	HA10e=20, crosse=44cm	
Piédroit droit	Arrière	Vertical	HA10e=20, crosse=29cm - Longueur crosse en pied=29 cm	
		Horizontal	HA10e=20, crosse=44cm	
	Avant	Vertical	HA10e=20, crosse=11cm - Longueur crosse en pied=11 cm	
		Horizontal	HA10e=20, crosse=44cm	
Mur intermédiaire 1	Gauche	Vertical	HA10e=20, crosse=11cm - Longueur crosse en pied=11 cm	
		Horizontal	HA10e=20, crosse=44cm	
	Droite	Vertical	HA10e=20, crosse=11cm - Longueur crosse en pied=11 cm	
		Horizontal	HA10e=20, crosse=44cm	
Mur intermédiaire 2	Gauche	Vertical	HA10e=20, crosse=11cm - Longueur crosse en pied=11 cm	
		Horizontal	HA10e=20, crosse=44cm	

Panneau	Position	Direction	Armature de base	Renfort
	Droite	Vertical	HA10e=20, crosse=11cm - Longueur crosse en pied=11 cm	
		Horizontal	HA10e=20, crosse=44cm	

MUR EN AILE D'ENTRÉE GAUCHE

Armature horizontale : HA10e=20 Armature longitudinale inférieure : HA10e=20, crosse=11cm Armature longitudinale supérieure : HA10e=20, crosse=11cm	
Armature verticale	Armature semelle
Armature verticale arrière : HA8e=10 - Recouvrement =0.40m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.14m Armature verticale avant : HA8e=10 - Recouvrement =0.25m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.14m	Transversal inférieur : HA10e=20 Transversal supérieur : HA10e=20

MUR EN AILE D'ENTRÉE DROITE

Armature horizontale : HA10e=20 Armature longitudinale inférieure : HA10e=20, crosse=11cm Armature longitudinale supérieure : HA10e=20, crosse=11cm	
Armature verticale	Armature semelle
Armature verticale arrière : HA8e=10 - Recouvrement =0.40m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.14m Armature verticale avant : HA8e=10 - Recouvrement =0.25m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.14m	Transversal inférieur : HA10e=20 Transversal supérieur : HA10e=20

MUR EN AILE DE SORTIE GAUCHE

Armature horizontale : HA10e=20 Armature longitudinale inférieure : HA10e=20, crosse=11cm Armature longitudinale supérieure : HA10e=20, crosse=11cm	
Armature verticale	Armature semelle
Armature verticale arrière : HA8e=10 - Recouvrement =0.40m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.14m Armature verticale avant : HA8e=10 - Recouvrement =0.25m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.14m	Transversal inférieur : HA10e=20 Transversal supérieur : HA10e=20

MUR EN AILE DE SORTIE DROITE

Armature horizontale : HA10e=20 Armature longitudinale inférieure : HA10e=20, crosse=11cm Armature longitudinale supérieure : HA10e=20, crosse=11cm	
Armature verticale	Armature semelle
Armature verticale arrière : HA8e=10 - Recouvrement =0.40m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.14m Armature verticale avant : HA8e=10 - Recouvrement =0.25m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.14m	Transversal inférieur : HA10e=20 Transversal supérieur : HA10e=20

7- VÉRIFICATION

Aucune erreur de vérification a été détecté par le logiciel CYPE.

II. Note de calcul du dalot de section 3x200x150 (OH2) assisté par le logiciel CYPE

1- NORME ET MATÉRIAUX

Norme : BAEL-91 (R-99) (France)

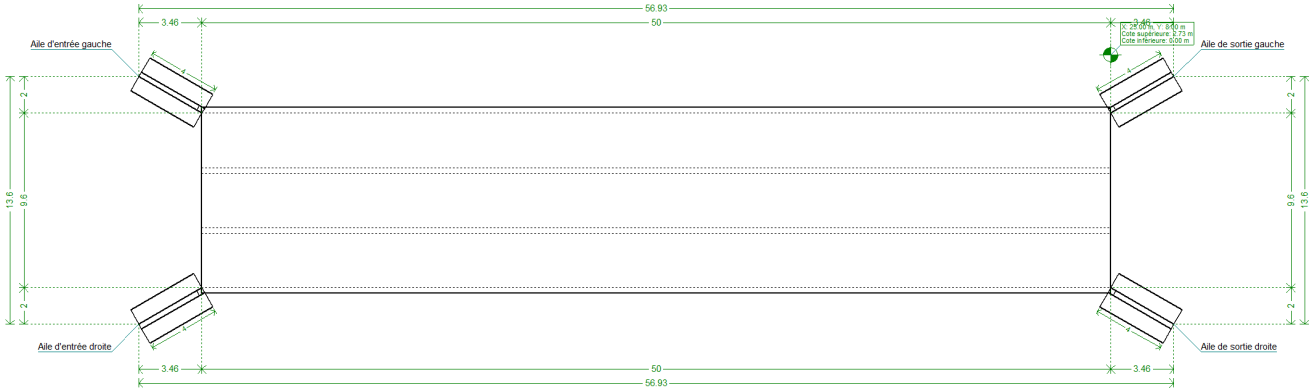
Béton : B25

Acier des barres : Fe E500

Enrobage extérieur : 3.0 cm

Enrobage intérieur : 3.0 cm

2- GÉOMÉTRIE



Plan supérieur module: Par gabarit (2.00 m)

MODULE

Épaisseurs	Piédroits : 30 cm Tablier/radier : 30 cm
Cellule 1	Mesure de la portée : Perpendiculairement à la paroi gauche Portée à l'entrée : 300 cm Portée en sortie : 300 cm
Mur intermédiaire 1	Épaisseur : 30 cm
Cellule 2	Mesure de la portée : Perpendiculairement à la paroi gauche Portée à l'entrée : 300 cm Portée en sortie : 300 cm
Mur intermédiaire 2	Épaisseur : 30 cm

MUR EN AILE D'ENTRÉE GAUCHE

Longueur totale : 4.00 m Longueur supérieure : 0.32 m Épaisseur en extrémité : 0.80 m Hauteur : 3.30 m Surcharge du terrain sur l'arrière : 10.00 kN/m² Épaisseur du mur : 0.30 m Épaisseur de la semelle : 0.35 m Débords semelle : - Arrière : 0.90 m - Avant : 0.90 m

MUR EN AILE D'ENTRÉE DROITE

Longueur totale : 4.00 m
Longueur supérieure : 0.32 m
Épaisseur en extrémité : 0.80 m
Hauteur: 3.30 m
Surcharge du terrain sur l'arrière : 10.00 kN/m²
Épaisseur du mur: 0.30 m
Épaisseur de la semelle: 0.35 m
Débords semelle :
- Arrière: 0.90 m
- Avant: 0.90 m

MUR EN AILE DE SORTIE GAUCHE

Longueur totale : 4.00 m
Longueur supérieure : 0.32 m
Épaisseur en extrémité : 0.80 m
Hauteur : 3.30 m
Surcharge du terrain sur l'arrière: 10.00 kN/m²
Épaisseur du mur: 0.30 m
Épaisseur de la semelle: 0.35 m
Débords semelle :
- Arrière : 0.90 m
- Avant : 0.90 m

MUR EN AILE DE SORTIE DROITE

Longueur totale : 4.00 m
Longueur supérieure : 0.32 m
Épaisseur en extrémité : 0.80 m
Hauteur : 3.30 m
Surcharge du terrain sur l'arrière : 10.00 kN/m²
Épaisseur du mur : 0.30 m
Épaisseur de la semelle : 0.35 m
Débords semelle :
- Arrière : 0.90 m
- Avant : 0.90 m

3- TERRAINS

Module de réaction : 34000.0 kN/m³

Contrainte admissible sol d'assise : 150.00 kN/m²

Poids volumique : 20.0 kN/m³

Angle de frottement interne : 30 degrés

Cohésion : 0.00 kN/m²

Pourcentage de frottement terrain-mur : 0 %

Angle de transmission des charges : 45 degrés

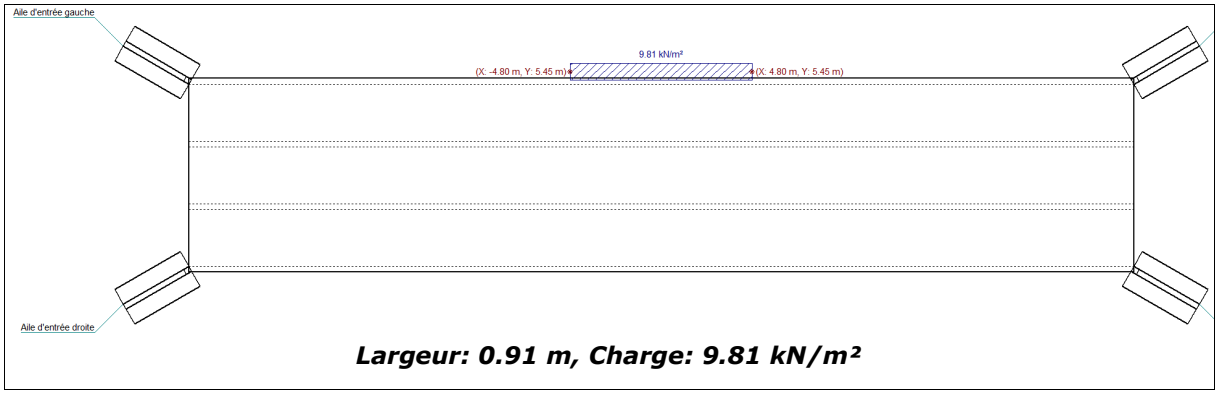
4- ACTIONS

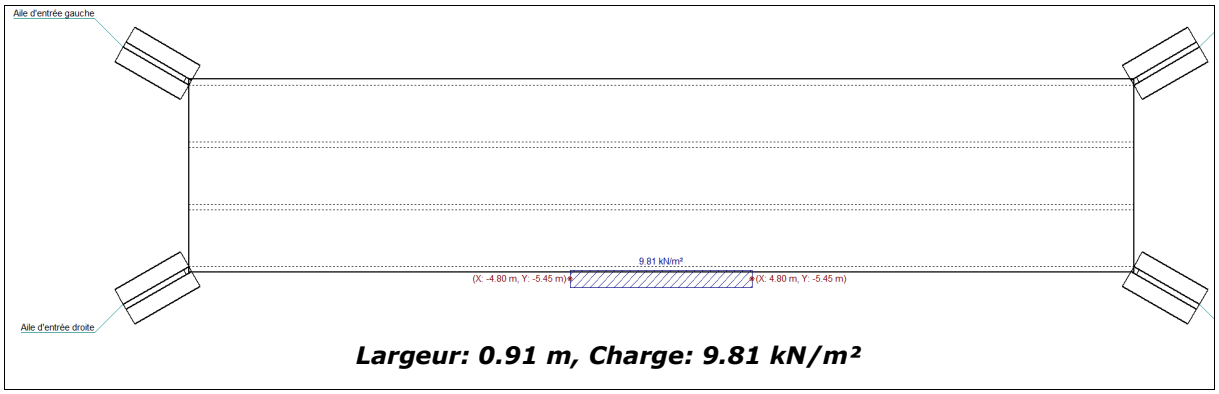
Surcharge uniforme supérieure : 10.00 kN/m²

