



ACTUALISATION DE L'ETUDE TECHNIQUE
DES TRAVAUX DE REALISATION DE LA ROUTE
NATIONALE RN 29 ENTRE ZABRE- FRONTIERE
DU GHANADU PK 79+070 AU PK 89+100

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE
MASTER

SPECIALITE : GENIE CIVIL-BATIMENTS ET TRAVAUX PUBLICS

Présenté et soutenu publiquement le [Date] par

Ratynski Prince Onésime M'BIAPOU TRONGBANDJI (20180494)

Travaux dirigés par :

Dr Louis Arnaud S-N OUEDRAOGO

Enseignant chercheur à l'Institut
International d'Ingénierie de l'Eau et de
l'Environnement (2iE)

Mr. Alban BADJO

Directeur du Département
Aménagement Hydraulique et
Environnement à ACE Ingénieurs
Conseils

Jury d'évaluation

Président : Dr. Malicki ZOROM

Membres : Dr Philbert NSHIMIYIMANA

Mr. Mamadou Pousga Junior KABORE

Promotion [2023/2024]

DEDICACE

Ce présent mémoire fut le travail de cinq (5) années d'études durant lesquelles j'ai rencontré plusieurs obstacles. La route fut pénible mais traversée avec le soutien des personnes proches, pour lesquelles, je dédie ce précieux document. Il s'agit de :

Ma mère NAMBEAM NGAYA Charlotte pour toute l'affection portée à mon égard.

Mon père M'BIAPOU Elysée Maurice qui m'a inculqué les valeurs de persévérance, de travail et de détermination.

Ma grande sœur MBIAPOU AMINA LECHAPT Chéryta Edwige Fleur, qui a toujours été de mon côté et pour son dévouement sans faille et sans limite.

Mes parents (tantes, oncles, sœurs et frères) pour les soutiens multiformes à mon égard, que ce soit par la prière, etc...

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont :

Tout d'abord à Dieu qui m'a gardé en bonne santé, donné la force, le courage, la foi et l'espérance pour tenir dans les études et sans qui rien de tout cela n'aurait été possible et aux personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Ensuite à :

- ✚ Monsieur Ousmane TIENDREBEOGO, Directeur Général de ACE Ingénieurs Conseils pour m'avoir accepté au sein de son Entreprise ;
- ✚ Monsieur Mathieu OUEDRAOGO, Ingénieur Génie Civil, Directeur du Département Bâtiment et Ouvrage d'Art d'ACE Ingénieurs conseils et Responsable de ce présent projet ;
- ✚ Monsieur Alban DADJO, Ingénieur à ACE Ingénieurs Conseils, Maître de stage, pour ses conseils et éclaircissements ;
- ✚ L'ensemble du personnel de l'ACE Ingénieurs Conseils pour leur disponibilité et leur aide durant cette période de stage ;
- ✚ Monsieur Louis Arnaud S-N OUEDRAOGO, mon encadreur interne, pour sa disponibilité, ses conseils et son encouragement lors du déroulement de ce travail ;
- ✚ Tout le corps professoral de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 2iE pour ces années de formation et de sacrifices ;
- ✚ Tous ceux et celles qui ont d'une manière ou d'une autre contribué à la réalisation de ce rapport.

RESUME

Ce présent rapport de fin d'études en Génie Civil, Bâtiments et Travaux Publics s'articule sur le thème « **l'actualisation de l'étude technique des travaux de réalisation de la Route Nationale N°29 (RN29) entre la localité Zabré et la Frontière du Ghana** ». Elle porte sur un tronçon de 10 kilomètres environ à la fin de la RN10 entre la localité de Zabré et la frontière du Ghana.

L'objectif de cette étude est de revoir le dimensionnement de la chaussée et des ouvrages hydraulique en tenant compte des nouvelles réalités du terrain (la pluviométrie et le trafic), l'amélioration de l'état du réseau routier en milieu rural pour une meilleure croissance économique de la zone tout en répondant aux normes en vigueur en bitumant cette voie.

Les études géométriques menées ont permis d'avoir une route constituée de 4830 m d'alignement droit soit 48% et 5200 m de courbure sur l'axe en plan et une longueur maximale de 761 m sur le profil en longueur. Plusieurs variantes (4) ont été trouvées pour les différentes épaisseurs de chaussée, et nous avons choisi la variante n°4 du fait de la disponibilité des matériaux dans la région. Elle est composée de 5 cm en béton bitumineux (couche de roulement) sur une couche de 15 cm de grave latéritique amélioré au concassé (couche de base), et 20 cm de graveleux latéritique pour la couche de fondation. Une étude hydrologique et hydraulique a été menée et les débits obtenus nous ont permis de déterminer les caniveaux de sections (60x60, 100x120) et les dalots de sections (3x2,50x2,50 ; 1x1x1,50 ; 2x2x1,50 et 5x2,50x2,50).

Une notice d'impact environnemental nous a permis d'identifier les impacts suivants (l'émission de poussière de matériaux, la destruction et des champs de la végétation) et de prendre des mesures d'atténuation comme (l'utilisation d'une superficie nécessaire aux travaux, l'exploitation rationnelle des carrières et emprunts et leurs remises en état à la fin et l'indemnisation des victimes de dommages). Enfin Il a été établi un devis estimatif et quantitatif du projet qui s'élève à environ sept milliards cent six millions cinq cent neuf mille quatre cent trente-six F CFA (7 106 509 436 F CFA).

Mots Clés :

1 - Etude

2 – Bitumage

3 – Ouvrages hydrauliques

ABSTRAT

This end-of-studies report in Civil Engineering, Buildings and Public Works focuses on the theme "Update of the technical study of the construction works of the National Road No. 29 (RN29) between the town of Zabré and the Ghana border". It covers a section of approximately 10 kilometers at the end of the RN10 between the town of Zabré and the Ghana border.

The objective of this study is to review the sizing of the roadway and hydraulic structures taking into account the new realities on the ground (rainfall and traffic), the improvement of the state of the road network in rural areas for better economic growth in the area while meeting the standards in force by asphaltting this road.

The geometric studies carried out made it possible to have a road consisting of 4830 m of straight alignment or 48% and 5200 m of curvature on the axis in plan and a maximum length of 761 m on the profile in length. Several variants (4) were found for the different thicknesses of the roadway, and we chose variant No. 4 because of the availability of materials in the region. It is composed of 5 cm of bituminous concrete (wearing course) on a layer of 15 cm of lateritic gravel improved with crushed stone (base course), and 20 cm of lateritic gravel for the foundation course.

In order to clean up the roadway, a hydrological study and a hydraulic study were conducted and the flow rates obtained allowed us to determine the section gutters (60x60, 100x120) and the section culverts (3x2.50x2.50; 1x1x1.50; 2x2x1.50 and 5x2.50x2.50).

An environmental impact statement allowed us to identify the following impacts (emission of dust from materials, destruction of vegetation and fields) and to take mitigation measures such as (use of an area necessary for the work, rational exploitation of quarries and borrowings and their restoration at the end and compensation for victims of damage). Finally, an estimated and quantitative estimate of the project was established, which amounts to approximately seven billion one hundred and six million five hundred and nine thousand four hundred and thirty-six CFA francs (7,106,509,436 CFA francs).

Key words

1 - Study

2 – Asphaltting

3 – Hydraulic works

LISTE DES ABREVIATIONS

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

AASHO: American Associated of States Highway Official

ACE : Associed Consulting Engineers

AGETIB : Agence des Travaux Infrastructures du Burkina

ARP : Aménagement des Routes Principales ;

BAD : Banque Africaine de Développement ;

BAEL : Béton Armé aux Etats Limites ;

BV : Bassin Versant ;

CAM : Coefficient d'Agressivité Moyen ;

CBR : California Bearing Ratio

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

ELU : Etat Limite Ultime ;

ELS : Etat Limite de Service ;

FPP : Fissuration Peu Préjudiciable ;

GNT : Grave non traitée ;

ICTARN : Instruction sur les Conditions Technique d'Aménagement des Routes Nationales ;

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées ;

LNBT : Laboratoire National du Bâtiment et Travaux Publics ;

PA-SD : Plan d'Action de Stabilisation et de Développement ;

PK : Penta kilométrique ;

RCCM : Registre de Commerce et du Crédit Mobilier ;

RTR : Recommandation pour les Tassements Routiers ;

TMJA : Trafic Moyen Journalier Annuel ;

UEMOA : Union Economique et Monétaire Ouest Africaine

SOMMAIRE

Dédicace	II
Remerciements	III
Résumé	IV
ABSTRAT	V
liste des abréviations	VI
SOMMAIRE	VII
LISTE DES TABLEAUX	X
LISTE DES FIGURES	XI
<i>Introduction</i>	1
<i>A. Chapitre 1 : données de base et explorations</i>	2
I. Présentation de la structure d'accueil et de la zone d'étude	2
1. Généralités sur la structure	2
2. Domaines d'activités	2
3. Organigramme de la Société	3
II. Présentation de la zone d'étude	4
1. Le relief	4
2. Le Sol	4
3. Le climat	5
4. La végétation	5
III. Présentation du projet	5
1. Contexte Général et Justification	5
2. Objectif du projet	6
<i>B. méthodologie de conception</i>	8
I. L'Étude géotechnique	8
1. La reconnaissance des sols de la plateforme	8
2. Sondage de la Chaussée	8
3. Essais de laboratoire et identification des sols de plateforme	9
4. Dimensionnement de la chaussée : étude du trafic routier	9
II. L'Étude géométrique	11
1. Tracé en plan	11

2.	Profil en long.....	12
3.	Profils en travers	13
III.	Etude Hydrologique et hydraulique.....	14
1.	Méthodologie utilisée.....	14
2.	Etude Hydrologique	14
3.	Etude Hydraulique	20
IV.	Dimensionnement structural des ouvrages.....	22
1.	Les données de base.....	22
2.	Dimensionnement structural des caniveaux.....	23
3.	Dimensionnement structural des dalots.....	24
C.	Résultats obtenus et discussions	25
I.	Aperçu des résultats de la précédente étude (2016)	25
II.	Etude géotechnique	25
1.	Classe des sols de plate-forme	25
2.	Recherche de matériaux de viabilité	26
3.	Recherche des roches et de sable pour le revêtement et le béton hydraulique	28
4.	Prédimensionnement et choix de la structure avec la méthode CEBTP.....	29
5.	Vérification du dimensionnement par le logiciel ALIZE-LCPC	32
III.	Conception Géométrique de la route	34
1.	Tracé en Plan.....	34
2.	Profil en Long	35
3.	Le profil en travers.....	35
4.	Aménagement routier.....	36
IV.	Étude Hydrologique.....	38
1.	Délimitation de Bassin versant.....	38
2.	Estimation des débits.....	39
V.	Étude Hydraulique.....	42
1.	Les Ouvrages d'assainissement.....	42
2.	Les ouvrages de franchissement.....	43
VI.	Dimensionnement structurel des ouvrages	46
1.	Résultat de l'étude des caniveaux	46
2.	Résultat de l'étude du dalot 3x2,50x2,50 m ²	47
D.	Etudes d'impacts environnemental et social.....	50
I.	Etude d'impacts environnementaux.....	50

3.	Cadre législatif au Burkina Faso en matière d'environnement	50
4.	Description de l'état initial de l'environnement.....	50
5.	Description des enjeux environnementaux et sociaux de l'aire d'influence du projet	51
6.	Identification et évaluation des impacts sur l'environnement	51
7.	Mesures d'atténuation et de compensation	52
8.	Mesures de suivi environnemental.....	53
II.	Estimation du devis du projet	53
	<i>Conclusion et recommandation</i>	<i>55</i>
	<i>Annexes.....</i>	<i>57</i>

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Classes de trafic en fonction du trafic cumulé selon CEBTP	11
Tableau 2: paramètres fondamentaux du tracé en plan	12
Tableau 3: paramètres fondamentaux du Profil en long	13
Tableau 4: Hauteurs moyennes de pluies dans la zone du projet.....	15
Tableau 5: Pluviométrie de l'étude technique de 2016.....	25
Tableau 6: Classe des sols de la Plateforme.....	26
Tableau 7: Résultat d'analyse des matériaux des différents emprunts.....	26
Tableau 8: Classe des Portance du sol en Fonction du CBR	28
Tableau 9: Essais pour les sites de granulats.....	28
Tableau 10: Les Passants de l'essais sur les granulats	28
Tableau 11: Essais pour les sites de Sable	29
Tableau 12: Abaque pour le choix des épaisseurs des couches de chaussée du CEBTP	30
Tableau 13: Classe de portance de la plateforme en fonction du module E	33
Tableau 14: Caractéristiques des Bassins Versants.....	39
Tableau 15: Résultat du calcul des débits	40
Tableau 16: valeurs retenues pour le dimensionnement	41
Tableau 17: débits de dimensionnement des caniveaux.....	41
Tableau 18: Pré-dimensionnement des caniveaux	42
Tableau 19: Section des caniveaux retenues	42
Tableau 20: Résultats du pré-dimensionnement des dalots	44
Tableau 21: sections d'acier des caniveaux	47
Tableau 22: Section d'acier du dalot	48
Tableau 23: Impacts suivant les milieux	52
Tableau 24: Récapitulatif des coûts du projet	54

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme de l'entreprise	3
Figure 2: Présentation du projet	7
Figure 3: TMJA des poids lourds en 2023 par tronçon sur la RN29	9
Figure 4: Les paramètres de Montana	19
Figure 5: La nature des interfaces entre les couches	32
Figure 6: Module des couches pour les matériaux naturels	33
Figure 7: Résultat de la vérification avec Alizée	34
Figure 8: Extrait du profil en travers type de la route en agglomération	35
Figure 9: Extrait du profil en travers type de la route en rase compagne	36
Figure 10: Les différents bassins versants.....	39
Figure 11 : Extrait du plan de ferrailage du caniveau 100x120 cm ²	46
Figure 12: Extrait du plan de ferrailage du dalot	47
Figure 13: Extrait du plan des ferrailage des piédroits	49
Figure 14 : Répartition des couts du projet	54

INTRODUCTION

Avec le développement du commerce interpays et inter-continentaux, les voies de communications deviennent de plus en plus importantes. La construction des routes, des aéroports, des voies ferrées et des ports navals devient cruciale pour l'accès au marché international. Dans les pays enclavés, il faut des voies de liaison entre le pays et les pays voisins afin de faciliter le commerce. C'est dans ce contexte que les pays de la sous-région ont pris des mesures concrètes pour faire face à ces défis.