Sans surcharge uniforme inférieure

Sans charge hydraulique

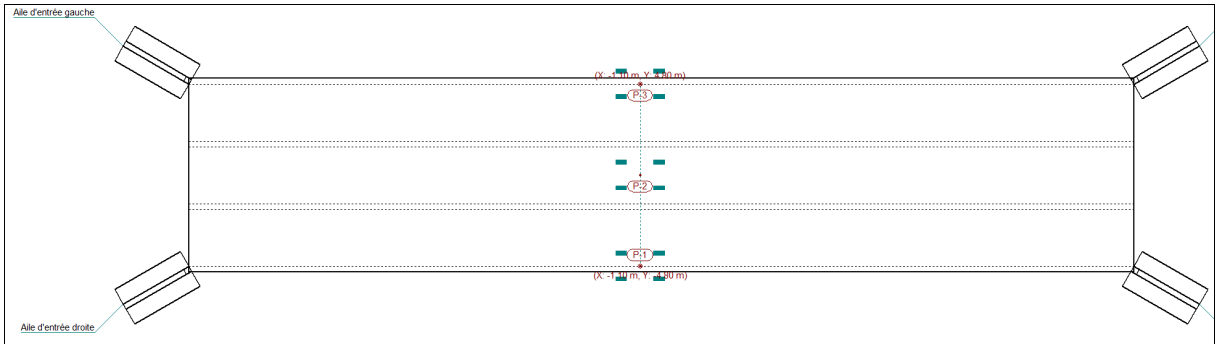
CHARGES EN BANDE





Chaque file de 3 convois du système Bt a été disposé sur toute la largeur chargeable et étudier cas par cas afin de déterminer la position la plus défavorable.

Il s'agit ici d'un cas de chargement.



3 Convois Système Bt (CPC Fascicule 61, titre II)

5- MÉTHODE DE CALCUL

Le modèle de calcul utilisé consiste en éléments finis triangulaires du type lamelle épaisse tridimensionnelle, qui considère la déformation par l'effort tranchant. Chaque élément est constitué de six nœuds, aux sommets et aux milieux des côtés, avec six degrés de liberté chacun. Le maillage du pont-cadre est réalisé en fonction de ses dimensions (épaisseur et portée). Sur chaque nœud, après une analyse élastique et linéaire, huit efforts sont obtenus, avec lesquels la section de béton et l'armature sont dimensionnées et vérifiées. A partir des déplacements sont vérifiés la flèche, les pressions sur le terrain, le soulèvement du radier, etc.

6- DESCRIPTION DE L'ARMATURE

MODULE

Panneau	Position	Direction	Armature de base
Tablier	Supérieur	Longitudinal	Ø10e=20, crosse=41cm
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	Ø10e=20, crosse=41cm
	Inférieur	Longitudinal	Ø10e=20, crosse=41cm
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	Ø10e=20, crosse=8cm
Radier	Inférieur	Longitudinal	Ø12e=20, crosse=49cm
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	Ø12e=20, crosse=32cm
	Supérieur	Longitudinal	Ø12e=20, crosse=49cm
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	Ø12e=20, crosse=31cm

Panneau	Position	Direction	Armature de base
Piédroit gauche	Arrière	Vertical	Ø10e=20, crosse=24cm - Attente=0.42 m - Longueur crosse en pied=24 cm
		Horizontal	Ø10e=20, crosse=58cm
	Avant	Vertical	Ø10e=20, crosse=8cm - Attente=0.42 m - Longueur crosse en pied=8 cm
		Horizontal	Ø10e=20, crosse=58cm
Piédroit droit	Arrière	Vertical	Ø10e=20, crosse=24cm - Attente=0.42 m - Longueur crosse en pied=24 cm
		Horizontal	Ø10e=20, crosse=58cm
	Avant	Vertical	Ø10e=20, crosse=8cm - Attente=0.42 m - Longueur crosse en pied=8 cm
		Horizontal	Ø10e=20, crosse=58cm
Mur intermédiaire 1	Gauche	Vertical	Ø10e=20, crosse=8cm - Attente=0.42 m - Longueur crosse en pied=8 cm
		Horizontal	Ø10e=20, crosse=58cm
	Droite	Vertical	Ø10e=20, crosse=8cm - Attente=0.42 m - Longueur crosse en pied=8 cm
		Horizontal	Ø10e=20, crosse=58cm
Mur intermédiaire 2	Gauche	Vertical	Ø10e=20, crosse=8cm - Attente=0.42 m - Longueur crosse en pied=8 cm
		Horizontal	Ø10e=20, crosse=58cm

Panneau	Position	Direction	Armature de base
	Droite	Vertical	Ø10e=20, crosse=8cm - Attente=0.42 m - Longueur crosse en pied=8 cm
		Horizontal	Ø10e=20, crosse=58cm

MUR EN AILE D'ENTRÉE GAUCHE

Armature horizontale: Ø8e=15 Armature longitudinale inférieure: Ø10e=15, crosse=7cm Armature longitudinale supérieure : Ø10e=15, crosse=7cm	
Armature verticale	Armature semelle
Armature verticale arrière: Ø10e=15 - Recouvrement =0.35m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.19m Armature verticale avant: Ø10e=15 - Recouvrement =0.50m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.19m	Transversal inférieur: Ø10e=15 -Longueur crosse arrière=10cm -Longueur crosse avant=10cm Transversal supérieur: Ø10e=15 -Longueur crosse arrière=10cm -Longueur crosse avant=10cm

MUR EN AILE D'ENTRÉE DROITE

Armature horizontale: Ø8e=15 Armature longitudinale inférieure: Ø10e=15, crosse=7cm Armature longitudinale supérieure: Ø10e=15, crosse=7cm	
Armature verticale	Armature semelle
Armature verticale arrière: Ø10e=15 - Recouvrement =0.35m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.19m Armature verticale avant: Ø10e=15 - Recouvrement =0.50m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.19m	Transversal inférieur: Ø10e=15 -Longueur crosse arrière=10cm -Longueur crosse avant=10cm Transversal supérieur: Ø10e=15 -Longueur crosse arrière=10cm -Longueur crosse avant=10cm

MUR EN AILE DE SORTIE GAUCHE

Armature horizontale: Ø8e=15 Armature longitudinale inférieure: Ø10e=15, crosse=7cm Armature longitudinale supérieure: Ø10e=15, crosse=7cm	
Armature verticale	Armature semelle
Armature verticale arrière: Ø10e=15 - Recouvrement =0.35m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.19m Armature verticale avant: Ø10e=15 - Recouvrement =0.50m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.19m	Transversal inférieur: Ø10e=15 -Longueur crosse arrière=10cm -Longueur crosse avant=10cm Transversal supérieur: Ø10e=15 -Longueur crosse arrière=10cm -Longueur crosse avant=10cm

MUR EN AILE DE SORTIE DROITE

Armature horizontale: Ø8e=15 Armature longitudinale inférieure: Ø10e=15, crosse=7cm Armature longitudinale supérieure: Ø10e=15, crosse=7cm	
Armature verticale	Armature semelle
Armature verticale arrière: Ø10e=15 - Recouvrement =0.35m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.19m Armature verticale avant: Ø10e=15 - Recouvrement =0.50m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.19m	Transversal inférieur: Ø10e=15 -Longueur crosse arrière=10cm -Longueur crosse avant=10cm Transversal supérieur: Ø10e=15 -Longueur crosse arrière=10cm -Longueur crosse avant=10cm

7- VÉRIFICATION

Aucune erreur de vérification a été détecté par le logiciel CYPE.

ANNEXE V : DIMENSIONNEMENT STRUCTUREL DES CANIEAUX

DIMENSIONNEMENT DU CANIVEAU DE SECTION 100X80

I. Note de calcul

I.1. Hypothèse de base

- Références et règlements de calcul

Les calculs seront établis selon les prescriptions et recommandations des documents suivants :

- Le BAEL 91 modifié 99 ;
- Le Fascicule n° 61 (Titre II) concernant les charges d'exploitation - Conception Calcul et épreuves des ouvrages d'art (Cahier des Prescriptions Communes (CPC) français) ;
- Fissuration considérée préjudiciable

- Béton

- Résistance (sur éprouvettes cylindriques) à la compression à 28 jours : fc_{28} =25 MPa
- Résistance à la traction à 28 jours : ft_{28} =0,6+0,06xfc_{28} =2,1MPa
- Dosage en ciment pour béton armé : 350 kg/m³ de CPA 42.5
- Poids volumique du béton : γ_b = 25 KN/m³
- Module de déformation longitudinale instantanée : Ei= 11000x$(fc28)^{1/3}$ = 32164,195 MPa
- Module de déformation longitudinale différé :
- Contrainte limite du béton à l'ELS : σ_{bc} =0,6xfc_{28} = 15 MPa
- Contraintes de calcul à l'ELU : $f_{bu} = \frac{0,85 \times f_{c28}}{\theta \times \gamma_{béton}}$, avec $\theta = 1$ et $\gamma_{béton} = 1,5$.

$$fbu = 14,17MPa$$

- Acier

- Nuances de l'acier : Acier à Haute Adhérence (HA), Fe E 500
- Limite d'élasticité fe= 500 MPa
- Coefficient de fissuration : η= 1,6 pour HA
- Coefficient de sécurité : γ_s= 1,15
- Coefficient de scellement : Ψs= 1,5 pour HA
- Contrainte admissible des aciers à l'ELS (fissuration préjudiciable) :

$$\sigma_{st} = \overline{\min}\{\frac{2}{3}\,\text{fe}, \max(\frac{1}{2}\,fe; 110\sqrt{\eta . ft_{28}})\} = 250\ \text{MPa}$$

- Contraintes admissibles à l'ELU : $f_{su} = \frac{f_e}{\gamma_s} = 434{,}78\ MPa$
- Enrobage : 3cm

Sol

Les caractéristiques du matériau de remblai sont issues des essais géotechniques et conformes aux prescriptions du cahier des clauses techniques particulières (CCTP).

- Contrainte admissible du sol support est supposé égale à 0,15 MPa
- Poids volumique des terres : γr = 20 kN/m^3
- L'angle de frottement interne : 30°
- Coefficient de poussée des terres ka = 0,33
- Surcharge des terres : q = 10 KN/m^2

Les cas de chargement à étudier

- Dallette : sera étudiée sous une roue isolée de 10 Tonnes (système Br) en stationnement
- Piédroits ou violes : Soumises aux efforts transmis par la dallette chargée et aux poussées dues à la roue de 10 Tonnes stationnée à fleur de la paroi du piédroit
- Radier : étudié sous les efforts qui sont transmis par les voiles dans les différents cas de chargement et par la réaction du sol.

I.2. Prédimensionnement

Géométrie de l'ouvrage

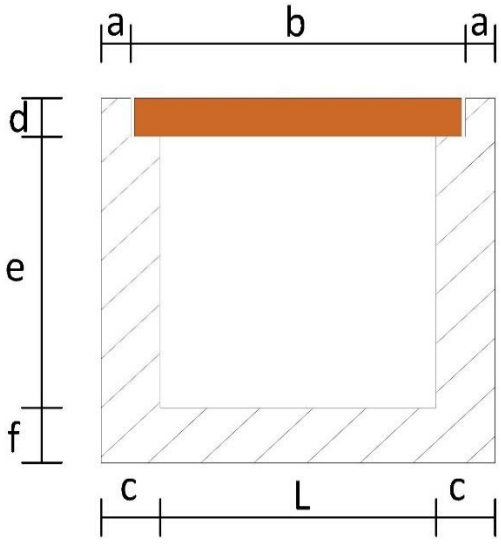


Figure IX : Géométrie du caniveau

Les dimensions en mètre du caniveau sont énumérées dans le tableau ci-dessous :

Tableau XXI: Récapitulatif des dimensions de notre caniveau

Ouverture du caniveau	L	1 m
Epaisseur de lèvre de la feuillure	a	0,075 m
Epaisseur du voile	c	0,15 m
Rendent de la feuillure	g= c-a	0,075 m
Portée de la dallette	b= L+g x2 – (2x0,5 cm)	1,14 m
Epaisseur du voile	c	0,15 m
Epaisseur de la dallette	d	0, 20 m
Hauteur libre du caniveau	e	0,80 m
Epaisseur du radier	f	0,15 m
Largeur de la dallette	Ld	0,50 m

I.3. Calcul des charges et ferraillage de la structure

Les calculs sont effectués d'une manière générale sur une bande d'un mètre linéaire.

a) Dimensionnement de la dallette

Descente de charge

- Poids propre de la dallette

$$P_d = d \times \gamma_b \times b$$

$$P_d = 0{,}2 \times 25 \times 1{,}14$$

$$\boldsymbol{P_d = 5{,}7\ KN/ml}$$

- Poids due à la surcharge routière

$$\boldsymbol{P_{Br} = \frac{Br}{1} = 100\ KN/ml}$$

- Combinaison des charges

Combinaison des charges à l'ELS				
Effort tranchant $Vser$	$\frac{P_d \times b}{2} + \frac{P_{Br} \times b}{2}$	$\frac{5,7 \times 1,14}{2} + \frac{100 \times 1.14}{2}$	29,312	KN
Moment fléchissant $Mser$	$\frac{P_d \times b^2}{8} + \frac{P_{Br} \times b^2}{4}$	$\frac{5,7 \times 1,14^2}{8} + \frac{100 \times 1.14^2}{4}$	33,415	KN.m
Combinaison des charges à l'ELU				
Effort tranchant Vu	$\frac{1,35 \times P_d \times b}{2} + \frac{1,5 \times P_{Br} \times b}{2}$	$\frac{1,35 \times 5,7 \times 1,14}{2} + \frac{1,5 \times 100 \times 1.14}{2}$	43,846	KN
Moment fléchissant Mu	$\frac{1,35 \times P_d \times b^2}{8} + \frac{1,5 \times P_{Br} \times b^2}{4}$	$\frac{1,35 \times 5,7 \times 1,14^2}{8} + \frac{1,5 \times 100 \times 1.14^2}{4}$	49,985	KN.m

Détermination des sections d'acier

Nous considérons une bande de 1m. Donc b_0= 1m

- Calcul du moment réduit μ

$$\mu = \frac{M_u}{b_0 \times d^2 \times fbu} \text{ , avec } b_0 = 1m \text{ et } d = 0,9 \times Epaisseur\ dallette = 0,9 \times 0,2$$

$$\mu = \frac{49,985 \times 10^{-3}}{1 \times 0,18^2 \times 14,17} = 0,108$$

$\mu = 0,108 < 0,186.$ *Nous sommes au pivot A, d'oul'abscenced'armatures comprimés.*

- Calcul de α

$$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu})$$

$$\alpha = 1,25\left(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,108}\right) = 0,143$$

- Calcul du bras de levier Zu des aciers

$$Zu = d(1 - 0,4 \times \propto)$$

$$Zu = 0,18 \times (1 - 0,4 \times 0,143) = 0,17m$$

- Calcul de la section d'armature

Section d'armature tendue A_u	$\frac{\text{Mu}}{Zu \times f_{su}}$	$\frac{49,985}{0,17 \times 434,78} \times 10^1$	$A_u = 6,76\ cm^2$
Section d'armature minimale A_{min}	$\frac{0,23 \times f_{t28} \times b_0 \times d}{fe}$	$\frac{0,23 \times 2,1 \times 1 \times 0,18}{500} \times 10^4$	$A_{min} = 1,74\ cm^2$

Calcul à l'ELS

- Calcul de αser

Calcul de αser	$\frac{n \times \sigma_{bc}}{n \times \sigma_{bc} + \sigma_{st}}$	$\frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 250}$	$\alpha ser = 0{,}474$
Calcul de la fibre neutre yser	$\alpha ser \times d$	$0{,}474 \times 0{,}18$	y_{ser} = 0,085 m
Calcul du moment résistant $Mser_b$	$\frac{1}{2} \times \sigma_{bc} \times b_0 . d^2 \times \alpha ser(1 - \frac{1}{3}\alpha ser)$	$\frac{1}{2} \times 15 \times 1 \times 0{,}18^2 \times 0{,}474(1 - \frac{1}{3} \times 0{,}474)$	$Mser_b$ = 0,097 MN.m
Mserb > Mser=0,033 MN.m donc pas d'aciers comprimer			
Calcul de Z_{ser}	$d(1 - \frac{1}{3}\alpha ser)$	$0{,}18 \times (1 - \frac{1}{3}0{,}474)$	$Zser = 0{,}15m$
Section d'armature A_{st}	$\frac{Mser}{Zser \times \sigma_{st}}$	$\frac{33{,}415}{0{,}15 \times 250} \times 10^1$	$A_{st} = 8{,}91\ cm^2$
Condition de non fragilité			
Section d'armature minimale A_{min}/face	$\frac{0{,}23 \times f_{t28} \times b_0 \times d}{fe}$	$\frac{0{,}23 \times 2{,}1 \times 1 \times 0{,}18}{500} \times 10^4$	$A_{min} = 1{,}74\ cm^2$
$A_{st} > A_{min/face}$, nous retenons A_{st} comme section d'acier			

- Aciers Principaux

La section d'acier à l'ELS sera considérée cependant pour le ferraillage de la dallette

L'épaisseur de dallette égale à 20 cm, nous allons disposer deux nappes d'acier :

$$\frac{A_{st}}{nappe} = \frac{8{,}91}{2} = 4{,}46\ cm^2$$

Choix des aciers : **9HA8 totalisant une section de 4,51 cm², équilibrant la section théorique de 4,46 cm².**

Espacement : $St = \frac{b_0 - ((\emptyset \times Nbr\ d'acier) + Enrobage \times 2)}{Nbr\ d'acier - 1} = \frac{100 - ((0{,}8 \times 9) + 3 \times 2)}{9 - 1} = 10{,}85\ cm$

On prendra St=10cm

Nous disposons donc du 9HA8 avec un espacement St=10 cm

- Aciers de répartition

$$A_r = \frac{A_{st}/nappe}{3} = 1{,}49\ cm^2$$

Choix de l'acier : **5 HA8 totalisant une section de 2,51 cm²,**

$St = \frac{50-((0,8\times4)+3\times2)}{4-1} = 10\ cm$; car la largeur de dallette est Ld= 50 cm