Étant un pays enclavé, le Burkina Faso doit avoir des ouvertures avec ses pays limitrophes pour assurer le transfert et la vente de ses produits. C'est dans ce contexte que ce projet a été mis en place avec l'appui de certains Partenaires afin de construire des routes qui relient le Togo, le Ghana, le Niger et le Burkina Faso. La route a fait l'objet d'études qui ont été réalisées en 2016 par le Bureau d'Études AGETIB, sur le financement de la Banque Mondiale.

Face à l'augmentation du trafic, et le fait que l'étude d'avant-projet détaillée de la RN29 a été réalisée en 2016, alors il faut actualiser les précédentes études avant d'entamer les travaux. Le présent rapport porte sur la prise en compte des données de base (climatiques et hydrologiques) du dossier d'études 2016 du Bureau AGETIB pour une nouvelle étude d'avant-projet détaillée afin de permettre un meilleur dimensionnement de la voie. D'où le thème : « **étude technique des travaux de réalisation de la route nationale RN29 entre Zabré et la Frontière du Ghana (du pk 79 + 070 au pk 89 + 100)** ».

L'objectif de cette revue est d'évaluer le trafic actuel afin de mieux dimensionner la chaussée pour une bonne durabilité. Et aussi, de prendre en compte les données pluviométriques actuelles pour une bonne évaluation des débits pour le dimensionnement des ouvrages. Ainsi cette étude pousse à poser des questions cruciales :

Quelles solutions techniques faudraient-elles pour répondre aux besoins présents et futurs de la route?

Quel serait le coût?

Quels impacts auraient-ils sur l'environnement et la société ?

Pour répondre à ces questions, nous allons faire une présentation de la zone du projet, ensuite, une méthodologie de conception décrivant les étapes à suivre et enfin, à partir des résultats obtenus, une discussion approfondie sera menée pour évaluer les solutions techniques envisagées, leur coût ainsi que leur impact sur l'environnement.

A. CHAPITRE 1 : DONNEES DE BASE ET EXPLORATIONS

PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ETUDE

1. Généralités sur la structure

Associated Consulting Engineers (ACE Ingénieurs Conseils) créé en 2003 sous le numéro du Registre de Commerce et du Crédit Mobilier (RCCM) BF OUA 2003 B 3134, est un Bureau d'Etudes Pluridisciplinaire reconnu sous le statut juridique d'une Société à Responsabilité Limitée (SARL) régie par les dispositions de l'Acte Uniforme relatif au droit des sociétés commerciales. Elle est située dans la ville de Ouagadougou plus précisément dans le secteur 8 Gounghin, Rue Zoalga 8.24. Elle réalise les projets tant au Burkina Faso qu'à l'International, notamment au sein de la zone UEMOA qui comprend entre autres des pays comme la Côte d'Ivoire, le Niger, la Guinée et le Mali. Elle est également affiliée à des institutions financières internationales (la Banque Mondiale, la BAD ; ...).

De son Directeur M. Ousmane TIENDREBEOGO à tous les employés, l'ACE Ingénieurs Conseils possède une main-d'œuvre qualifiée qui fournit des solutions rentables et respectueuses de l'environnement impliquant des ingénieurs civils, des ingénieurs du bâtiment et des géomètres. A cela s'ajoutent des moyens techniques et logistiques qui leur permettent d'intervenir efficacement dans les disciplines du développement économique et social du pays.

2. Domaines d'activités

ACE Ingénieurs Conseils intervient à tous les stades de mise en œuvre d'un projet, de l'identification, la reconnaissance des sites, l'étude de faisabilité, les études préliminaires, les études détaillées, la préparation des cahiers de charges et des documents d'appel d'offres, l'assistance au maître d'ouvrage pour l'analyse des offres des entreprises, à la surveillance et le contrôle des travaux et l'assistance technique. Les différents domaines d'intervention sont :

- Les études d'ingénierie de toutes infrastructures de génie civil, génie rural, hydraulique et divers :
 - Les infrastructures qui concernent principalement les routes bitumées, les pistes rurales, les voiries et réseaux divers et la topographie ;
 - Les bâtiments et ouvrages d'art qui concernent principalement les bâtiments, les ouvrages d'art, les structures métalliques et les bois.

➤ L'aménagement hydraulique et environnement comportant l'aménagement hydro-agricoles et les barrages.

- Le Contrôle et la supervision de tous les projets de génie civil et autres ;
- La mission de maîtrise d'ouvrage délégué et maîtrise d'œuvre ;
- La conception, les études d'architecture et d'urbanisme ;
- L'expertise et conseils techniques ;

ACE Ingénieurs Conseils adopte une approche collaborative avec ses clients, travaillant en étroite collaboration pour comprendre leurs besoins spécifiques et fournir des solutions sur mesure. La qualité et la sécurité sont des valeurs fondamentales pour ACE Ingénieurs Conseils.

3. Organigramme de la Société

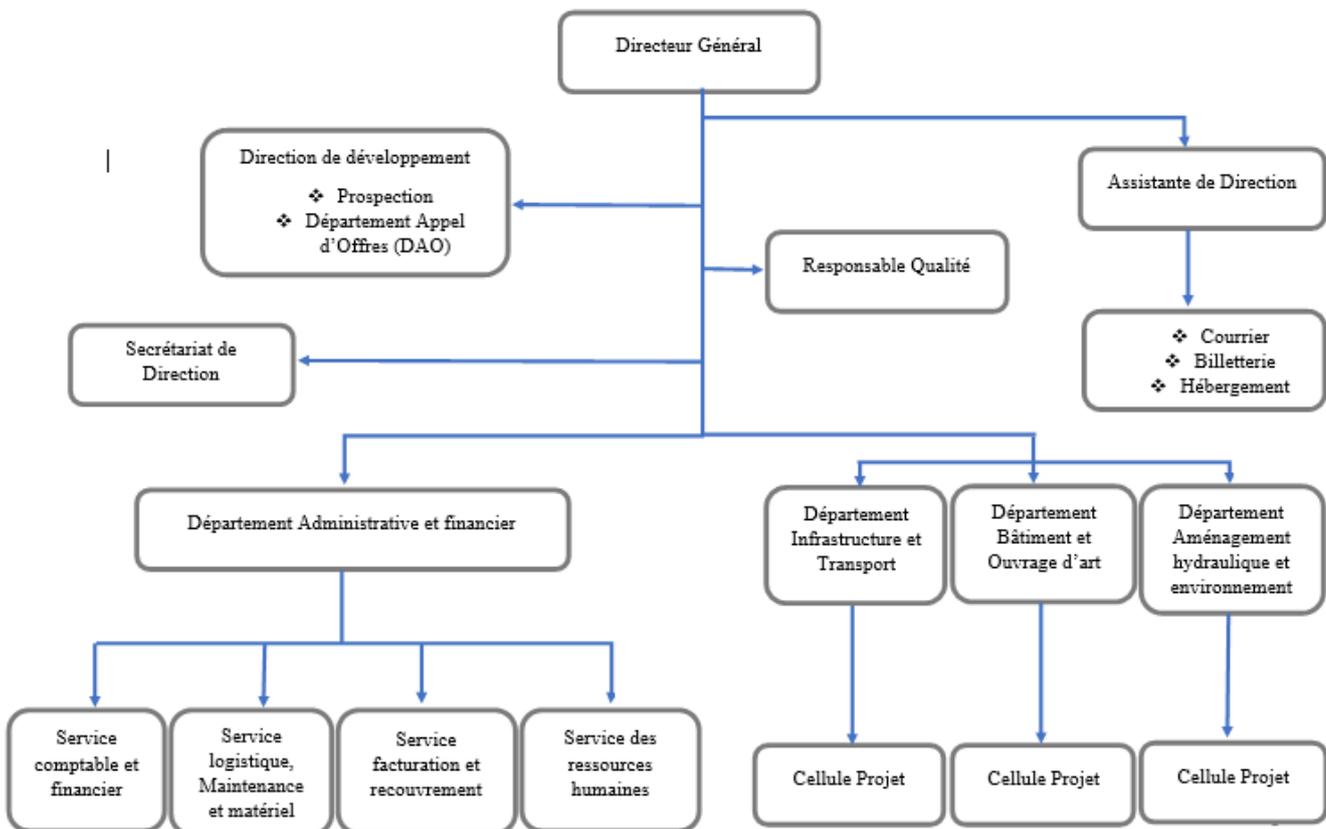


Figure 1: Organigramme de l'entreprise

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le Burkina Faso est un pays enclavé se situant en Afrique de l'Ouest, et délimité par le Mali au nord et à l'ouest, le Niger à l'est et le Bénin, le Togo, le Ghana et la Côte d'Ivoire au sud. Il couvre une superficie de 274 000 kilomètres carrés dans laquelle se réalisent plusieurs projets.

Ce projet, va être réalisé dans la région du Centre-Est du Burkina Faso. C'est une région frontalière limitée au sud de deux pays voisins, le Togo et le Ghana. Il est limité à la région centre-nord du nord. À l'est se trouve la région orientale, à l'ouest la région du Plateau central et à l'ouest la région centrale et méridionale de la Chine.

Le projet vise à relier les localités de Zabré et Zoaga de la province du Boulgou, la région du Centre-Est du Burkina Faso à la frontière du Ghana. L'origine du projet est située dans la ville de Zabré à la fin du tronçon de route bitumée Manga-Zabré. La fin du projet se situe à la frontière avec le Ghana, soit un linéaire d'environ 27 km. Elle se situe entre les latitudes $11^{\circ}10'51''\text{N}$ et $10^{\circ}59'31''\text{N}$, et longitudes $0^{\circ}38'3''\text{O}$ et $0^{\circ}32'7''\text{O}$.

1. Relief

Géographiquement, le relief physique du Centre-Est est connu pour être un grand plateau couvert de glacis et, à certains endroits, d'affleurements de granite. La région est composée de trois entités géomorphologiques différentes.

- Les hauts plateaux sont majoritairement situés dans le Kourittenga, couvrant plus des 4/5 de la province et formant une ceinture d'environ 7 kilomètres de large du nord au sud. Koulpélogo ;
- Et les basses terres sont situées à l'extrémité sud du Boulgou et à l'extrême Est.

2. Sol

L'un des éléments principaux pour caractériser une zone donnée est le sol. La région du Centre Sud est constituée de deux (2) modèles qui sont :

- Les affleurements rocheux de faibles pentes ;
- Les sols d'une grande variété dans la zone dite Sahélienne où l'on trouve :
 - Un sol sableux en surface, sablo-argileux en profondeur ;
 - Un sol argilo-sableux à argileux en surface, argileux en profondeur.

3. Climat

La région du Centre Sud du Burkina appartient au domaine climatique soudano-nord. La température moyenne annuelle tourne autour de 28°C et oscille entre le minimum de 22°C et le maximum de 32°C, avec une faible humidité de l'air en moyenne. La pluviométrie annuelle varie entre 750 et 1000 mm.

La région du Centre Sud du Burkina Faso dispose d'une bonne pluviométrie et compte parmi les zones les mieux arrosées du pays. Il faut savoir que cette combinaison de bonne pluviométrie et de sols est favorable aux activités agro-pastorales.

4. Végétation

De par sa définition qui est l'ensemble des tapis végétal, de paysage végétal, et de formation végétale, la localité du Centre-Est est constituée de plusieurs savanes arbustives et arborées qui dominent les formations naturelles. Les cours d'eau les plus importants sont bordés par des forêts galeries de faible étendue.

Mais cela est sans oublier l'état de dégradation des ressources naturelles (sol et végétation) déjà avancé dans cette région avec pour cause principale, la surpopulation, l'utilisation anarchique des formations naturelles autour de Tenkodogo et les feux de brousse répétés.

PRESENTATION DU PROJET

1. Contexte Général et Justification

La Stratégie du secteur des transports du Burkina Faso pour la période 2011-2025, adoptée par décret n°2012 302/PRES/PMIMTPENIMEF/MID du 24 avril 2012 fixe les grandes orientations stratégiques du secteur. Cette stratégie sectorielle est en phase avec le référentiel en vigueur, notamment le Plan d'Action de Stabilisation et de Développement (PA-SD) du gouvernement de la Transition. Ces grandes orientations stratégiques sont réparties en cinq (05) axes dont l'Axe 1 consiste au développement et au renforcement du réseau routier national.

Pour contribuer considérablement à une croissance forte et inclusive, au moyen de modes de production et de consommation durable, le Gouvernement a choisi de mettre l'accent sur le désenclavement des zones de haute production. Mais aussi d'améliorer la connectivité régionale et les infrastructures communautaires socio-économiques le long du corridor entre les capitales du Togo, du Burkina Faso et du Niger.

Dans l'atteinte de ces objectifs de désenclavement et de croissance inclusive, le gouvernement burkinabè a engagé plusieurs actions de construction routière dont le projet de bitumage de la dernière section de la route nationale n°29 (RN29) entre Zabré et la frontière du Ghana longue de 27 km.

Face à cette évolution du trafic routier, et le fait que l'étude technico-économique, environnementale et d'avant-projet détaillé de la RN29 ont été réalisés en 2016, il est impératif pour une bonne mise en œuvre du projet de procéder à son actualisation avant d'entamer les travaux.

Dans le cadre de ce projet, nous avons :

- Maître d'ouvrage : le Gouvernement du Burkina Faso ;
- Maître d'ouvrage délégué : AGETIB ;
- Mission d'étude : ACE Ingénieurs Conseils ;
- Bureau de contrôle : LNBTP.

2. Objectif du projet

En parlant d'actualisation des études techniques, nous allons nous attarder sur les études qui permettent de déterminer, concevoir et quantifier la nature des interventions et des aménagements à appliquer à la route. Elles se dérouleront en deux (02) phases :

- L'analyse des études d'avant-projet détaillé de 2016 où nous aurons, sur la base des documents fournis par AGETIB, à mener une analyse des faiblesses de l'étude antérieure et proposer des améliorations qui prennent en compte la réalité actuelle ;
- L'actualisation des études techniques détaillées réalisées en 2016, prenant en compte les changements majeurs dans la zone d'intervention du projet (projets nouveaux pouvant avoir des impacts sur le trafic, les écoulements hydrologiques et le fonctionnement des ouvrages, la structure de chaussée, etc.).

La réalisation du projet contribuera sans nul doute à réduire les coûts d'exploitation des véhicules, à améliorer la sécurité des usagers et des populations de la zone et ainsi au renforcement des activités productrices et commerciales dans la zone d'influence dudit projet.

Les objectifs spécifiques de ce projet sont :

- Réaliser l'actualisation des études topographiques : la conception géométrique et l'aménagement routier ainsi que le dimensionnement de la chaussée, le tracé en plan (axe en plan), la conception du profil en long, du profil en travers et le tracé combiné ;
- Réaliser l'étude hydrologique et hydraulique : connaître les différents débits des bassins versants ;
- Réaliser l'étude géotechnique : caractériser les différents sols en place et identifier les sites d'emprunts et proposer les matériaux pour les différentes couches de chaussée ;
- Faire le dimensionnement des ouvrages d'art et d'assainissement (fossés ou dalots) des ouvrages.

Présentation du Projet

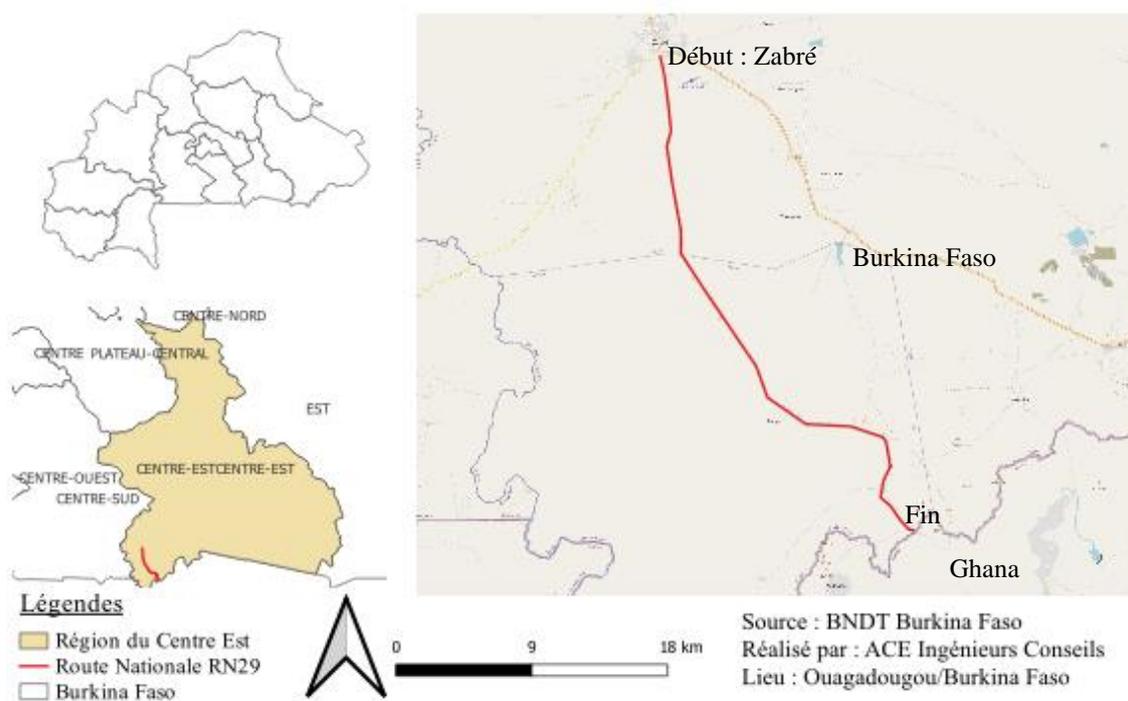


Figure 2: Présentation du projet

Cette carte présente la localité et la route à réaliser qui commence dans la localité de Zabré pour finir à la frontière du Ghana.

B. METHODOLOGIE DE CONCEPTION

I. L'ÉTUDE GEOTECHNIQUE

Dans le cadre de ce projet, la consistance de l'étude géotechnique commanditée porte sur :

- L'identification de la nature et la portance des sols d'assise ;
- La détermination du type de fondation pour les ouvrages d'art et hydraulique et le niveau d'ancrage au niveau des sols d'assise ;
- L'identification complète des matériaux constituant les couches de la chaussée existante ainsi que leurs caractéristiques géotechniques ;
- L'identification des caractéristiques des matériaux utilisables pour la construction ;
- La réalisation des essais de laboratoire en vue de déterminer la portance et la qualité des sols en place et des matériaux.

Les données géotechniques de l'étude menées par AGETIB en 2016 seront considérées comme base pour la conception structurelle de la chaussée. Afin de mener cette mission, une équipe du LNBTP coiffée par un ingénieur géotechnicien a fait les sondages.

1. La reconnaissance des sols de la plateforme

Elle donne des informations sur le terrain naturel permettant au projecteur de définir la structure de la chaussée à adopter et les dispositions constructives à prendre.

Cette reconnaissance va permettre de déterminer les zones de faible portance ou on doit purger ou substituer le terrain. Ainsi, pour la plateforme nous allons procéder à des sondages.

2. Sondage de la Chaussée

En ce qui concerne le tronçon de la Route Nationale RN29 étudié, il y'a eu au total, dix (10) sondages réalisés manuellement tous les 1000 mètres environs à une profondeur de 1,00 m, Les coupes lithologiques de ces sondages font ressortir du haut vers le bas les types de sols suivants :

- Grave-argileuse latéritique ;
- Argile compactée (peu compacté à certains endroits) ;
- Argile latéritique ;
- Argile noirâtre (peu sableuse à certains endroits) ;

Les différentes coupes lithologiques sont présentées dans **l'Annexe I**

3. Essais de laboratoire et identification des sols de plateforme

Les échantillons prélevés lors des sondages ont fait l'objet d'analyse au laboratoire afin de déterminer les caractéristiques des sols supports traversés et des différents emprunts pour matériaux de viabilité. Ces essais réalisés sont :

- Les essais d'identification du sol
 - Analyse granulométrique ;
 - Limites d'Atterberg.
- La détermination des paramètres d'état et de comportement des sols :
 - Essais Proctor Modifié
 - Essais CBR

Tous les échantillons ont subi ces différents essais.

4. Dimensionnement de la chaussée : étude du trafic routier

Le trafic routier est le nombre de passage des véhicules dans une période donnée (en général par jour), pour un poste donné dans une route. L'étude du trafic permet de :

- Déterminer si la route est pratiquée par une forte concentration de poids lourds et le nombre afin de prendre en compte dans la méthode de dimensionnement ;
- Déterminer les épaisseurs des différentes couches de la chaussée (dimensionnement).
- Fixer les matériaux de la couche de roulement.

Les résultats de la simulation du trafic réalisée par le Bureau d'Etudes AGETIB en 2016 ont déterminé un trafic détourné de 23 VL et 16 PL sur la section avec le scénario où la RR09 est bitumé en même temps que la RN29. Le Consultant considère ces volumes pour cette étude.

Le trafic moyen journalier annuel (TMJA) issu de comptage de trafic réalisé en février 2024 est récapitulé sur la figure suivante :

Trafic	VL	PL
TMJA	60	24
Trafic Induit	28	5
Trafic dévié	23	16
Total	111	45

Figure 3: TMJA des poids lourds en 2023 par tronçon sur la RN29

L'estimation du trafic va se faire par la méthode CEBTP [1].

❖ La Méthode CEBTP

Hypothèse de calcul :

- Taux de croissance du trafic (i) : 5 % ;
- Durée de vie (n) : 20 ans ;
- En tenant compte du nombre cumulé de poids lourds et en nous référant à une croissance géométrique on a :

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

N : étant est le nombre de poids lourds pour la période de calcul en année.

$$N = 365 \times 45 \times \frac{(1 + 0,05)^{20} - 1}{0,05}$$

$$N = 5,43. 10^5 PL$$

Donc nous avons : $N = 5,43. 10^5 PL$

❖ Calcul du trafic équivalent en nombre d'essieux

C'est le nombre équivalent d'essieux de référence qui correspond au trafic des poids lourds cumulé sur la durée de vie de la chaussée. Dans le présent projet, l'essieu de référence est de 13 tonnes.

$$NE = N \times CAM$$

Alors, le nombre d'Essieu Standard (NE) équivaut à :

$$NE = 5,43. 10^5 \times 1,3 = 7,06. 10^5 PL$$

Pour le dimensionnement de la chaussée, la valeur de NE qui sera utilisée est celle de NE standard car c'est le cas le plus défavorable.

❖ Classes de trafic

Etant donné qu'il n'y a pas des données sur la variation du trafic au cours de l'année, nous allons supposer avoir un trafic journalier constant. Nous avons donc : $TMJA=TMJ=45 \text{ PL/j}$.

Le guide du CEBTP définit cinq (5) classes de trafic en nombre de véhicule par jour

Tableau 1: Classes de trafic en fonction du trafic cumulé selon CEBTP

Classe du Trafic	N équivalent PL CEBTP	Trafic équivalent Véh/j
T ₁	$< 5.10^5$	< 300
T ₂	$5.10^5 \text{ à } 1,5.10^6$	300 à 1000
T ₃	$1,5.10^6 \text{ à } 4.10^6$	1000 à 3000
T ₄	$4.10^6 \text{ à } 10^7$	3000 à 6000
T ₅	$10^7 \text{ à } 2.10^7$	6000 à 12000

En se référant au tableau de classification du << Guide CEBTP >> [1], le trafic est de classe T2.

C'est cette classe qui sera pris en compte pour le dimensionnement de la chaussée

L'ÉTUDE GEOMETRIQUE

Dans ce chapitre, nous allons proposer une nouvelle conception géométrique de la route en tenant compte des nouvelles exigences du projet. Nous allons déterminer les caractéristiques géométriques comme : le tracé en plan, le profil en long et les profils en travers types.

L'étude topographique démarre avec la mise en place des polygonales du tracé. Celle-ci est primordiale pour la détermination des caractéristiques physiques de la zone d'emprise de la route. Le tracé s'est fait suivant la norme ICTARN qui fait partie des normes de l'ARP (Aménagement des Routes Principales) - Guide technique (Août 1994) – SETRA [2],

1. Tracé en plan

C'est un tracé qui met en lumière les longueurs des sections rectilignes et les valeurs des rayons de courbures dans les virages. Le tracé en plan est une projection sur le plan horizontal de l'axe d'une chaussée. Entre les alignements droits, nous effectuons des raccordements pour assurer

la sécurité et le confort des usagers. Ces raccordements sont circulaires (pour les rayons non déversés) ou des raccordements progressifs ou clothoïdes (pour les rayons déversés).

La vitesse de référence retenue pour la traversée est de 100 km/h. Pour ces vitesses de référence, les normes ICTARN [2] utilisées pour la conception propose des rayons minimaux de courbes pour assurer aux usagers le minimum de confort et de sécurité et est présenté ci-dessous.

Tableau 2: paramètres fondamentaux du tracé en plan

DESIGNATION DES PARAMETRES		Symbole et unité	CATEGORIES DE ROUTES					
Vitesse de référence		Vr (km/h)	4 ^{ème}	3 ^{ème}	2 ^{ème}	1 ^{ème}	Except	
Tracé en Plan	Dévers maximal		δM (%)	40	60	80	100	120
	Rayon en plan RH (m)	Minimal absolu (dévers δM)	RH (m) (%)	7	7	7	7	7
		Minimal Normal	RH (m) (%)	40	120	240	425	665
		Au dévers minimal	RH" (m) (2,5%)	250	450	650	900	1500
			RH" (m) (2,0%)	300	500	700	1000	1600
Non déversé	RH' (m)	400	600	900	1300	1800		
Paramètres cinématiques	Vitesse du véhicule		V (km/h)	40	60	80	100	120
	Longueur de freinage		D0 (m)	15	35	60	105	120
	Distance d'arrêt en alignement		D1 (m)	40	70	105	160	230
	Distance d'arrêt en courbure		D2 (m)	45	80	120	180	280
	Distance de visibilité de dépassement	Minimale	Dd (m)	150	250	325	400	500
		Maximale	Dd (m)	250	350	500	625	800
Distance de visibilité de manœuvre de dépassement		DMd (m)	70	120	200	300	400	

2. Profil en long

Un profil en long est une coupe longitudinale d'une route. La ligne rouge du projet qui la matérialise représente les altitudes de l'axe de la chaussée terminée en tout point de la route. Dans le but de minimiser les terrassements et d'assurer confort, visibilité et sécurité aux usagers de la route, celle-ci suit de près le profil en long de la voie existante. Il est caractérisé par la succession des déclivités liées par des raccordements paraboliques. Ces déclivités sont

composées de pentes et de rampes. On s'assurera toutefois que l'évacuation des eaux de surface se fasse avec les déclivités minimales suivantes :

- 0.5 à 1% pour les zones où le dévers est nul ;
- 0.2% dans les longues sections en déblai afin d'éviter les sur profondeurs pour le dispositif longitudinal d'évacuation des eaux pluviales.

Tableau 3: paramètres fondamentaux du Profil en long

DESIGNATION DES PARAMETRES			Symbole et unité	CATEGORIES DE ROUTES					
				4ème	3ème	2ème	1ème	Exception	
PROFIL EN LONG	Déclivité maximale en rampe		δM (%)	8	7	6	5	4	
	Rayon en angle saillant RV (m)	Chaussée unidirectionnelle (route à 4 voies ou 2 chaussées)	Minimal absolu	RVm1	5000	1500	3000	6000	12000
			Minimal normal	RVm1	15000	3000	6000	12000	12000
		Chaussée unidirectionnelle (route à 2 ou 3 voies)	Minimal absolu	RVm2	500	1600	4500	10000	
			Minimal normal	RVm2	1600	4500	10000	17000	
	Rayon en angle rentrant RV' (m)	Minimal absolu		RVm'	700	1500	2200	3000	4200
		Minimal normal		RVm'	1500	2200	3000	4200	6000
Rayon assurant la distance de visibilité de dépassement minimale sur route à 2 ou 3voies			RVD (m)	2500	6500	11000	17000	28000	

3. Profils en travers

Les profils en travers d'une route sont des coupes perpendiculaires à l'axe de la route. Ils sont répartis tout le long de la voie et permettent de connaître tous les renseignements nécessaires à la définition de celle-ci. Ils se rapporte, au terrain naturel, au projet. Ils sont caractérisés par les différents éléments que sont :

- Le nombre de voies (2) ;
- La largeur de la voie (3,5 m) ;

- Les accotements (0.5 – 2 m) ;
- La section des ouvrages latéraux ;
- La pente transversale 2,5% ;

Les résultats sont présentés en **Annexes VI**.

NB : Dans le cas de cette étude, il faut savoir que la route à l'état actuel est comme un sentier. Donc dans notre étude géométrique, il s'agit de réaliser une chaussée neuve.

ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

1. Méthodologie utilisée

Les données hydrologiques et hydrauliques nécessaires à notre étude se définissent de la manière suivante :

- D'abord les caractéristiques physiques (la surface, le périmètre, la longueur équivalente, les altitudes et la pente) des bassins versants ;
- Ensuite les données climatiques (la pluviométrie) de la zone d'études données par la station pluviométrique de Zabré sur une période de 10 ans.