Nous disposons donc du 5HA8 avec un espacement St=10 cm

b) Dimensionnement des piédroits

- Poids propre de la dallette sur un piédroit

$$Ppd = \frac{Pd}{2} = \frac{5,7}{2} = 2,85\ KN/ml$$

- Effort d'une roue sur un piédroit :

$$Pp_{Br} = \frac{P_{Br}}{2} = \frac{100}{2} = 50\ KN/ml$$

- Poids propre d'un piédroit :

$$Ppdt = \gamma_b(e \times c + d \times a) = 25 \times (0,15 \times 0,80 + 0,2 \times 0,075) = 3,375\ KN/ml$$

- Poussée des terres

$$P_T = \frac{1}{2} \times \gamma sol \times ka \times (c+d)^2 = 0,5 \times 20 \times 0,33 \times (0,8+0,2)^2 = 3,3\ KN/ml$$

- Surcharge sur remblai

$$q = ka \times (c+d) \times \gamma q = 0,33 \times (0,8+0,2) \times 10 = 3,3\ KN/ml$$

- Calcul des sollicitations à l'ELS

Calcul de Nser

$Nser = Ppd + Pp_{Br} + Ppdt + P_T$=59,53 KN/ml

Calcul de Mser

$$Mser = \frac{P_T \times c^2}{3} + \frac{q \times c^2}{2} = \frac{3,3 \times 0,8^2}{3} + \frac{3,3 \times 0,8^2}{2} = 1,76\ KN.m$$

- Calcul de l'excentricité

$$e = \frac{Mser}{Nser} = 0,029m$$

Si e <B/6 alors la section est partiellement comprimée

Si e >B/6 alors la section est partiellement comprimée

Avec B= Epaisseur du voile

B/6=0,15/6 =0,025m. On a 0,029 > B/6, donc la section est partiellement comprimée.

- Calcul de e_A

e_A= e + (d − 0,5h), avec d=0,9h et h= épaisseur du voile

e_A= 0,029 + (0,9x0,15 − 0,5x0,15) = 0,089 m

- Calcul du moment de flexion fictif M_{fictif}

$$M_{fictif} = N_{ser} \times e_A = 5{,}30\ KN.m = 0{,}0053\ MN.m$$

Calcul du paramètre de déformation : $\alpha ser = 0{,}474$

- Calcul de la fibre neutre

$y_{ser} = \alpha ser x d = 0{,}474x\ (0{,}9x0{,}15) = 0{,}064\ m$

- Calcul du bras de levier

$$Zser = d\left(1 - \frac{1}{3}\alpha ser\right) = 0{,}114m$$

- Calcul du moment résistant M_{serb}

$$M_{ser\,b} = \frac{1}{2} \times \sigma_{bc} \times b_0.d^2 \times \alpha ser\left(1 - \frac{1}{3}\alpha ser\right) = \frac{1}{2} \times 15 \times 1 \times 0{,}135^2 \times 0{,}474(1 - \frac{1}{3} \times 0{,}474)$$

$$M_{ser\,b} = 0{,}054\ MN.m$$

On a Mser > $M_{ser\ fictif}$ =0,0053 MN.m ; donc pas d'acier comprimer

- Détermination de la section d'acier

Section d'armature A_{st}	$\frac{M_{ser\ fictif}}{Zser \times \sigma_{st}} - \frac{N_{ser}}{\sigma_{st}}$	$(\frac{5{,}3}{0{,}114 \times 250} - \frac{59{,}53}{250}) \times 10^1$	$A_{st} = -0{,}52cm^2$
Condition de non fragilité			
Section d'armature minimale A_{min}/face	$\frac{0{,}23 \times f_{t28} \times b_0 \times d}{fe}$	$\frac{0{,}23 \times 2{,}1 \times 1 \times 0{,}135}{500} \times 10^4$	A_{min}/face $= 1{,}30\ cm^2$
$A_{st} < A_{min/face}$, nous retenons $A_{min/face}$ comme section d'acier			

- Aciers Principaux

$$\frac{A_{st}}{face} = 1{,}30cm^2$$

Choix des aciers : 5HA8 totalisant une section de 2,51 cm², **nous retenons 8HA8 espacés de 12 cm**

- Aciers de répartitions

$$A_r = \frac{A_{min}/face}{3} = 0{,}43\ cm^2$$

Choix de l'acier : 5HA8 totalisant une section de 2,51 cm², **soit HA8 espacés de 20 cm**

c) Dimensionnement du radier

- Poids propre du radier

$$P_{Rd} = e_{radier} \times L_{radier} \times \gamma_b = 0{,}15 \times (1 + 0{,}15 \times 2) \times 25 = 4{,}875\ KN/ml$$

- Poids propre des 2 piédroits :

$$Ppdt = 2 \times \gamma_b(e \times c + d \times a) = 2 \times 25 \times (0{,}15 \times 0{,}80 + 0{,}2 \times 0{,}075) = 6{,}75\ KN/ml$$

- Poids propre de la dallette

$$P_d = d \times \gamma_b \times b = 0{,}2 \times 25 \times 1{,}14 = 5{,}7\ KN/ml$$

- Poids due à la surcharge routière

$$P_{Br} = \frac{Br}{1} = 100\ KN/ml$$

- Poids de l'eau

$$P_{eau=} hauteur\ libre\ du\ caniveau \times Ouverture\ du\ caniveau \times \gamma_{eau}$$

$$P_{eau=} 0{,}80 \times 1 \times 10 = 8\ KN/ml$$

- Réaction du sol

$R_T = P_{Rd} \times Ppdt \times P_d \times P_{Br} \times P_{eau=} 125{,}32\ KN/ml$

- Calcul du moment fléchissant

$$M_{ser} = \frac{R_{T \times L_{radier}}}{8} = \frac{123{,}325 \times 1.3^2}{8} = 26{,}47\ KN.m = 0{,}026\ MN.m$$

Calcul de αser	$\frac{n \times \epsilon_{bc}}{n \times \epsilon_{bc} + \sigma_{st}}$	$\frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 250}$	αser = 0,474
Calcul de la fibre neutre yser	αser × d	0,474 × 0,135	y_{ser} = 0,063 m
Calcul du moment résistant $Mser_b$	$\frac{1}{2} \times \epsilon_{bc} \times b_0 . d^2 \times \alpha ser(1 - \frac{1}{3}\alpha ser)$	Déjà calculé	$Mser_b$ = 0,054MN.m
Mserb > Mser=0,026 MN.m donc pas d'aciers comprimer			
Calcul de Z_{ser}	$d(1 - \frac{1}{3}\alpha ser)$	Déjà calculé	Zser $= 0{,}114m$
Section d'armature A_{st}	$\frac{Mser}{Zser \times \sigma_{st}}$	$\frac{26{,}47}{0{,}15 \times 250} \times 10^1$	$A_{st} = 7{,}06\ cm^2$
Condition de non fragilité			
Section d'armature minimale A_{min}/face	$\frac{0{,}23 \times f_{t28} \times b_0 \times d}{fe}$	Déjà calculé	A_{min}/face $= 1{,}30\ cm^2$
$A_{st} > A_{min/face}$, nous retenons A_{st} comme section d'acier			

- Aciers principaux

L'épaisseur de radier égale à 15 cm, nous allons disposer deux nappes d'acier :

$$\frac{A_{st}}{nappe} = \frac{7{,}06}{2} = 3{,}53\ cm^2$$

Choix des aciers : **8HA8 totalisant une section de 4,02 cm², équilibrant la section théorique de 3,53 cm².**

Espacement : $St = \frac{b_0-((\emptyset \times Nbr\ d\prime acier)+Enrobage\times 2)}{Nbr\ d'acier-1} = \frac{100-((0{,}8\times 8)+3\times 2)}{8-1} = 12{,}51\ cm$

On prendra St=12 cm

Nous disposons donc du HA8 avec un espacement St=10 cm

- Aciers de répartition

$$A_r = \frac{A_{st}/nappe}{3} = 1{,}18\ cm^2$$

Choix de l'acier : 5HA8 totalisant une section de 2,51 cm² pour 1ml, soit HA8 espacés de 20 cm. **Nous disposons donc du 7HA8 espacés de 20 cm pour une largeur de radier Lradier= 1,30 m.**

ANNEXE VI : ACTIVITES SOURCES D'IMPACT DU PROJET

Phases de projet	Activités sources d'impacts
Phase préparatoire (Préparation et installation du chantier)	Délocalisation des riverains Installations de chantier et de la base de chantier Libération de l'emprise des travaux Déplacement des réseaux d'ONEA, Téléphonie et SONABEL Achat et stockage de matériels et matériaux
Phase de travaux (Construction)	Recrutement du personnel ouvrier ou présence de la main d'œuvre Travaux de déboisement de l'emprise de la route, des zones d'emprunt et carrières Installation des équipements et engins de chantier Décapage de couches existantes et de la terre végétale Réalisation d'un terre-plein central Réalisation des ouvrages d'assainissement Exécution des terrassements (déblais et remblais) Extraction des matériaux de construction Dépôts de tous venants et autres déchets Mise en place des couches de forme, de fondation, de base et de roulement Activités liées aux circulations de véhicules, des camions et engins sur le chantier Pose d'équipements de sécurité, signalisation verticale et horizontale Mise en place de l'éclairage public Mise en place de plantations d'arbres d'alignement

Phase d'exploitation et maintenance	Présence et exploitation du tronçon de la route aménagé Présence et exploitation des ouvrages d'assainissement Travaux d'entretien courant et périodique des ouvrages aménagés Augmentation des flux commerciaux aux abords de la route aménagés Arrosage et entretien des arbres plantés pendant les travaux

L'ensemble de ces activités produiront aussi bien des impacts positifs que négatifs sur le milieu d'insertion du projet qu'il conviendra d'analyser afin de proposer des mesures adéquates, pour soit les atténuer, les compenser (impacts négatifs) ou les bonifier (impacts positifs).