Les paramètres hydrologiques et les formules CIEH, ORSTOM et la méthode rationnelle utilisés pour l'évaluation des débits de crue décennale pour le dimensionnement hydraulique sont extraites du Manuel de la FAO, de « Hydraulique Routière » [3].

2. Etude Hydrologique

a. Délimitation des bassins versants

Les bassins versants sont des éléments importants pour le calcul des débits, C'est la surface topographique drainée par un cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section. Sa délimitation est cruciale pour la gestion des ressources en eau. Nous allons nous intéresser aux bassins versants dont les exutoires vont traverser le linéaire du projet.

Pour ce faire, nous allons utiliser le logiciel QGIS qui nous donne une bonne approche et nous avons obtenu 10 bassins versants présentés dans la partie résultat.

b. Les paramètres physiques des bassins versants

Etudes pluviométriques et climatiques

- ❖ Pluviométrie moyenne annuelle à la station de Zabré.

La variabilité spatiale du climat est présentée dans les graphes avec globalement une augmentation légère des précipitations vers le Sud (Zabré). Voir **Annexe III**.

❖ Étude des pluies maximales journalières

Pour la détermination des pluies maximales journalières, la série chronologique des pluies maximales journalières observées au niveau des stations pluviométriques de Zabré a été soumise à l'ajustement statistique. Cette analyse a conduit à une estimation des pluies journalières décennales consignées dans le tableau-ci après :

Tableau 4: Hauteurs moyennes de pluies dans la zone du projet

Station de référence	Pluie moyenne inter - annuelle (mm)	Pluie journalière décennale P10 (mm)
	Valeurs obtenues par les données météo	Valeurs obtenues par ajustement statistique des données météo
ZABRÉ	880	105

La répartition dans le temps des pics journaliers des données mesurées sur les deux stations est montrée par la figure ci-dessous. Les valeurs proviennent des relevées obtenues aux stations de Zabré.

c. Les paramètres hydrologiques

Les paramètres physiques des bassins versants tels que le périmètre, la superficie les altitudes et la pente sont tirés de la délimitation des bassins versants.

Les autres paramètres ont été calculés à l'aide des formules classiques comme :

- Indice de capacité : indice caractérisant la forme d'un bassin versant qui est le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface.

$$K_G = 0.282 \times P \times S^{-0.5}$$

- La longueur du rectangle équivalente (L_{eq}) : la plus grande distance parcourue par une goutte d'eau tombée dans le sous bassin versant pour arriver à l'exutoire.

$$L_{eq} = S^{\frac{1}{2}} \times \left(\frac{K_G}{1.128} \right) \times \left[1 + \left(1 - \left(\frac{1.128}{K_G} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right]$$

- L'indice global de pente (I_g) : le rapport entre la dénivelée ΔH et la longueur L du plus long drain.

$$I_g = \frac{\Delta H}{L_{eq}}$$

Avec ΔH : la dénivelée qui correspondante à 5% et à 95% de la courbe hypsométrique.

- Perméabilité des bassins : perméabilité de la zone du projet se caractérisant par les bassins de type RI (Relativement Imperméable). Les bassins de type RI sont des bassins relativement imperméables constitués d'une couverture végétale non négligeable qui gêne la formation de pellicules imperméables, de sols à recouvrement gravillonnaire continu d'épaisseur notable [3].
- Période de retour : période à considérer pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques du projet est : T=10 ans.

d. Estimation des débits

Pour l'estimation des débits d'eau dans un bassin versant, on peut utiliser plusieurs méthodes dont : la méthode ORSTOM, la méthode CIEH, la méthode de PUECH et CHABI-GONNI ou la méthode rationnelle [3].

Dans le cadre de ce projet, nous allons évaluer les débits du projet grâce à ces trois (3) méthodes ci - après pour les ouvrages transversaux :

- ❖ La méthode ORSTOM,
- ❖ La méthode CIEH
- ❖ La méthode rationnelle.

Pour l'évaluation des débits de projet, nous allons prendre la méthode superficielle de Caquot pour les ouvrages longitudinaux.

1) La Méthode d'ORSTHOM

La méthode ORSTOM a été mise au point par AUVRAY & RODIER en 1965 [4].

Elle est appliquée aux bassins qui ont une superficie située entre quelques dizaines d'hectares (250 ha) et jusqu'à 1500 km² dans la zone tropicale sèche.

Dans cette méthode ORSTOM, le débit de pointe correspondant au ruissellement de la crue décennale (provoquée par la pluie décennale), est défini par la relation suivante :

$$Q_{10} = \frac{A \times P_{10} \times Kr_{10} \times \alpha_{10} \times S}{Tb_{10} \times 360}$$

Avec : Q_{10} : Débit de ruissellement période de retour 10 ans

A : le coefficient d'abattement

P_{10} : la hauteur de pluie journalière décennale

Kr_{10} : le coefficient de ruissellement correspondant à la crue décennale

α_{10} : le coefficient de pointe correspondant à la crue décennale

S : la surface du bassin versant en km^2

Tb_{10} : le temps de base correspondant à la crue décennale

❖ **Le coefficient d'abattement (A)**

La précipitation moyenne P_{m10} observée sur un bassin versant est obtenue grâce au coefficient d'abattement A , donné par l'équation de Villaume (1974) suivant :

$$A = 1 - \left[\left(\frac{161 - 0,042 \times P_{an}}{1000} \right) \times \log S \right]$$

Avec P_{an} : la précipitation moyenne annuelle

❖ **Le coefficient de ruissellement Kr_{10}**

Elle est déterminée par interpolation entre les valeurs du Kr_{70} et Kr_{100} .

Étant donné que notre bassin versant à des sections différentes les unes des autres, nous allons utiliser la méthode graphique. Celle-ci en fonction de la superficie et la catégorie de chaque bassin versant et de leur indice globale des pentes (I_g) présenté en **Annexe III**.

Les cinq (5) catégories sont :

- PI : bassin naturel particulièrement imperméable ;
- I : bassin imperméable ;
- RI : bassin relativement imperméable ;

- P : bassin perméable ;
- TP : bassin très perméable.

Dans notre cas, nous avons des bassins du type RI (bassin relativement imperméable).

❖ **Le temps de basse** Tb_{10}

C'est le temps compris entre le début et la fin du ruissellement le plus rapide. Dans la région sahélienne, Il est calculé à partir de la formule suivante :

$$Tb_{10} = a \times S^{0.36} + b$$

Les paramètres « a et b » varient en fonction de l'indice globale de pente :

$$I_g = 3 \qquad Tb_{10} = 325 \times S^{0.36} + 315$$

$$I_g = 7 \qquad Tb_{10} = 163 \times S^{0.36} + 142$$

$$I_g = 15 \qquad Tb_{10} = 75 \times S^{0.36} + 55$$

$$I_g = 30 \qquad Tb_{10} = 35 \times S^{0.36} + 20$$

Les indices globaux de nos bassins ne figurant pas dans le tableau de détermination du coefficient Tb_{10} , Nous avons procédé par interpolation afin de déterminer les valeurs.

2) Méthode du CIEH (Puech et Chabi Goni)

Cette méthode a été mise en place sur la base de 162 bassins (<2500 km²) dans les pays d'Afrique francophone (Pan < 2000 mm)

En tenant compte des caractéristiques du bassin et de son emplacement, l'équation de débit décennal envisageable est celle qui s'appuie sur trois variables caractéristiques du débit :

$$Q_{10} = 0.254 \times S^{0.462} \times I_g^{0.101} \times Kr_{10}^{0.976}$$

Avec Q_{10} : Débit de crue de période de retour 10 ans

S : la surface du bassin versant en km²

I_g : l'indice de pente globale (m/km)

Kr_{10} : le coefficient de ruissellement correspondant à la crue décennale

Les débits calculés ont été majorés de 10% pour tenir compte des paramètres comme le changement climatique, etc... ce qui va nous permettre de prendre plus de sécurité.

3) Méthode Rationnelle

C'est la méthode la plus utilisée. Elle est donnée par la formule suivant :

$$Q_{r10} = \frac{C \times i_p \times S}{360}$$

Avec : Q_{10} : Débit de période de retour 10 ans (m3/s) ;

C : Coefficient de ruissellement C ;

S : étant la surface du bassin versant (en ha) ;

i_p = Intensité de précipitation (en mm/h) avec $i_p = a * t_c^{-b}$ avec $a = 7,5$ et $b = 0,5$

- ❖ Temps concentration T_c : C'est le temps d'écoulement à travers le bassin versant, de la goutte d'eau tombée le plus en amont sur le bassin versant. Il est donné par la formule de KIRPICH :

$$t_c = \frac{1}{52} \times \frac{L^{0.77}}{P^{0.38}}$$

- ❖ Intensité : l'intensité des pluies est calculée à partir de la formule de Montana. Les paramètres « a et b » ont été pris comme indiqués sur le tableau ci-dessous, pour une période de retour de 10 ans

Période de retour	1 an	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans
Zone sahélo-soudanienne (b = 0,5)					
- valeur de a	5,4	6,0	6,9	7,5	8,2
- coefficient de correction	0,72	0,80	0,92	1,00	1,08
Sénégal (b = 0,5)					
- valeur de a	6	6,75	7,6	8,5	9,1
- coefficient de correction	0,71	0,80	0,90	1,00	1,07
Zone côtière : Axim-Abidjan (b = 0,4)					
- valeur de a	5,6	6,7	8,9	10	12,6
- coefficient de correction	0,56	0,67	0,89	1,00	1,26
Zone côtière : Accra (b = 0,4)					
- valeur de a	4,6	5,3	6,8	8,5	9,2
- coefficient de correction	0,54	0,62	0,80	1,00	1,08
Zone forestière : Kumasi (b = 0,5)					
- valeur de a	7	8,9	11	12,7	14,3
- coefficient de correction	0,55	0,70	0,87	1,00	1,13

Figure 4: Les paramètres de Montana

4) Méthode Caquot

Le tronçon de notre route parcourt des zones urbaines comme par exemple, les localités de Zabré et Zoaga dans la commune de Boulgou. Pour cela, nous allons mettre en place un réseau d'assainissement comme des caniveaux rectangulaires ouverts, évacuant les eaux de ruissellement. Le débit transitant dans ces ouvrages est calculé avec la formule suivante :

$$Q = 850 \times J^{0.2} \times C^{1.11} \times A^{0.8}$$

Q : le débit décennal en m³ ;

J : la pente des caniveaux m/m ;

C : le coefficient de ruissellement ;

A : la superficie des bassins versants en ha ;

Les débits seront majorés de 20% pour tenir compte des impacts des changements climatiques.

3. Etude Hydraulique

a. Ouvrages d'assainissement

Le dimensionnement des ouvrages d'assainissement (les caniveaux) a été fait à l'aide de la formule de MANNING-STRICKLER notamment par la méthode de la débitance :

$$\frac{Q}{\sqrt{I}} = D = K_s \times S \times R_H^{2/3}$$

$$Q = V \times S \quad \text{avec} \quad V = K \times R_H^{2/3} \times I^{0.5}$$

Q : débit (en m³/s)

V : vitesse (en m/s)

K : coefficient de Manning - Strickler

Rh : rayon hydraulique définit par $R_h = S/P$

$S = b \times y$: Section mouillée,

$P = b + 2y$: Périmètre mouillé

i : pente longitudinale du fossé

Le coefficient K prend les valeurs suivantes : K = 67 pour un fossé en béton.

b. Ouvrage de franchissement

Sur le tronçon qui fait l'objet de notre étude, nous avons recensé plusieurs passages d'eau ou nous devons impérativement mettre des ouvrages de franchissements. Ces ouvrages de franchissements sont des dalots. Ainsi nous avons vérifié que ces ouvrages fonctionnent bien hydrauliquement pour décider les changer ou les garder. Nous allons prendre des dalots cadres dans lesquelles, les dalles, les piédroits et le radier forment une structure rigide en béton armé. Le type de fonctionnement pour ces dalots est en sortie dénoyée (écoulement libre).

❖ Hypothèses de calcul

Débit du projet : Q_{10}

Vitesse admissible $V_{max} = 3 \text{ m}^3/\text{s}$

❖ Vérification en sortie libre

Vérification de H1 ($H1 \leq 1,25H$) avec $H=D$

Le débit : $q = \frac{Q}{n}$

Avec n = nombre d'ouverture

Section minimale théorique : $S = \frac{q}{V_{max}}$

❖ Calcul du débit réduit : $Q^* = \frac{q}{s \times \sqrt{2gH}}$

La courbe A de la fig. 77 du document BCEOM permet de lire la valeur de la hauteur réduite.

❖ Calcul de la pente critique I_c

$$Q^* = \frac{q}{\sqrt{gB^5}}$$

L'abaque figure 82 en annexe donne la valeur de la pente critique.

❖ Vitesse réelle d'écoulement

$$V^* = \frac{V}{KI^{\frac{1}{2}}B^{\frac{2}{3}}}$$

L'abaque figure 84, donne la valeur de la vitesse réduite avant de comparer à la vitesse admissible.

❖ Calcul de la revanche

Elle est destinée à constituer une sécurité contre les déversements de l'eau par-dessus le remblai, par suite des vagues formées par le vent ou d'une forte précipitation.

La formule de LACEY nous donne la formule de revanche suivante :

$$r = 0.2 + \left(0.15 \times Q^{\frac{1}{3}}\right)$$

DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL DES OUVRAGES

Dans cette partie, nous allons nous consacrer au calcul des armatures des différents ouvrages pré-dimensionner ci-dessus.

1. Les données de base

➤ Normes de calcul

Les normes utilisées pour le dimensionnement seront tirées du BAEL 91 révisé 99 le Fascicule 61 Titre 2 [5] et pour les calculs de béton armé et du ferrailage de notre structure.