ANNEXE VII : IDENTIFICATION DES PRINCIPAUX IMPACTS POSITIFS ET NEGATIFS

Nature	Phase du projet	Composantes affectées	Impacts potentiels
Négative	Préparation et installation du chantier	Infrastructure	Destruction des habitats spontanés dans l'emprise du tronçon
		Climat	Contribution au réchauffement climatique par les rejets de poussières et fumées chargé de carbone et métaux lourds
		Réseaux	Suspensions temporaires de réseaux de concessionnaires (ONEA et SONABEL et Téléphonie)
	Construction	Ambiance sonore	Nuisances sonores pour le personnel, la population et les services riverains dues aux bruits, vibration des véhicules et engins de chantier
		Activités économiques	Perturbations temporaires des activités économiques et génératrices de revenues
		Circulation et transport	Perturbation temporaire de la circulation sur le tronçon
		Climat	Contribution au réchauffement climatique par les rejets de poussières et fumées chargé de carbone et métaux lourds
			Perturbation du microclimat au niveau de la zone de végétation due à l'abattage des arbres
		Eaux de surface	Pollution des eaux de surface par les déchets liquides et solides de chantier
			Modification du régime hybride des cours d'eau traversés dues aux dépôts d'obstacles sur les passages

		Eaux souterraines	Pollution de la nappe souterraine par les déchets liquides issus des déversements hydrocarbures, du vidage des engins
		Ecosystèmes	Destruction d'écosystème dans l'emprises des ouvrages et zones d'emprunt de matériaux et des carrières
		Faune et microfaune	Destruction de niches écologiques de petits mammifères, de reptiles et de microfaune dans les emprises des ouvrages, des zones d'emprunt et carrières dues à l'abattement des arbres etc., collisions entre les animaux et les véhicules de transport dans les sites d'emprunt
		Patrimoine culturel et touristique	Destruction ou profanation des sites culturels
		Qualité de l'air	Dégradation de la qualité de l'air due à l'émission de poussière et des gaz souvent à l'origine de maladies respiratoires pour la population riveraine et le personnel de chantier
		Santé publique	Développement des maladies respiratoires et oculaires chez les ouvriers, les usagers de la route et les populations riveraines du aux soulèvement de poussière par la circulation des véhicules et engins, les terrassements, le décapage etc…
			Contaminations et propagations des IST, VIH/SIDA, des hépatites etc. grossesses non désirées dues aux comportements à risque de personnel du chantier
		Sécurité	Accidents avec le personnel de chantier, les usagers et les riverains du tronçon de la roule ainsi que la population locale dus à la circulation des véhicules et engins du chantier

		Sol	Pollution des sols par le déversement de déchets liquides et solides
		Végétation	Abattage des arbres dans l'emprise de la route
	Exploitation	Ambiance sonore	Nuisances sonores pour les agents chargés d'entretiens courants et périodiques
		Circulation et transport	Accidents et perturbation de la circulation sur le tronçon de la route dus à l'occupation anarchique des abords des infrastructures aménagés, au non-respect du codes de la route par les usagers et les excès de vitesse
		Eaux de surface	Pollution des eaux de surface due aux rejets des déchets dans les caniveaux aménagés
		Eaux souterraines	Réduction de l'alimentation des eaux souterraines par infiltration des eaux de pluie
		Sécurité	Accidents de circulation dus au non-respect du code de la route ou excès de vitesse
Positive	Préparation et installation du chantier	Economie	Dynamisation de l'économie local à travers les fournisseurs locaux par l'achat de certains matériels
	Construction	Emploi	Création d'emplois due au recrutement de la main d'œuvre pour la réalisation du projet
		Santé publique	Réduction de propagation des IST, VIH/SIDA, des hépatites etc. grâce aux séances de sensibilisations
		Végétation	Plantation des arbres le long du tronçon de la route et les espaces disponibles, en compensation des arbres abattus
	Exploitation	Ambiance sonore	Réduction des nuisances sonores due à la fluidification de la circulation

		Activités économiques	Développement des activités le long du tronçon de la route aménagé, réduction du niveau de pauvreté
		Circulation et transport	Facilitation de la circulation, réduction de pertes de temps pour les usagers, amélioration du confort de circulation et réduction du cout de consommation du carburant
		Conditions, qualité de vie et bien-être des populations	Facilitation du drainage des eaux pluviales dans la zone du projet, amélioration des conditions et cadres de vie de la population locale par la prolifération des vecteurs de maladie du paludisme, dengue etc.
		Climat	Contribution à l'absorption du CO_2 dégagé dans la ville par les plantations d'arbres
		Ecosystème	Constitution de nouveaux écosystèmes par les reboisements
		Emploi	Création d'emplois due au developpement de petites activités le long de la route aménagé
			Création d'emplois due au recrutement de la main d'œuvre pour les entretiens courants et périodiques
		Faune et microfaune	Constitution des cours d'eau pour l'abreuvement des animaux par la valorisation des zones d'emprunt de matériaux
		Patrimoine culturel et touristique	Développement des activités culturelles et touristiques dans la zone du projet
		Paysage	Amélioration de l'aspect esthétique du paysage de zone du projet

		Santé publique	Amélioration de la santé et du cadre de vie des riverains par la réduction de prolifération des vecteurs de paludisme, dengue etc. due au drainage des eaux pluviales
			Réduction de propagation des IST, VIH/SIDA, des hépatites etc. grâce aux séances de sensibilisations
		Qualité de l'air	Réduction de la pollution de l'air par les fumées d'échappement due à la fluidification de la circulation et à la réduction des embouteillages
		Sécurité	Augmentation de la sécurité routière la nuit due à l'éclairage du tronçon
			Réduction des accidents de circulation due à l'existence du tronçon adapté aux nouvelles conditions de la circulation

ANNEXE VIII : IDENTIFICATION ET EVALUATION DES RISQUES DU PROJET

Sources des Risques	**Risques Identifiés**	**Quantification**		**Niveau de risque**
		Probabilité	**Gravité**	
Changement climatique (impact sur le climat)	Contribution au réchauffement climatique	Improbable	Importante	Faible
Circulation des véhicules et engins de chantier	Accidents de la circulation (blessures graves ou morts d'hommes)	Rare	Catastrophique	Moyen
Travaux sur le chantier (chutes, collisions, engins, etc.)	Accidents de travail (blessures graves ou morts d'hommes)	Rare	Catastrophique	Moyen
Comportements sexuels à risques	Transmission des IST, du VIH/SIDA, des hépatites	Occasionnelle	Importante	Moyen
Défaillance ou faillite de l'Entreprise	Éternisation ou arrêt des travaux	Rare	Mineure	Faible
L'emprise de la route est occupée (biens, bâtiments)	Conflits entre populations et Maître d'Ouvrage (indemnisation)	Occasionnelle	Importante	Moyen
Rejets de poussière et fumées chargées de carbone et métaux lourds	Perturbation de l'air ambiant et maladies respiratoires	Fréquente	Mineure	Moyen
Déversements accidentels de déchets (huiles, hydrocarbures, produits toxiques)	Pollution des sols et des eaux de surface	Occasionnelle	Mineure	Moyen
Abattage anarchique d'arbres ou non-respect de l'emprise	Destruction anarchique de la végétation et de l'habitat de la faune	Occasionnelle	Mineure	Moyen

Inondations des habitations riveraines dues aux travaux	Conflits entre les populations et l'Entreprise	Rare	Mineure	Faible
Défaut ou manque d'arrosage	Conflits dus à la poussière	Rare	Mineure	Faible
Occupation anarchique des abords des ouvrages aménagés	Destruction ou dégradation des caniveaux	Occasionnelle	Mineure	Moyen
Comportements sexuels à risques	Grossesses non désirées	Occasionnelle	Mineure	Moyen
Défaillance du système de sécurité (jour ou nuit)	Cambriolage des bureaux de la Mission de Contrôle (MDC)	Rare	Mineure	Faible

Définition des échelles de probabilité et de gravité des risques

Probabilité improbable : Presque impossible ou une fois par nature de projet

Probabilité rare : possible mais rare ou une fois durant le projet

Probabilité occasionnelle : peut arriver quelques fois ou une fois par mois

Probabilité fréquente : peut arriver quelques fois ou une fois par semaines

Gravité négligeable : effet mineur, pas d'arrêt de travail, faible effet sur l'environnement

Gravité mineure : dommage mineur, effet mineur sur l'environnement

Gravité importante : dommage mineur, effet important sur l'environnement

Gravité catastrophique : accident mortel, maladie mortelle

ANNEXE IX : ETUDE FINANCIERE DU PROJET

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF DU PROJET					
N°	**Désignation des ouvrages**	**Unité**	**Quantité**	**Prix Unitaire**	**Prix Total**
100	**Installation générale du chantier**				
101	Installation et repli du chantier	FF	1,00	225 031 440	225 031 440
102	Amené et repli du matériel	FF	1,00	112 515 720	112 515 720
103	Etudes d'élaboration du dossier d'exécution	FF	1,00	84 386 792	84 386 792
	Sous total 100				**421 933 952**
200	**Travaux préparatoires**				
201	Abattage des arbres de circonférence supérieure à 1m	U	379,00	38 350	14 534 650
202	Débroussaillage et nettoyage de l'emprise	m²	300,00	300 000	90 000 000
203	Démolition des ouvrages existants en béton armé (3 Dalots)	m³	138,24	49 000	6 773 760
204	Démolition d'une buse métallique existante	ml	7,00	42 350	296 450
205	Création et aménagement des déviations et pistes de services	Km	5,00	2 198 350	10 991 750
206	Décapage de la terre végétale (20cm)	m²	180 000,00	450	81 000 000
207	Démolition des bâtis se trouvant dans l'emprise de la route	FF	-	10 000 000	10 000 000
	Sous total 200				**213 596 610**
300	**Terrassements généraux**				
301	Déblais mis en dépôt définitif	m³	45000,00	6 500	292 500 000
302	Déblais mis en dépôt provisoire	m³	15000,00	6 500	97 500 000

303	Purge et remplacement des matériaux impropres	m³	25000,00	15 500	387 500 000
304	Mise en forme réglage et compactage de la plateforme	m²	300 000,00	450	135 000 000
305	Remblais provenant d'emprunt pour les travaux de terrassement	m3	65000,00	8 000	520 000 000
	Sous total 300				**1 432 500 000**
400	**Chaussée et revêtement**				
401	Fourniture et mise en œuvre du revêtement en Béton bitumineux ep=5cm (chaussée+ site de bus + contre-allées)	m³	9 500,00	212 000	2 014 000 000
402	Fourniture et mise en œuvre de graveleux latéritique naturel pour couche de base ep=15cm (site de bus + contre-allées)	m³	16 105,00	8 500	136 892 500
403	Fourniture et mise en œuvre de grave bitume GB2 pour couche de base ep=8cm (chaussée principale)	m³	5 500,00	215 000	1 182 500 000
404	Fourniture et mise en œuvre de graveleux latéritique naturel pour couche de fondation ep=20cm (site de bus + contre-allées)	m³	23 450,00	7 000	164 150 000
405	Fourniture et mise en œuvre de graveleux latéritique amélioré au ciment pour couche de fondation 2 ep=20cm (Chaussée)	m3	16 300,00	16 500	268 950 000
406	Fourniture et mise en œuvre de graveleux latéritique naturel pour	m³	12 550,00	7 000	87 850 000

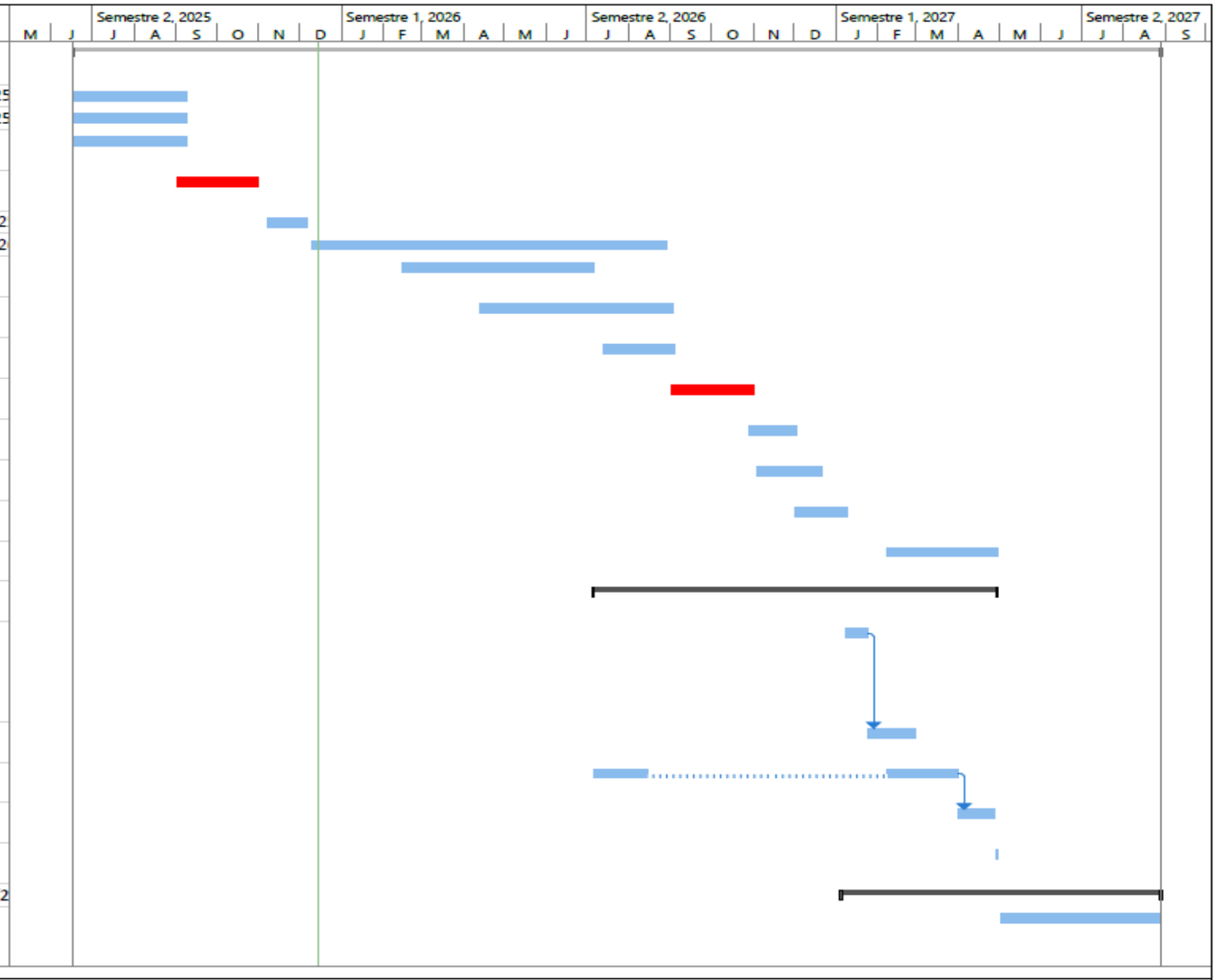
	couche de fondation 1 ep=15 cm (chaussée)				
407	Fourniture et mise en œuvre des pavés autobloquants (ep=6cm)	m²	9 605,90	9 000	86 453 136
408	Fourniture et pose de bordure type T2	ml	6 404,94	22 000	140 908 592
	Sous total 400				**4 081 704 228**
500	**Ouvrage d'assainissement et drainage**				
	Caniveaux				
501	Béton de propreté de 5 cm (150 Kg/m3)	m³	949,53	77 500	73 588 575
502	Caniveau en béton armé 120x120	ml	646,00	120 000	77 520 000
503	Caniveau en béton armé 120x100	ml	768,00	109 500	84 096 000
504	Caniveau en béton armé 100x80	ml	693,00	87 500	60 637 500
505	Caniveau en béton armé 80x80	ml	12 896,00	80 000	1 031 680 000
506	Dallette en béton armé pour caniveau de section 120x120	ml	646,00	52 500	33 915 000
507	Dallette en béton armé pour caniveau de section 120x100	ml	768,00	49 000	37 632 000
508	Dallette en béton armé pour caniveau de section 100x80	ml	693,00	36 460	25 266 780
509	Dallette en béton armé pour caniveau de section 80x80	ml	12 896,00	37 500	483 600 000
	Dalot 1 de 3x200x150				
510	Béton dosé à 350kg/m3	m³	264,30	235 000	62 111 440
511	Acier HA en FeE500	kg	19 089,81	1 400	26 725 734
	Béton de propreté de 10 cm (150 Kg/m3)	m³	36,58	77 500	2 834 640
	Dalot2 de 3x300x200				
512	Béton dosé à 350kg/m3	m³	451,14	235 000	106 017 900

513	Acier HA en FeE500	kg	25 784,26	1 400	36 097 964
	Béton de propreté de 10 cm (150 Kg/m3)	m³	52,83	77 500	4 094 480
	Dalot 3 de 3x200x150				
514	Béton dosé à 350kg/m3	m³	264,30	235 000	62 111 440
515	Acier HA en FeE500	kg	19 089,81	1 400	26 725 734
	Béton de propreté de 10 cm (150 Kg/m3)	m³	36,58	77 500	2 834 640
	Sous total 500				**2 237 489 827**
600	**Signalisation, Sécurité et Eclairage**				
601	Fourniture et pose de balise de virage en béton	U	5,00	21 000	105 000
602	Fourniture et pose des bornes kilométrique	U	4,00	33 000	132 000
603	Fourniture et pose des glissières de sécurité type GS4	ml	532,42	80 000	42 593 600
604	Fourniture et pose des panneaux de signalisation temporaire Type A	U	18,00	125 000	2 250 000
605	Fourniture et pose des panneaux de signalisation définitive Type A	U	25,00	137 500	3 437 500
606	Fourniture et pose des panneaux de signalisation Type B ou AB	U	36,00	137 500	4 950 000
607	Fourniture et pose des panneaux de signalisation Type C, D,E ou J5	U	8,00	140 000	1 120 000
608	Marquage en peinture blanche retro réfléchissante axiale discontinue	ml	10 000,00	3 600	36 000 000

609	Marquage en peinture blanche retro réfléchissante de rive continue	ml	20 000,00	3 600	72 000 000
610	Marquage en peinture rétro réfléchissante spécial (Stop, Passage piéton)	m²	204,00	5 750	1 173 000
611	Fourniture et pose des feux tricolores sur glissières court en acier	U	2,00	3 500 000	7 000 000
612	Fourniture et installation d'éclairage public solaire H=10m y compris toute sujétion	U	128,08	1 800 000	230 541 696
613	Fourniture et pose des ralentisseurs en béton, type : dos d'âne	ml	8,00	250 000	2 000 000
	Sous total 600				**403 302 796**
700	**Actions liées au sociale et à l'environnement**				
701	Mesures compensatrices environnementales et sociales	FF	1,00	50 000 000	50 000 000
702	Plantation d'arbre d'alignement, protection et entretient	u	3 000,00	5 500	16 500 000
703	Remise en état des lieux des carrières et aires de stockage	FF	1,00	6 750 000	6 750 000
704	Sensibilisation sur les MST et VIH	Séance	3,00	2 500 000	7 500 000
	Sous total 700				**80 750 000**
I	**Total général HT**				**8 871 277 413**
II	**TVA 18%**				**1 596 829 934**
III	**Imprévus (2%)**				**177 425 548**
IV	**Total général TTC**				**10 645 532 895**
V	**Cout kilométrique**				**2 129 106 579**