➤ Béton

Poids volumique : 25 kN/m^3

Dosage : 350 kg/m^3 de CPA 45

Résistance à la compression à 28 jours : $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$

Résistance à la traction à 28 jours : $f_{t28} = 0,6 + 0,06f_{c28} = 2,1 \text{ MPa}$

Contrainte limite du béton comprimé à l'ELS : $\sigma_{bc} = 0,6 \times f_{c28} = 15 \text{ MPa}$

Coefficient de sécurité : $\gamma_b = 1,50$

Résistance de calcul du béton en compression à l'ELU : $f_{bu} = 0,85 \times \frac{f_{c28}}{\gamma_b} = 14,17 \text{ MPa}$

➤ Acier

Acier à haute adhérence (HA) de nuance FeE400

Limite d'élasticité : $f_e = 400 \text{ MPa}$

Coefficient de sécurité : $\gamma_s = 1,15$

Coefficient d'adhérence : $\eta = 1,6$

Contrainte limite des aciers à l'ELS, avec une fissuration préjudiciable :

$$\sigma_s = \min\left(\frac{2}{3}f_e; 110\sqrt{\eta \times f_{t28}}\right) = 201,63 \text{ MPa}$$

Contrainte limite de l'acier à l'ELU : $\sigma_{st} = \frac{f_e}{\gamma_s} = 348 \text{ MPa}$

➤ Remblais

Le poids volumique du remblai considéré est de 20 kg/m^3

Angle de frottement interne est de 32°

Le coefficient de poussée des terres sera pris égal à $k_a = tg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{32}{2}\right) = 0,31$

Surcharges de remblai $i = 10 \text{ kg/m}^2$

2. Dimensionnement structural des caniveaux

Pour le dimensionnement des caniveaux, les calculs sont faits sur une bande de 1 mètre linéaire de longueur de caniveaux, les sections d'aciers obtenus sont les suivants :

On va considérer qu'on a une fissuration peu préjudiciable (FPP).

Cas 1 : Caniveau 1,50x1,50 m²

➤ Les dimensions géométriques

Épaisseur du voile et du radier : 15 Cm

Épaisseur de la dalette : 20 Cm

Portée de la dalette : 1,65 m

Hauteur libre du canal : 1,50 m

Ouverture du canal : 1,50 m

Largeur totale du canal : 1,80 m

Cas 1 : Caniveau 1,00x1,20 m²

➤ **Les dimensions géométriques**

Épaisseur du voile et du radier : 15 Cm

Épaisseur de la dalette : 20 Cm

Portée de la dalette : 1,35 m

Hauteur libre du canal : 1,20 m

Ouverture du canal : 1,00 m

Largeur totale du canal : 1,30 m

Cas 3 : Caniveau 0,60x0,60 m²

➤ **Les dimensions géométriques**

Épaisseur du voile et du radier : 15 Cm

Épaisseur de la dalette : 20 Cm

Portée de la dalette : 0,95 m

Hauteur libre du canal : 0,80 m

Ouverture du canal : 0,80 m

Largeur totale du canal : 1,10

3. Dimensionnement structural des dalots

Dalots de type 3 × 2,50 × 2,50 m²

➤ **Les dimensions géométriques**

Épaisseur du Tablier : 30 cm

Épaisseur du Radier : 30 cm

Hauteur du dalot : 250 cm

Largeur du dalot : 250 cm

Épaisseur du Piédroit : 20 cm

Largeur roulant : 7

C. RESULTATS OBTENUS ET DISCUSSIONS

I. APERÇU DES RESULTATS DE LA PRECEDENTE ETUDE (2016)

Partant sur la base d'une pluviométrie annuelle journalière donnée dans le tableau ci-dessous afin de calculer les paramètres hydrologiques.

Tableau 5: Pluviométrie de l'étude technique de 2016

Station de référence	Pluie moyenne (mm)	Pluie journalière décennale
	Valeurs obtenues par les données météo	Valeurs obtenues par ajustement statistique des données météo
ZABRÉ	900	105,84 mm

Après investigation, 10 bassins versants ont été identifiés et le débit calculé dans chaque bassin a permis de calculer le débit de dimensionnement des ouvrages hydrauliques. Au total 10 ouvrages hydrauliques vont être construit dont 8 dalots et 2 buses (dans la suite de note étude, nous allons faire une comparaison entre le choix des ouvrages fait en 2016 et le choix fait avec la nouvelle analyse et prendre la meilleure option pour la suite du projet.

Les études géotechniques fait par le LNBTP n'ont pas montré une grande différence avec celle réalisée à nouveau (un sondage fait tous les 1 km sur la voie afin de déterminer la nature et les caractéristiques du sol, et les prélèvements faites au niveau des emprunts) dans le cadre de cette étude avec les mêmes couches pour les choix de la structure de la chaussée. Le Choix s'est porté sur du grave latéritique pour la couche de fondation, du grave latéritique amélioré au concassé pour la couche de base et du béton bitumineux pour le revêtement.

Les dimensions de la route retenus pour l'étude géométriques sont de 2x3,50 m pour la chaussée et 2x1,50 m pour les accotements.

Concernant l'assainissement, les études faites en 2016 ont conduit au choix d'un caniveau de 80x80 cm² le long de la voie. Ces caniveaux vont être réalisé en béton armé.

II. ETUDE GEOTECHNIQUE

1. Classe des sols de plate-forme

La campagne de reconnaissance menée par le LNBTP le long du tracé montre une constitution du sol de matériaux essentiellement en grave argileuse latéritique.

Pour classer les sols en différentes classes, il existe plusieurs classifications dont :

➤ La classification française LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) qui caractérise la nature des matériaux en fonction de la granulométrie et la plasticité ;
Pour ce projet, nous allons utiliser la classification américaine ou A.A.S.H.O. qui est fréquemment utilisée et qui se base sur l'analyse granulométrique et les limites d'Atterberg.

Tableau 6: Classe des sols de la Plateforme

Sondage	Analyse Granulométrique						Limites D'Atterberg		Proctor Modifié		Portance CBR	Type de Sol
	0,063 mm	0,5 mm	2,0 mm	5,0 mm	10,0 mm	D	W_L	I_p	OPM			
	19	28	34	38	41				ω_{OPM} (%)	γ_a_{OPM} (t/m ³)		
S1	29	67	95	99	100	8	34	16	7,8	1,92	9	S2
S2	12,5	19,5	27	55	86,5	31,5	31	15				
S3	43,5	73,5	94	99	100	8	40	19	9	1,89	6	S2
S4	28	66	82	94	99	12,5	29	14				
S5	13	24	30	42,5	69,5	25	26	13	7,4	2,12	39	S5
S6	16,5	24,5	37	79	98,5	12,5	31	16				
S7	15	24,5	32	59,5	91	20	32	14	7,7	2,16	96	S5
S8	61	92,5	96	97,5	98,5	25	43	23				
S9	30	44	53	72,5	94	16	44	23	10,6	1,91	7	S2
S10	47	76,5	95	97,5	99	16	29	14	9,8	1,95	4	S1

L'épaisseur de la couche résiduelle en place varie entre 0 et 40 cm. Sous la couche de roulement, on rencontre du graveleux latéritique et de l'argile de portance variable allant de S1 à S5.

2. Recherche de matériaux de viabilité

La reconnaissance des emprunts pour matériaux de corps de chaussée a été d'abord faite de façon visuelle puis confirmée par les sondages. Dix-huit (18) emprunts de graveleux latéritiques ont été identifiés.

Tableau 7: Résultat d'analyse des matériaux des différents emprunts

Sondage	Analyse Granulométrique						Limites D'Atterberg		Proctor Modifié		Portance CBR	
	0,063 mm	0,500 mm	2,00 mm	5,00 mm	10,00 mm	D	W_L	I_p	ω OPM (%)	γ_d OPM (t/m^3)	95%	98%
1	10	19	29,5	59,5	82	40	24	10	6,8	2,13	56	96
2	12	23	33,5	59	88	25	25	12	7,5	2,03	50	86
3	10,5	22	30,5	52	86	25	31	15	9,4	2,1	32	48
4	15,5	26	37	65,5	82,5	31,5	28	13	7,4	2,14	32	60
5	13	23,5	33,5	59,5	80	63	27	13	7,4	2,15	64	114
6	12,5	19,5	27	58	86,5	20	31	14	7,6	2,17	38	60
7	10	20,5	30	56,5	83	25	29	14	6,9	2,11	72	104
8	10,5	21	29	56,5	78	31,5	25	12	7	2,14	42	70
9	11	20	30,5	57	79,5	25	25	12	7,4	2,15	36	54
10	8,5	19	28	63	91	25	22	12	7,1	2,14	50	78
11	17	26	40,5	62	87	25	36	18	9,4	2,02	44	64
12	7	12,5	17	35	62,5	31,5	25	13	8	2,13	52	86
13	13	22	29,5	46	76	98	16	13	6,6	2,11	34	54
14	11	22	31	55	84	40	27	13	7,3	2,09	46	80
15	7	14	21,5	34,5	65	31,5	24	13	6,8	2,11	92	130
16	13	29,5	39	55	77,5	40	23	12	7,3	2,06	43	62
17	11	21,5	31,5	46,5	72	20	24	16	8,2	2,05	64	104
18	14,5	26	44	76	98	12,5	28	14	7,4	2,14	82	116

Sur les 18 sondages réalisés, 9 emprunts (1, 2, 5, 7, 12, 14, 15, 17, 18) ont des caractéristiques géotechniques satisfaisantes pour la couche de base et les 9 autres (3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 16) répondent aux caractéristiques pour une couche de fondation et de forme.

Afin de faciliter la mise en œuvre des différentes couches d'assise de la chaussée et en tenant de la continuité de la route, nous assimilerons les diverses classes de portance à la classe de portance S5 pour le dimensionnement de notre chaussée.

Ce qui veut dire que nous allons faire une purge des sols de types S1 et S2 ; et les remplacer avec les matériaux trouvés au niveau des emprunts qui sont de types S5 (CBR > 30). [1]

Tableau 8: Classe des Portance du sol en Fonction du CBR

Classe de Portance	Valeur du CBR	Observation
S_1	$CBR < 5$	Portance Très Faible
S_2	$5 < CBR < 10$	Portance Faible
S_3	$10 < CBR < 15$	Portance Moyenne
S_4	$15 < CBR < 30$	Portance Bonne
S_5	$CBR > 30$	Portance Très Bonne

3. Recherche des roches et de sable pour le revêtement et le béton hydraulique

Pour confirmer la qualité, des essais ont été effectués sur des échantillons des granulats pris sur des sites dans la région. Les essais de qualité réalisés sont :

- L'essai du Los Angeles ;
- L'essai du Micro Deval humide.

Les granulats doivent venir de roches saines, dures, non polluées et doivent avoir de bonnes formes. Pour le revêtement, les granulats doivent avoir une adhésivité suffisante au bitume.

Tableau 9: Essais pour les sites de granulats

NATURE	Lieu de Prélèvement	Passant à 31,5 mm	Passant à 25 mm	Passant à 14 mm	Passant à 5 mm	Passant à 2 mm	Propriété	Aplat	Los Angeles
Quartz tout venant	30P 0766107	78,50	68,00	17,50	0,50	0,50	0,05	5,14	37,00
	UTM1225310								
	(30P0766169 UTM1225498)	94,00	53,00	6,00	1,00	0,50	0,02	10,20	26,00

Tableau 10: Les Passants de l'essais sur les granulats

NATURE	Coordonnées GPS	Localités	Passant à 25 mm	Passant à 14 mm	Passant à 5 mm
Bloc granite concassé	30P 0761751		10/14	41,00	18,00
	UTM1220298	Pk 91+600	6,3/10	42,00	22,00

Tableau 11: Essais pour les sites de Sable

Lieu de Prélèvement	0,08 mm	0,16 mm	0,315 mm	0,63 mm	1,25 mm	2,50 mm	5,00 mm	Module de finesse	ES Piston
Zaogo 30P0761751 UTM1220298	1,50	2,00	6,00	32,00	66,00	83,50	95,00	3,17	93,00
(30P0754317 UTM1227907)	2,50	3,00	12,00	36,50	69,50	85,00	92,00	3,10	83,00

Les deux sites de sables naturels prospectés et identifiés ci-dessus ont des caractéristiques satisfaisantes pour fabriquer du béton hydraulique. Quant aux sites de roches massifs, les résultats ne sont pas bons. C'est pour ça qu'il est prévu des essais carottés en profondeur pour des essais de Los Angeles et de Micro Deval. Les détails des essais sont dans l'**Annexe I**.

La structure de la chaussée proposée :

- Revêtement en béton bitumineux (BB) : 5 cm ;
- Couche de base : 15 cm de graveleux latéritique naturel amélioré au concassé ;
- Couche de fondation : 20 cm de graveleux latéritique naturel.

4. Prédimensionnement et choix de la structure avec la méthode CEBTP.

Afin que la voie puisse supporter le trafic routier, nous allons considérer pour cette route une chaussée semi-rigide. Une chaussée semi-rigide par définition est une chaussée avec une couche de surface en béton bitumineux reposant sur une couche de base en matériaux stabilisés aux liants hydrauliques et d'une couche de fondation granulaire. Les paramètres d'entrée sont :

❖ **Le sol support :**

Grace aux résultats des investigations géotechniques, nous retenons un sol support de classe S5 (CBR > 30), (CBR à 95% de l'OPM) avec une substitution des sols de portance S1, S2 par des sols de portance S5 sur une épaisseur minimale de 0,40 m sous la couche de roulement.

❖ **Le trafic :** La projection du trafic à l'horizon 20 ans donne un trafic de classe T2.

Tableau 12: Abaque pour le choix des épaisseurs des couches de chaussée du CEBTP

TRAFICS T1 - T2		S1		S2		S3		S4		S5	
		T1		T1		T1		T1		T1	
			T2								
REVETEMENT		Bc ou 3E		Bc ou 3E		Bc ou 3E		Bc ou 3E		Bc ou 3E	
			4E ou Tc								
B	Graveleux Latéritique naturel	15		15		15		15		25	
			15		15		15		15		25
F	Graveleux Latéritique naturel	45		35		25		15		0	
			45		35		30		20		0
B	Graveleux Latéritique ou grave naturelle, amélioré au ciment	15		15		15		15		20	
			15		15		15		15		20
F	Graveleux Latéritique naturel ou grave naturel O/D	40		30		25		15		0	
			45		35		25		20		0
B	Concassé o/d	15		15		15		15		20	
			15		15		15		15		20
F	Graveleux latéritique ou grave naturelle O/D ou Concassé o/d	45		30		25		15		0	
			45		35		25		20		0
B	Concassé o/d	50		30		25		25		20	
			55		35		30		30		20
B	Graveleux latéritique ou grave naturelle O/D ou Concassé o/d**	20		20		20		20		25	
			20		20		20		20		25
F	Sable argileux	40		30		25		15		0	
			40		30		25		20		0
B	Sable Argileux amélioré au ciment *	15		15		15		15		15	
			20		20		20		20		20
F	Sable Argileux	40		30		20		15		10	
			45		35		25		20		15

*** : 15 cm au lieu de 20 cm ; 20 cm au lieu de 25 cm ; si on utilise du concassé o/d

Source : « Guide de dimensionnement de chaussées pour les pays tropicaux »

Légendes

*: structures demandant des précautions particulières d'étude et de mise en œuvre

Bc : bicouche ; Tc : tri couche ; B = base

3E : enrobé 3cm ; 4E : enrobé 4cm ; F= fondation

❖ Détermination des variantes

Afin de choisir la structure adéquate pour notre route, nous avons plusieurs propositions de structure de la chaussée et donc nous pouvons proposer les variantes de chaussées suivantes :

Variante 1 : utilisation des matériaux naturels des emprunts

Fondation	Base	Revêtement
Concassé o/d Epaisseur = 20 cm, CBR à 95% = 32 et les passant 0/25	Grave naturelle Epaisseur = 20 cm CBR à 95% = 80 et 0/14	4E ou Tc

Variante 2 : utilisation des matériaux naturels des emprunts

Fondation	Base	Revêtement
Concassé o/d Epaisseur = 20 cm CBR à 95% =32 et les passant 0/25	Graveleux latéritique naturel Epaisseur = 25 cm CBR à 95% = 80 et 0/14	4E ou Tc

Variante 3 : utilisation des matériaux de l'abaque CEBTP

Fondation	Base	Revêtement
Concassé o/d Epaisseur = 20 cm CBR à 95% = 32 et les passant 0/25	Graveleux Latéritique ou grave naturelle, amélioré au ciment Epaisseur = 20 cm CBR à 95% = 80 et 0/14	4E ou Tc

Variante 4 : utilisation des matériaux de disponible sur place

Fondation	Base	Revêtement
Graveleux Latéritique naturel Epaisseur = 20 cm CBR à 95% = 32 et les passant 0/25	Graveleux Latéritique amélioré au concassé, Epaisseur = 15 cm CBR à 95% = 80 et 0/14	5 BB

La variante 4 est retenue, compte tenu de la disponibilité des matériaux dans la région.