ANNEXE X : PLANIFICATION DES TRAVAUX

N°	Nom de la tâche	Durée	Unit	Quant	Début	Fin
0	**PLANNING DES TRAVAUX RN2 PK 05+000 AU PK10+000**	**678,67 jours**			**Mar 17/06/25**	**Sam 28/08/27**
1	Déblai tout genre	70 jours	m³	6000	Mar 17/06/2	Lun 08/09/25
2	Remblai provenant d'emprunt	70 jours	m³	6500	Mar 17/06/2	Lun 08/09/25
3	Substitution de matériaux de mauvaise qualité	70 jours	m³	2500	Mar 17/06/25	Lun 08/09/25
4	Arrêt de travaux: saison pluvieuse	2 mois			Mar 02/09/25	Ven 31/10/25
5	Réglage plateformes	25 jours	m²	1440	Ven 07/11/2	Sam 06/12/2
6	Ouvrages transversaux	220 jou	ml	3000	Mer 10/12/2	Sam 29/08/2
7	Préfabrication des voies des caniveaux	120 jours	ml	1387	Sam 14/02/26	Lun 06/07/26
8	pose des voies et bétonnage du radier	120 jours	ml	1387	Lun 13/04/26	Mer 02/09/26
9	Fondation en GLN (contres allées+Elarg. Chaussée +BRT)	45 jours	m³	3500	Lun 13/07/26	Jeu 03/09/26
10	Arrêt de travaux: saison pluvieuse	2 mois			Mer 02/09/26	Sam 31/10/26
11	Couche de base GLN pour contre allée + BRT	30 jours	m³	1800	Jeu 29/10/26	Mer 02/12/26
12	Pose des bordures sur l'emprise de la contre-allée	40 jours	ml	3500	Mar 03/11/26	Lun 21/12/26
13	Enduit superficiel monocouche sur voies de contre-allée	30 jours	m²	7397	Mer 02/12/26	Sam 09/01/27
14	Réprofilage espaces entre caniveaux et concessions	70 jours	m²	3500	Lun 08/02/27	Jeu 29/04/27
15	**Basculement du trafic sur les voies de contre-allées**	**252 jours**			**Lun 06/07/26**	**Jeu 29/04/27**
16	Récyclage de la chaussée existante sur la nouvelle emprise avec complément éventuel de matériaux pour couche de fondation	14 jours	m³	1760	Ven 08/01/27	Sam 23/01/27
17	stabilisation au ciment pour la couche de fondation en GLAC	30 jours	m³	1760	Lun 25/01/27	Sam 27/02/27
18	Pose des bordures sur la chaussée principale	80 jours	ml	3500	Lun 06/07/26	Mer 31/03/27
19	Couche de base en Grave Bitume + Géogrille	23 jours	m³	6000	Jeu 01/04/27	Mar 27/04/27
20	Basculement du trafic sur la chaussée princ en GB	1 jour			Jeu 29/04/27	Jeu 29/04/27
21	**Revetement**	**202 jou**			**Mar 05/01/2**	**Sam 28/08/2**
22	Revet. BBSG de 5 cm sur contres allées+ Chaussée princ +BRT	102 jours			Lun 03/05/27	Sam 28/08/27

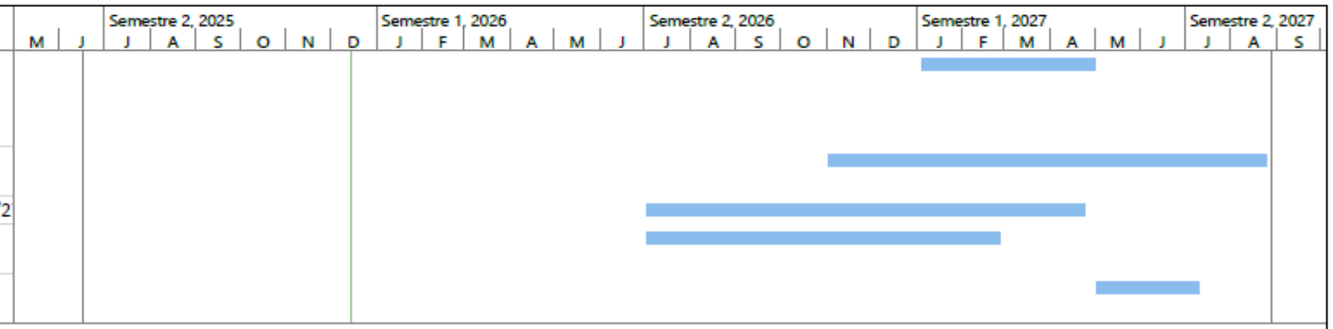


Projet : PLANNING DES TRAVA
Date : Lun 15/12/25

Tâche | Fractionnement | Jalon | Récapitulative
Récapitulatif du projet | Tâche inactive | Jalon inactif | Récapitulatif inactif
Tâche manuelle | Durée uniquement | Report récapitulatif manuel | Récapitulatif manuel
Début uniquement | Fin uniquement | Tâches externes | Jalons externes
Échéance | Avancement | Progression manuelle

Page 1

N°	Nom de la tâche	Durée	Unité	Quant	Début	Fin
23	Giratoire en BA dosé à 400 kg/m³ type BC4 y compris joint de dilation (n'a pas été étudié dans le cadre de ce mémoire)	100 jours			Mar 05/01/27	Ven 30/04/27
24	Dallettes pour caniveaux en béton armé de sections diverses	250 jours	ml		Lun 02/11/26	Mar 24/08/27
25	Divers ouvrages de protection	250 jou			Ven 03/07/26	Sam 24/04/2
26	Réalisation des canaux exutoires des dalots transversaux	200 jours			Ven 03/07/26	Jeu 25/02/27
27	Curage de caniveaux et dalots de toutes section	60 jours			Lun 03/05/27	Sam 10/07/27