Les recommandations du CEBTP nous imposent une couche de base ayant une valeur minimale de CBR = 80,

5. Vérification du dimensionnement par le logiciel ALIZE-LCPC

La vérification avec le logiciel Alizé LCPC permet l'optimisation de la structure et nous assure que la chaussée a une capacité suffisante pour supporter le trafic poids lourd (PL). Dans le cadre de notre étude, nous utiliserons les relations du guide de dimensionnement pour passer du CBR au module de déformations pour les graveleux latéritiques naturels ou traités au concassé.

Plusieurs hypothèses sont à considérer parmi ces hypothèses nous pouvons citer :

- ❖ La couche de base : graveleux latéritique amélioré au concassé avec le CBR ci-dessous.
- ❖ La température équivalente : nous prendrons une température équivalente de 30°C, vu que le projet sera réalisé au Burkina-Faso ;
- ❖ Matériaux bitumineux : CAM = 0,8 ;
- ❖ Matériaux traités naturels : CAM = 1.

D'après le guide CEBTP, la nature des interfaces pour la structure des chaussées est la suivante :

Type d'interface	Nature d'interface
BB / GNT ou GL ou GB ou EME	collée
BB / GLc ou GC ou SC ou BQc	collée
Base / Fondation des structures souples et bitumineuses	collée
Base / Fondation des structures semi-rigides	semi-collée
BC5 / BC2	glissante
Fondation / Support	collée

Figure 5: La nature des interfaces entre les couches

❖ Recherche des modules des couches de la chaussée

Nous allons utiliser ALIZE pour modéliser les différentes couches avec la relation $E = f(\text{CBR})$. Le CBR n'étant pas un paramètre intrinsèque, il n'existe pas de corrélation unique avec le module E . A défaut d'étude spécifique sur les matériaux, on retiendra la relation $E \text{ (MPa)} = 5 \text{ CBR}$.

Le module de la couche de fondation est déduit du module de la plateforme par la loi : $E_1 = E_0 \times k$, avec $k = 2$ à 3 et E_0 , le module de la plateforme.

- Classe de portance de la plateforme

Le choix de la classe de portance est fait suivant le module E :

$$E = 5 \times \text{CBR avec CBR à 95\% de l'OPM} = 23$$

$$E = 5 \times 32 = 160 \text{ MPa}$$

Tableau 13: Classe de portance de la plateforme en fonction du module E

Classes	PF1	PF2	PF3	PF4
Limites (MPa)	20	50	120	200

Cette valeur se trouve entre 120 et 200 MPa donc notre plateforme est de classe PF3

Pour les matériaux des autres couches, nous allons nous référer au guide de dimensionnement CEBTP

Caractéristiques	Notations	GNT concassée
Module (MPa) de la GNT en couche de base	E	600 MPa
Module (MPa) de la GNT en couche de fondation	E	3 x module de la couche sous-jacente, par couche de 25 cm maximum, plafonné à 600 MPa en structure GNT/GNT, 360 MPa en structure GNT/GB
Coefficient de Poisson	ν	0.35

Figure 6: Module des couches pour les matériaux naturels

Les modules des autres couches sont les suivants :

Structure de la chaussée	Module de Young en MPa Avec $E = 5 \times \text{CBR}$	Module de Young de la couche en MPa
Couche de base	$5 \times 80 = 400$	400
Couche de fondation	$5 \times 32 = 160$	$160 \times 1,9 = 304$
Plateforme	160	160

NB : Pour la vérification, nous allons considérer les matériaux naturels car le logiciel Alizé ne dispose pas dans sa bibliothèque de la Litho-stabilisée. Ainsi, lorsque les contraintes sont vérifiées, alors les matériaux du terrain seront adaptés car elles possèdent des modules plus grands.

Après vérification sur le logiciel alizé nous avons retenu la solution suivante avec les détails de la note de calcul jointe en **Annexe I** :

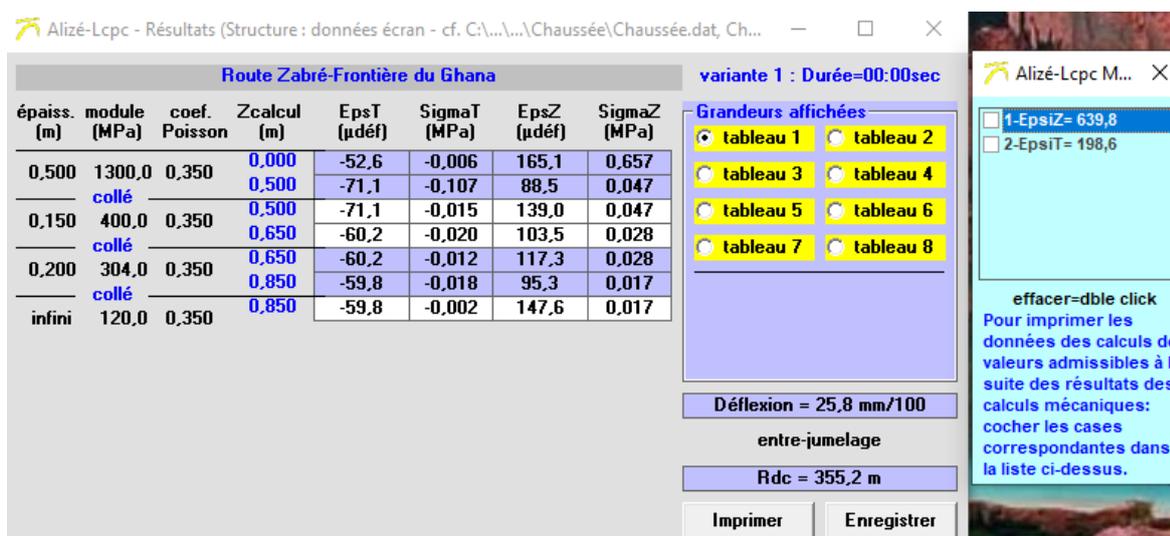


Figure 7: Résultat de la vérification avec Alizé

CONCEPTION GEOMETRIQUE DE LA ROUTE

La conception géométrique de la route est la représentation linéaire de la voie avec les épaisseurs (remblai et déblai) et de sa trajectoire avec les angles de déviation pris en compte. Elle comprend le tracé en plan, le tracé du profil en long et du profil en travers.

1. Tracé en Plan

Dans cette partie de notre tracé routier, nous avons établi l'axe de la route en tenant compte des spécifications de la norme. Ceci dans le but de ne pas augmenter les limites de débroussement.

Le tracé en plan est constitué de 4831,1 m d'alignement droit sur 10 km du tronçon de route, soit un total d'environ 48 %. La longueur maximale, sur l'ensemble du projet, est de 761,4 m et la longueur minimale 31 m. Le listing de l'axe en plan est présenté dans l'**Annexe II**.

2. Profil en Long

Le profil en long et le tracé en plan sont réalisés de façon coordonnée pour que les usagers ne soient pas dérangés par le tracé. Notre approche vise à minimiser les déblais et les remblais en ajustant le tracé en fonction des caractéristiques topographiques. Et pour ce faire, nous allons placer les ouvrages avant tout pour avoir une bonne précision quant à son placement.

Les tracés combinés sont présentés en **Annexe VI**.

3. Le profil en travers

Pour le profil en travers, nous allons avoir une chaussée de 2x1 voies de 7 m dont 3,5 m/voie avec une largeur des accotements de 1,50 m. La chaussée sera réalisée en béton bitumineux sur une largeur totale de 11 m. La pente transversale du revêtement est de 2,5% et celle des accotements de 4%.

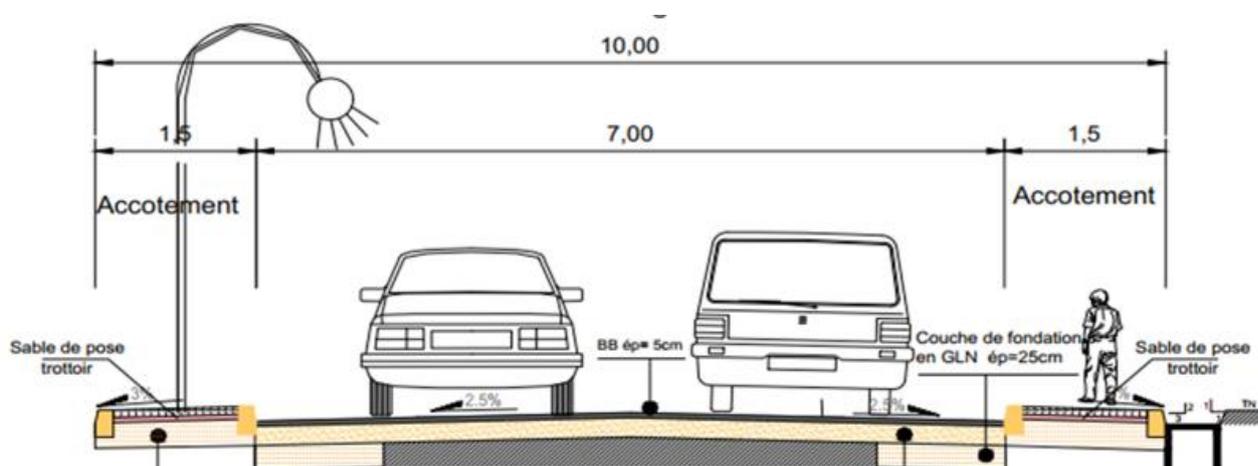


Figure 8: Extrait du profil en travers type de la route en agglomération

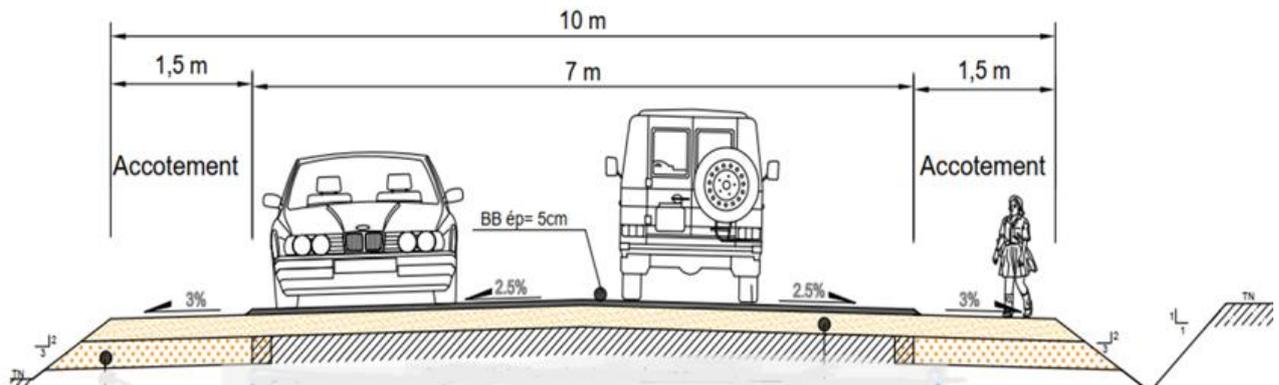


Figure 9: Extrait du profil en travers type de la route en rase compagne

Les résultats après affectation sur le profil en long, nous donnent la figure en **Annexe IV**.

4. Aménagement routier

a. Signalisation

La signalisation routière est l'ensemble des signaux implantés sur le domaine routier. Elle joue un rôle très important dans la sécurité et l'exploitation des infrastructures.

La visibilité, la lisibilité, l'uniformité, l'homogénéité, la simplicité, la continuité des directions signalées, la cohérence avec les règles de circulation et avec la géométrie de la route constituent les grands principes de la signalisation. Suivant la position par rapport à la surface de la chaussée, on distingue deux types de signalisation : horizontale (constituée des marquages au sol) et verticale (qui comprend les panneaux, les balises, les bornes).

1) Signalisation horizontale

La signalisation horizontale est l'ensemble des marquages peints sur la chaussée qui indique aux usagers le comportement à adopter à ces endroits. La couleur blanche est utilisée pour les marquages.

Le type de marquage qui sera utilisé sur ce tronçon est : « Passages pour piétons, les lignes longitudinales, axiales ou de délimitation des voies (des traits discontinus) ».

❖ La largeur des marquages

La largeur des marques est définie suivant la largeur unité « U » différente suivant la catégorie de la voie :

- $U = 7,5$ cm pour autoroutes et voies rapides urbaines ;
- $U = 6,0$ cm pour les routes nationales et voies urbaines assimilables ;
- $U = 5,0$ cm pour toutes les autres routes ;

Ainsi, pour ce présent projet, nous allons utiliser $U = 6,0$ cm.

2) Signalisation verticale

La signalisation verticale d'une route est l'ensemble des panneaux placés à des endroits bien définis de la route.

Dans le présent projet, les panneaux de signalisation verticale seront de types suivants :

- Panneaux de danger de type A, (Triangulaires) : utilisés pour avertir les conductions d'un danger potentiel sur la route comme : la présence des animaux, un ouvrage, ...

Dans notre cas, nous allons placer le panneau :

A1a pour les virages dangereux à droite ;

A1b pour les virages dangereux à gauche ;

A13a pour les endroits fréquentés par des enfants (les écoles)

- Panneaux de danger de type B, (Circulaire) : utilisés pour avertir les conductions d'un certain nombre d'obligation, passage pour piétons, zone de stationnement.

Dans notre cas, nous allons placer le panneau :

B14 pour les limitations de vitesse à l'entrée d'un endroit fréquenté ;

B33 pour la fin de la limitation de vitesse à la sortie d'un endroit fréquenté.

- Panneaux de prescription de type C (Circulaires ou carrés) utilisés pour fournir des informations directionnelles, des indications de distance, des noms de lieux, des services disponibles, etc. Ils seront utilisés pour indiquer la présence des hôpitaux, des écoles des marchés publics et des stations de service.

Les panneaux doivent être légèrement tournés vers l'extérieur de la route pour éviter les phénomènes d'éblouissement (angle de 10°). Les panneaux seront choisis dans la petite gamme (700 mm de côté pour le type A et 650 mm de diamètre pour le type B, C et D). Le bord du panneau doit être à 0,50 mètre au moins de la bordure du trottoir ou accotement et le bord inférieur du panneau doit être de 2,00 à 2,30 m au-dessus du niveau du sol.

Les dimensions et marquages seront conformes aux normes utilisées au Burkina Faso.

b. L'éclairage public

L'étude de l'éclairage public a pour but d'analyser la réalisation d'un bon éclairage des voies et la disposition des accessoires indispensables à cet effet. Les nouvelles installations d'éclairage public au niveau des routes nationales sous maîtrise d'ouvrage de l'État doivent respecter le code de l'environnement du pays.

Les installations d'éclairage à mettre en place vont être au niveau de la ville, des endroits fréquentés par un grand nombre de personnes afin d'éviter les accidents. Sa mise en place va se faire de sorte à remédier à la faible visibilité des voies la nuit, réduire les risques d'accidents de circulation et à valoriser les espaces publics.

Le réseau d'éclairage public à construire comportera le réseau d'éclairage qui sera réalisé tous les 6 à 15 m équipés de luminaires type LED. Et des canalisations enterrées en câble cuivre pour l'alimentation des luminaires,

ÉTUDE HYDROLOGIQUE

1. Délimitation de Bassin versant

Afin d'assurer la durabilité de notre ouvrage, il faut évacuer les eaux de ruissèlement. Pour ce faire, il faut déterminer la quantité d'eau qui arrive vers l'ouvrage et les bassins qui les abritent.

Les bassins versants sont des éléments importants pour drainer la totalité de la surface topographique couverts par un cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section. La délimitation des bassins versants a été faite sur la base d'une carte topographique de la zone. Le résultat de l'étude fait avec le logiciel QGIS, nous donne dix (10) bassins présentés ci-dessous.

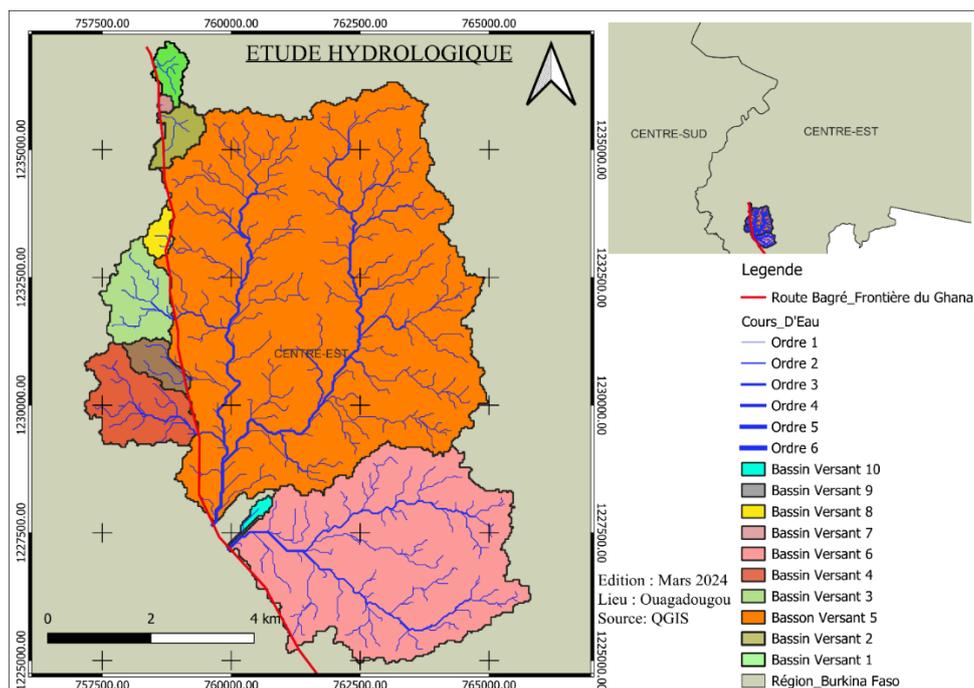


Figure 10: Les différents bassins versants

Tableau 14: Caractéristiques des Bassins Versants

N°	Surface (km ²)	Périmètre (km)	Longueur (km)	Pente Zmin (m)	Pente Zmax (m)	Pente Moyenne
BV_1	0,54	4,58	2,01	252	271	259,6
BV_2	0,81	5,56	1,99	260	274	267,3
BV_3	2,01	8,3	5,74	247	268	253,5
BV_4	2,74	10,49	9,47	234	265	248,2
BV_5	45,17	44,01	145,49	230	288	255,3
BV_6	16,36	26,19	48,97	229	287	259,7
BV_7	0,09	1,34	0,58	257	269	263,1
BV_8	0,37	3,48	1,23	258	270	263,4
BV_9	0,76	5,31	2,94	243	265	256,9
BV_10	0,15	2,75	1,18	229	243	238,8

2 Estimation des débits

En appliquant les formules données précédemment, nous pouvons estimer les débits d'eau dans les différents bassins. Ainsi, nous avons les résultats suivants :

Tableau 15: Résultat du calcul des débits

N° Bassin	Rectangle équivalent		Altitude			Dénivelée	Méthode Orstom	Méthode CIEH	Méthode rationnelle
	S	Longueur Équivalente	Altitude Maximale	Altitude Minimale	Altitude Moyenne	ΔH	Q_{10}	Q_{10}	Q_{10}
	(Km ²)	(km)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
1	0,54	2,02	271	252	259,6	20,20	-	-	6,29
2	0,81	2,45	274	260	267,3	13,04	-	-	6,63
3	2,01	3,59	268	247	253,5	19,49	-	-	12,58
4	2,74	4,66	265	234	248,2	30,90	2,85	13,55	-
5	45,17	19,71	288	230	255,3	61,85	10,63	48,41	-
6	16,36	11,70	287	229	259,7	61,29	8,14	30,32	-
7	0,09	0,48	269	257	263,1	13,69	-	-	4,47
8	0,37	1,49	270	258	263,4	13,99	-	-	5,25
9	0,76	2,33	265	243	256,9	22,36	-	-	7,90
10	0,15	1,26	243	229	238,8	16,62	-	-	2,71

Les paramètres hydrologiques sont présentés dans l'Annexe III.

Tableau 16: valeurs retenues pour le dimensionnement

N° Bassin	Méthode de calcul	Débit Retenu
		(m ³ /s)
1	Rationnelle	6,29
2	Rationnelle	6,63
3	Rationnelle	12,58
4	Orstom; CIEH	13,55
5	Orstom; CIEH	48,41
6	Orstom; CIEH	30,32
7	Rationnelle	4,47
8	Rationnelle	5,25
9	Rationnelle	7,90
10	Rationnelle	2,71

Après le calcul des débits dans les bassins versants, nous avons retenu le débit calcul avec la méthode rationnelle pour les bassins d'une superficie inférieure à 2 km². Pour celles dont la superficie dépasse les 2,50 km², nous avons choisi la plus grande valeur calculée entre la méthode CIEH et la méthode d'ORSTOM.

Estimation des débits pour les ouvrages d'assainissement

Tableau 17: débits de dimensionnement des caniveaux

A	j	c	Q	Q majoré
0,54	0,0103	0,85	0,17	0,21
0,81	0,0081	0,85	0,23	0,27
2,01	0,0046	0,85	0,42	0,51
2,74	0,0086	0,85	0,61	0,74
45,17	0,0038	0,85	4,90	5,88
16,36	0,0076	0,85	2,50	3,00
0,09	0,0203	0,85	0,05	0,06
0,37	0,0089	0,85	0,12	0,15
0,76	0,0159	0,85	0,25	0,30
0,15	0,0253	0,85	0,07	0,09

ÉTUDE HYDRAULIQUE

1. Les Ouvrages d'assainissement

Avec les débits obtenus par la méthode Caquot, nous allons procéder à des itérations afin de déterminer les sections des caniveaux qui convenaient pour les débits calculés

Tableau 18: Pré-dimensionnement des caniveaux

Ks	I	b	y	S	P	Rh	Q
67	0,0103	0,6	0,6	0,36	1,8	0,20	0,84
67	0,0081	0,6	0,6	0,36	1,8	0,20	0,74
67	0,0046	0,6	0,6	0,36	1,8	0,20	0,56
67	0,0086	0,6	0,6	0,36	1,8	0,20	0,76
67	0,0038	1,5	1,5	2,25	4,5	0,50	5,83
67	0,0076	1,0	1,2	1,20	3,4	0,35	3,50
67	0,0203	0,6	0,6	0,36	1,8	0,20	2,53
67	0,0089	0,6	0,6	0,36	1,8	0,20	1,67
67	0,0159	0,6	0,6	0,36	1,8	0,20	2,24
67	0,0253	0,6	0,6	0,36	1,8	0,20	2,83

Ainsi, nous avons obtenu trois (3) types de caniveaux différents correspondant aux débits calculés en tenant compte de l'ancienne étude hydrologique et hydraulique qui prévoit des ouvrages d'une section de $0,60 \times 0,60 \text{ m}^2$. Les différents ouvrages sont localisés dans les endroits consignés dans le tableau :

Tableau 19: Section des caniveaux retenues

Pk début	Pk Fin	Côté Droit	Côté Gauche	Longueur Totale (m)
79 + 010	85 +450	0,60×0.60	0,60×0.60	6440
85 +490	88 +950	1,50×1,50	1,50×1,50	3460
88 + 950	89 +100	1,00×1,20	1,00×1,20	150
Longueur totale : 10050 m				

En comparaison avec l'ancienne étude technique, nous allons considérer trois (3) ouvrages de différentes pour l'assainissement de l'ouvrage au lieu d'un caniveau de 80x80 cm² afin d'évacuer toutes l'eau de ruissellement.

2. Les ouvrages de franchissement

Les ouvrages de franchissement retenus pendant l'étude sont des dalots. Bien qu'il y ait des buses à l'état actuel, il est préférable de considérer du fait de la disponibilité des matériaux pour la réalisation.

Tableau 20: Résultats du pré-dimensionnement des dalots

Bassins versants	BV_1	BV_2	BV_3	BV_4	BV_5	BV_6	BV_7	BV_8	BV_9	BV_10
Débit de projet Q10 (m3/s)	6,29	6,63	12,58	13,55	48,41	30,32	4,47	5,25	7,90	2,71
Débit réels	9,00	13,50	27,00	27,00	93,75	56,25	4,50	9,00	18,00	4,50
Pesanteur g(m ² /s)	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
Vitesse admissible Vadm(m/s)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Nombre de cellule	2,00	2,00	3,00	3,00	5,00	3,00	1,00	1,00	2,00	1,00
Débit par cellule (m3/s)	3,15	3,32	4,19	4,52	9,68	10,11	4,47	5,25	3,95	2,71
Hauteur du dalot D(m)	1,00	1,50	1,50	1,50	2,50	2,50	1,00	1,50	1,50	1,00
Largeur d'une cellule B(m)	1,50	1,50	2,00	2,00	2,50	2,50	1,50	2,00	2,00	1,50
1. Calcul de la profondeur d'eau en amont										
Débit réduit Q*	0,47	0,27	0,26	0,28	0,22	0,23	0,67	0,32	0,24	0,41
Hauteur réduite H* (abaque 77 du BCEOM)	0,54	0,50	0,78	0,80	0,78	0,80	0,52	0,52	0,50	0,52
Profondeur d'eau en amont H1	0,54	0,75	1,17	1,20	1,95	2,00	0,52	0,78	0,75	0,52
Vérification (H1/D≤1,25)	Vérfié									
Revanche D - H1 (m)	0,46	0,75	0,33	0,30	0,55	0,50	0,48	0,72	0,75	0,48
2. Pente critique										

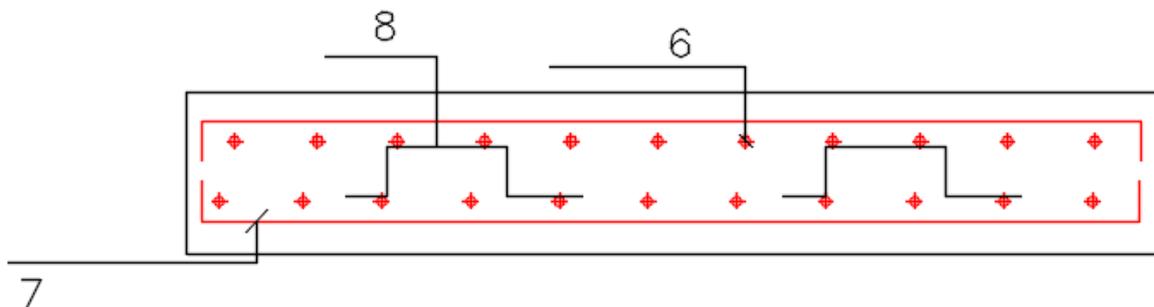
Débit réduit Q*	0,36	0,38	0,24	0,26	0,31	0,33	0,52	0,30	0,22	0,31
Pente critique réduite Ie (abaque 82 du BCEOM)	3,00	3,00	2,90	3,00	3,05	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10
Coefficient de rugosité K	67,00	67,00	67,00	67,00	67,00	67,00	67,00	67,00	67,00	67,00
Pente critique Ic	0,006556	0,005727	0,005536	0,005727	0,00491	0,004992	0,00677	0,005918	0,005918	0,00677
3. Vitesse de sortie										
Débit réduit Q***	0,20	0,22	0,13	0,14	0,18	0,19	0,28	0,16	0,12	0,17
Vitesse réduite V* (abaque 84 du BCEOM)	0,24	0,24	0,33	0,33	0,34	0,34	0,20	0,22	0,22	0,22
Vitesse de sortie V (m/s)	1,71	1,59	2,61	2,66	2,94	2,96	1,45	1,80	1,80	1,59
Vérification de la vitesse	Vitesse vérifiée									
Section retenue	2x1,5x1	2x1,5x1,5	3x2x1,5	3x2x1,5	5x2,5x2,5	3x2,5x2,5	1x1,5x1	1x2x1,5	2x2x1,5	1x1,5x1