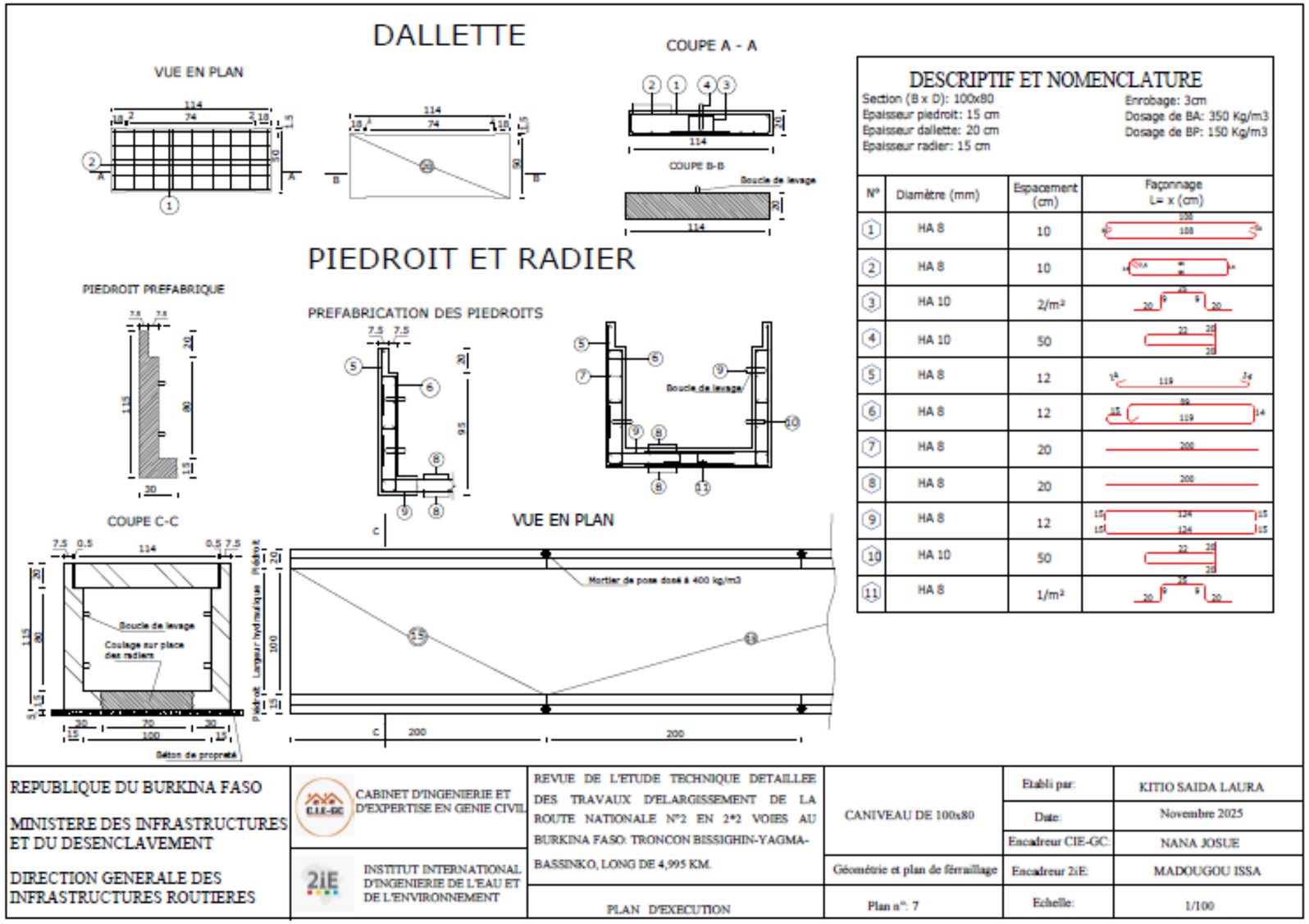


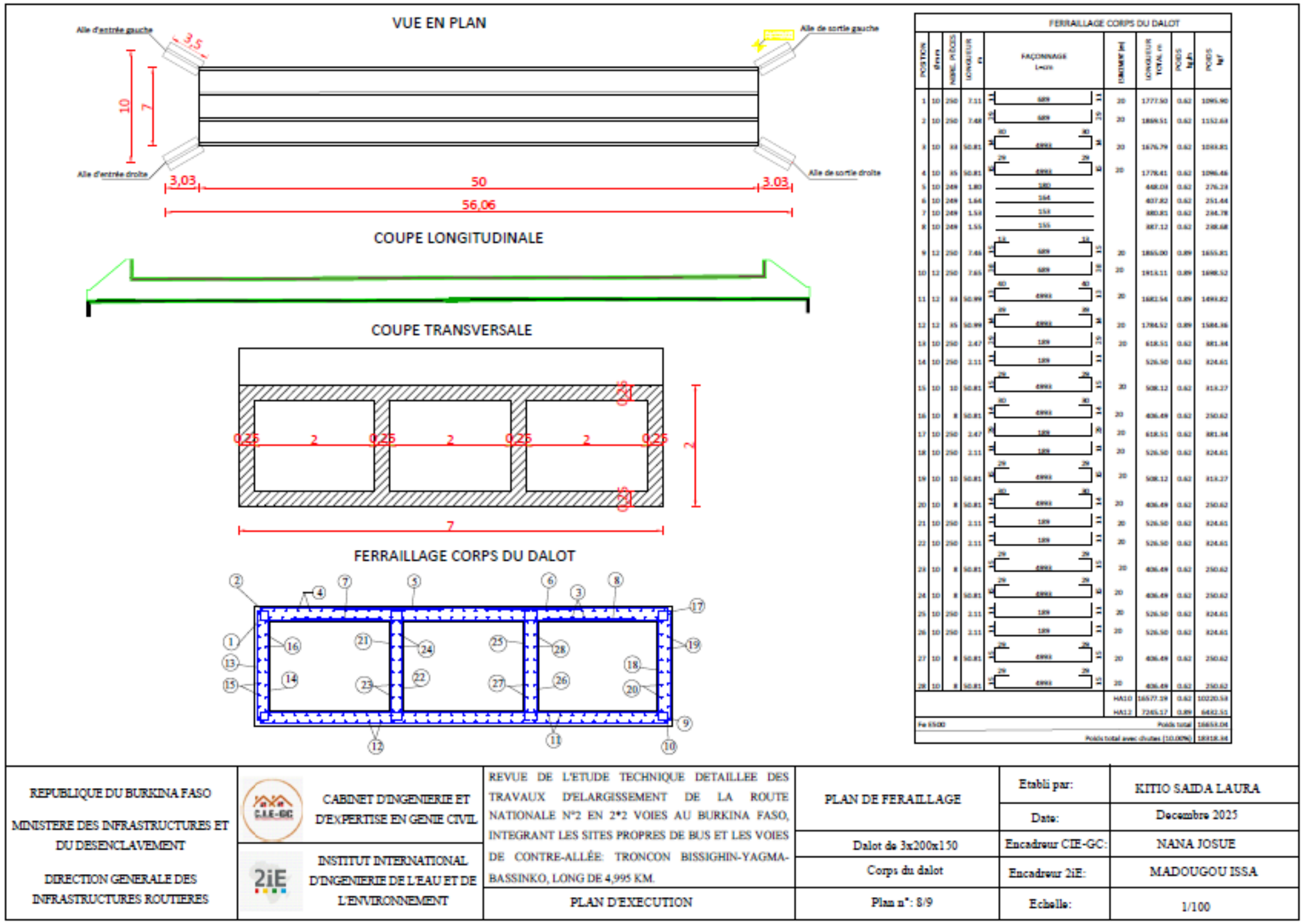
Projet : PLANNING DES TRAVA
Date : Lun 15/12/25

Tâche | Récapitulatif du projet | Tâche manuelle | Début uniquement | Échéance
Fractionnement | Tâche inactive | Durée uniquement | Fin uniquement | Avancement
Jalon | Jalon inactif | Report récapitulatif manuel | Tâches externes | Progression manuelle
Récapitulative | Récapitulatif inactif | Récapitulatif manuel | Jalons externes

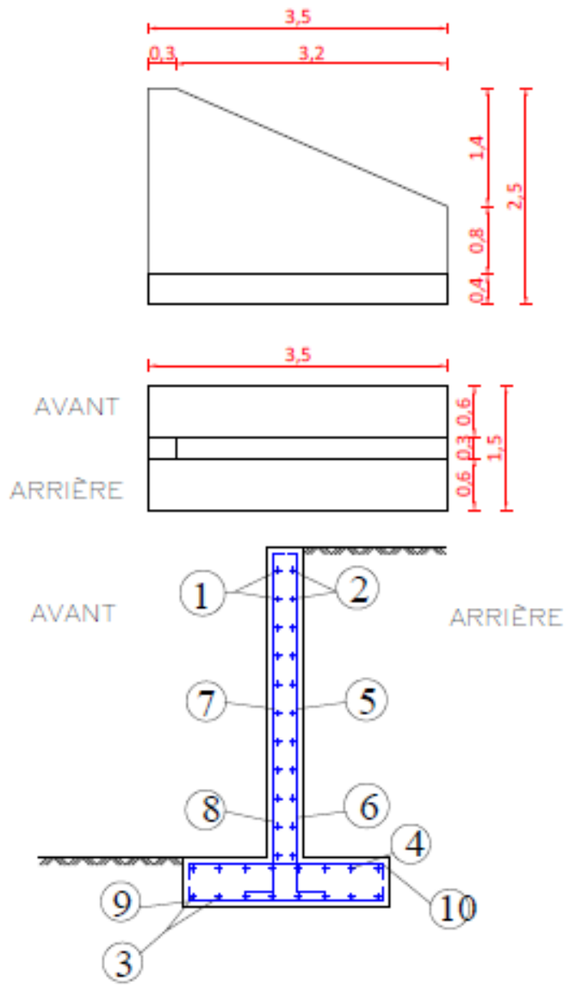
Page 2

ANNEXE XI : PLAN D'EXECUTION DES DALOTS ET CANIVEAUX




VUE EN PLAN
Alle d'entrée gauche
Alle de sortie gauche
Alle d'entrée droite
Alle de sortie droite
3,5
10
7
3,03
50
3,03
56,06
COUPE LONGITUDINALE
COUPE TRANSVERSALE
0,25
2
0,25
2
0,25
2
0,25
2
7
FERRAILLAGE CORPS DU DALOT
FERRAILLAGE CORPS DU DALOT
Fe E500
Poids total
16653.06
Poids total avec chutes (10.00%)
18318.36
REPUBLIQUE DU BURKINA FASO
MINISTERE DES INFRASTRUCTURES ET DU DESENCLAVEMENT
DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES ROUTIERES
CABINET D'INGENIERIE ET D'EXPERTISE EN GENIE CIVIL
INSTITUT INTERNATIONAL D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
REVUE DE L'ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX D'ELARGISSEMENT DE LA ROUTE NATIONALE N°2 EN 2*2 VOIES AU BURKINA FASO, INTEGRANT LES SITES PROPRES DE BUS ET LES VOIES DE CONTRE-ALLÉE: TRONCON BISSIGHIN-YAGMA-BASSINKO, LONG DE 4,995 KM.
PLAN D'EXECUTION
PLAN DE FERAILLAGE
Dalot de 3x200x150
Corps du dalot
Plan n°: 8/9
Etabli par:
KITIO SAIDA LAURA
Date:
Decembre 2025
Encadreur CIE-GC:
NANA JOSUE
Encadreur 2iE:
MADOUGOU ISSA
Echelle:
1/100

MUR EN AILE



Mur en aile d'entrée gauche, Mur en aile d'entrée droite, Mur en aile de sortie gauche et Mur en aile de sortie droite

POSITION	Ø mm	NBRE. PIÈCES	LONGUEUR m	FAÇONNAGE L=cm	ESPACEMENT(cm)	LONGUEUR TOTAL m	POIDS kg/m	POIDS kgf
1	10	44 (4x11)	0.84 - 3.77	17 50 - 343 17	20	120.64	0.62	74.38
2	10	44 (4x11)	0.86 - 3.77	17 52 - 343 17	20	121.29	0.62	74.78
3	10	32 (4x8)	3.65	11 343 11	20	116.80	0.62	72.01
4	10	32 (4x8)	3.65	11 343 11	20	116.80	0.62	72.01
5	8	144 (4x36)	0.92 - 2.29	14 79 - 215	10	238.69	0.39	94.19
6	8	144 (4x36)	0.90	20 70		129.02	0.39	50.92
7	8	144 (4x36)	0.92 - 2.29	14 79 - 215	10	238.69	0.39	94.19
8	8	144 (4x36)	0.75	20 55		107.42	0.39	42.39
9	10	72 (4x18)	1.39	139	20	100.08	0.62	61.70
10	10	72 (4x18)	1.39	139	20	100.08	0.62	61.70
					HA8	713.82	0.39	281.69
					HA10	675.69	0.62	416.58
Fe E500						Poids total		698.27
						Poids total avec chutes (10.00%)		768.10

REPUBLIQUE DU BURKINA FASO MINISTERE DES INFRASTRUCTURES ET DU DESENCLAVEMENT DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES ROUTIERES	CABINET D'INGENIERIE ET D'EXPERTISE EN GENIE CIVIL INSTITUT INTERNATIONAL D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT	REVUE DE L'ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX D'ELARGISSEMENT DE LA ROUTE NATIONALE N°2 EN 2*2 VOIES AU BURKINA FASO, INTEGRANT LES SITES PROPRES DE BUS ET LES VOIES DE CONTRE-ALLÉE: TRONCON BISSIGHIN-YAGMA-BASSINKO, LONG DE 4,995 KM. PLAN D'EXECUTION	PLAN DE FERRAILLAGE Dalot de 3x200x150 Mur en aile Plan n°: 9/9	Etabli par: Date: Encadreur CIE-GC: Encadreur 2iE: Echelle:	KITIO SAIDA LAURA Decembre 2025 NANA JOSUE MADOUGOU ISSA 1/100