N° Profil	Type	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PK		79 + 500	80 + 010	80 + 850	81 + 020	82 + 200	83 + 150	84 + 030	85 + 510	86 + 490	88 + 950
Ouvrage existante	Dalot, Buse	2x2x1	R80	3x2x1,50	1x2x1,50	3x2x1,50	3x2x2	1x2x2	5x2x2	R80	2x2x1,50
Ouvrage retenu	Dalot	2x1,5x1	1x1,5x1	2x1,5x1,5	1x2x1,5	3x2x1,50	3x2,5x2,5	3x2x1,50	5x2,5x2,5	1x1,5x1	2x2,5x2,5

DIMENSIONNEMENT STRUCTUREL DES OUVRAGES

Après calcul, sont obtenus les résultats suivants :

1. Résultat de l'étude des caniveaux



Coupe longitudinale de la dalette

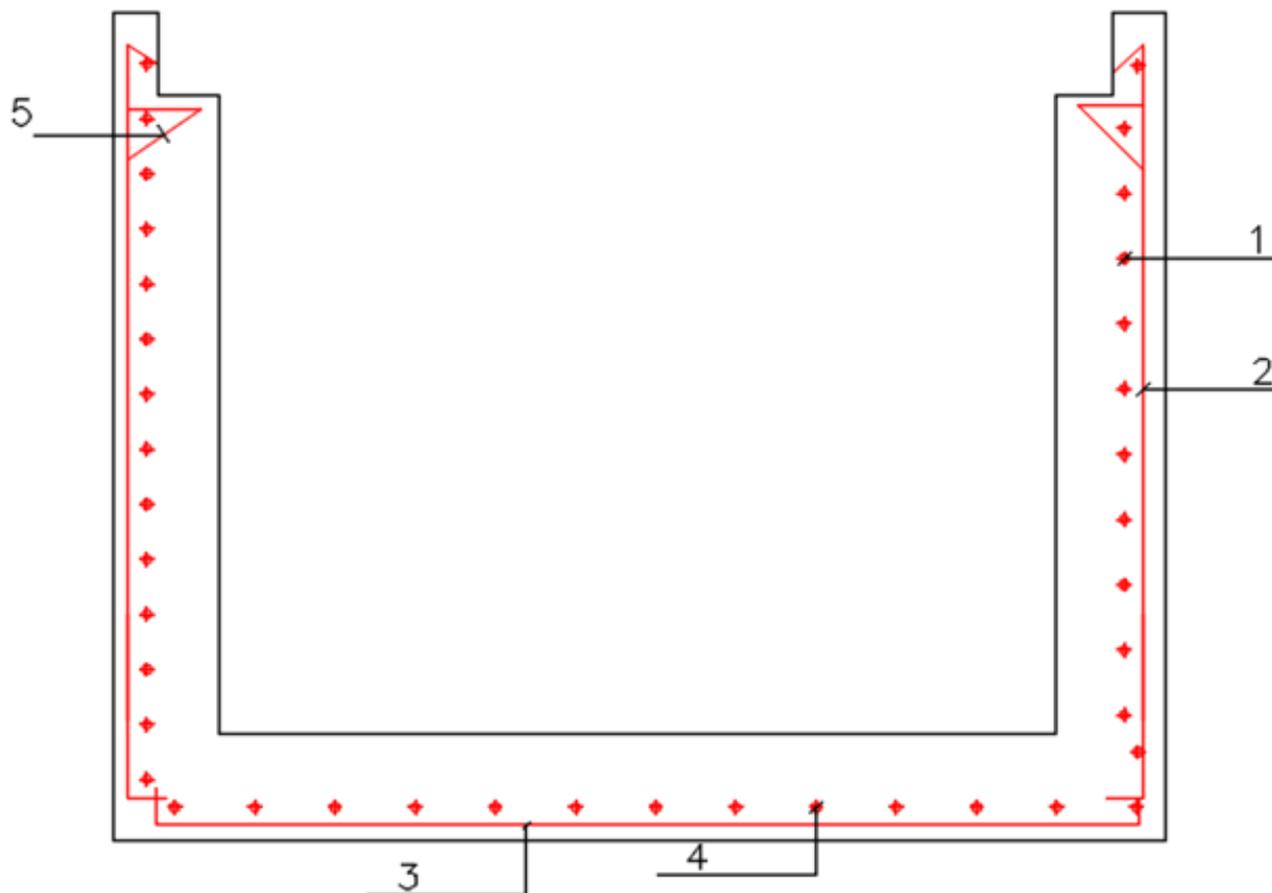


Figure 11 : Extrait du plan de ferrailage du caniveau 100x120 cm²

Le reste des plans de ferrailage est donné dans l'annexe VII.

Tableau 21: sections d'acier des caniveaux

Endroit d'application	Intitulé de la section	Section des différents caniveaux		
		0,60x0, 60 m ²	1,00x1, 20 m ²	1,50x1, 50m ²
Dalette	Au (Section à l'ELU) en cm ²	5,38	13,36	17,02
	Aciers principales	07HA12	08HA14	09HA16
	Aciers de répartition	06HA10	08HA10	08HA10
Piédroits	Au (Section à l'ELU) en cm ²	0,82	0,97	2,38
	Amin (Condition de non fragilité) en cm ²	3,36	2,45	2,45
	Aciers principales	08HA10	08HA10	08HA10
	Aciers de répartition	06HA8	08HA8	08HA8
Radier	Au (Section à l'ELU) en cm ²	10,24	15,73	15,88
	Aciers principales	10HA12	11HA14	11HA14
	Aciers de répartition	07HA10	08HA10	08HA10

La note de calcul est jointe dans l'Annexe IV avec les plans de ferrailage.

Etant donné la proximité de la commune avec des écoles, des marchés et différents autres passages pour les véhicules, nous avons prévu des caniveaux fermés. Le dimensionnement a été fait par mètre linéaire. Les sections d'acier des dalettes, piédroit et du radier sont proposées suivant le type de section de caniveau.

2. Résultat de l'étude du dalot 3x2,50x2,50 m²

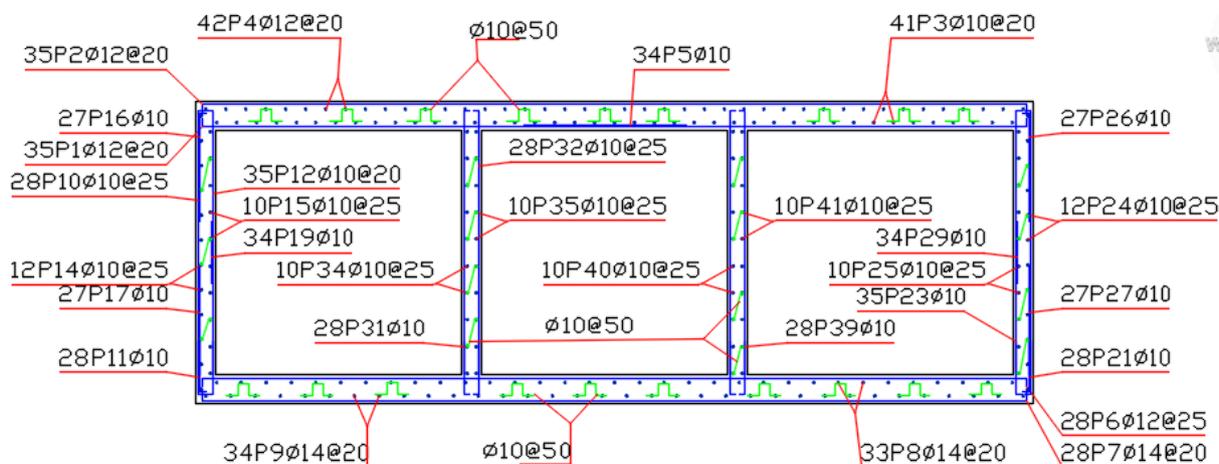


Figure 12: Extrait du plan de ferrailage du dalot

Le reste des plans de ferrailage est donné dans l'annexe VII.

Tableau 22: Section d'acier du dalot

Armatures du tablier				
Désignation	Appuis	Travées	Travée de rive AB et CD	Travée intermédiaire BC
$M_{ser}(KN.m)$	78,30	43,00	43,00	31,70
$M_{rserb}(KN.m)$	201,63	201,63	201,63	201,63
$A_s(Cm^2)$	12,26	6,64	6,64	4,90
$A_{smin}(Cm^2/ml)$	3,26	3,26	3,26	3,26
Section choisie	10HA12 soit 11,31 cm ²	08HA12 soit 9,05 cm ²	08HA12 soit 9,05 cm ²	08HA12 soit 9,05 cm ²
Acier de répartition	HA 10	HA 10	HA 10	HA 10

Armature du radier				
Désignation	Appuis	Travées	Travée de rive AB et CD	Travée intermédiaire BC
$M_{ser}(KN.m)$	94,90	51,40	51,40	37,90
$M_{rserb}(KN.m)$	201,63	201,63	201,63	201,63
$A_s(Cm^2)$	12,26	6,64	6,64	4,90
$A_{smin}(Cm^2)$	3,26	3,26	3,26	3,26
Section choisie	08HA14 soit 12,31 cm ²	10HA12 soit 11,31 cm ²	10HA12 soit 11,31 cm ²	08HA12 soit 9,05 cm ²
Acier de répartition	HA10	HA 10	HA 10	HA 10

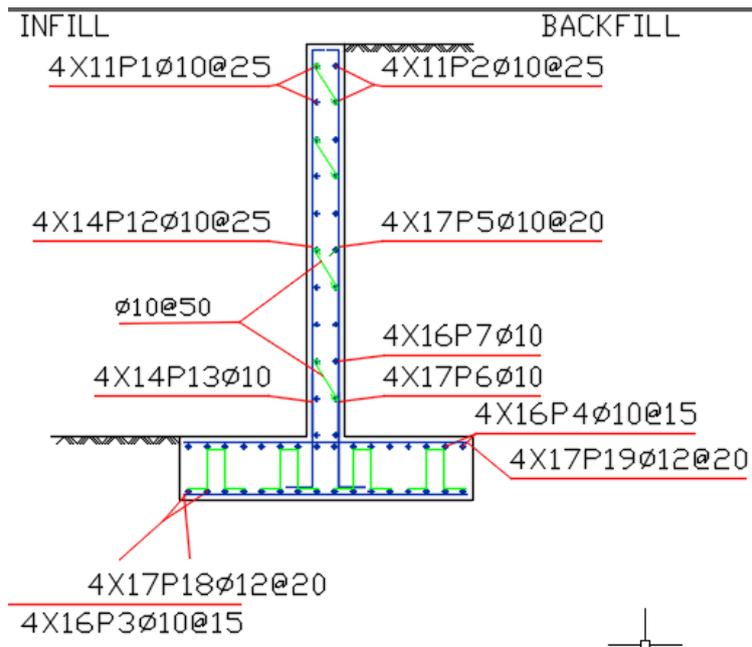


Figure 13: Extrait du plan des ferrailage des piédroits

Armature des Piédroits		
Désignation	Piédroits de rive	Piédroits intermédiaires
$M_{ser}(KN.m)$	19,92	0,00
$M_{rserb}(KN.m)$	237,66	-
$A_s (cm^2)$	1,59	9,60
$A_{smin}(Cm^2)$	3,26	3,26
Section choisie	06HA12 Soit 6,79 cm ²	10HA12 Soit 11,31 cm ² esp 10 cm
Acier de répartition	HA10	HA 10

Le dimensionnement de ce dalot en appliquant le BAEL 91, nous donne le résultat ci-dessus.

Les détails du calcul sont présentés dans l'Annexe IV.

D. ETUDES D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

I. ETUDE D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

L'une des problématiques les plus importantes dans le génie civil et plus précisément dans la construction routière est le respect de l'environnement. Son respect permet de faciliter le déplacement des usagers, le développement de la zone. C'est dans cet optique que dans ce chapitre, nous allons dans un premier temps présenter ses impacts et leurs conséquences pour la gestion environnementale et sociale, ensuite les mesures d'atténuation préconisées et finir par une estimation des coûts du projet.

3. Cadre législatif au Burkina Faso en matière d'environnement

La législation au BURKINA FASO se réfère aux lois et aux différents règlements suivants :

- Loi N°005/97/ADP votée le 30 Janvier 1997 et qui porte sur le Code de l'Environnement au BURKINA FASO.
- Le décret N° 2001-342/PRES/PM/MEE qui porte sur le champ d'application, le contenu et la procédure de l'étude et de la notice d'impact sur l'environnement.
- Décret N°111/PRES du 17 Mars 1997 portant promulgation de ladite Loi relative à la protection des forêts.

4. Description de l'état initial de l'environnement

Les travaux vont se dérouler dans la région du Centre-Est du Burkina Faso. Faisant partie des zones où il y'a la plus grande partie de la production agricole du pays, cette région se situe entre le climat soudano-sahélien et le climat tropical relativement modéré. La température moyenne annuelle est tourne autour de 28°C avec une faible humidité de l'air. Elle est parcourue par plusieurs savanes arbustives et arborées qui dominant les formations naturelles. Et les cours d'eau les plus importants sont bordés par des petites forêts galleries.

Le commerce est très avancé dans la région. C'est l'une des principales activités économiques génératrices de richesse. Le premier avantage commercial de la région est sa proximité avec la frontière avec le Togo et le Ghana. Ce statut lui permettant de servir de zone de transition. En ce qui concerne les transports et la construction de routes, la région dispose d'un système routier raisonnablement bien doté. Il existe des autoroutes nationales et des routes internationales.

La situation de la route par rapport aux aires classées indique que le projet affectera sans doute la faune, notamment les espèces protégées par le ministère chargé de l'environnement du Burkina Faso.

5. Description des enjeux environnementaux et sociaux de l'aire d'influence du projet

Dans le cadre de la construction de cette voie de liaison, plusieurs avantages environnementaux, sociaux et économiques seront ressentis par la population. Mais, d'autres enjeux environnementaux et sociaux seront à considérer comme :

- La conservation du cadre de vie et la circulation des marchandises ;
- La conservation des espèces forestières ;
- Les risques sur la sécurité et la santé ;
- Le développement socio-économique ;
- Les pollutions de l'air, de l'eau, etc.

6. Identification et évaluation des impacts sur l'environnement

Il sera question ici de déterminer les types d'impacts liés directement au projet sur l'environnement.

a. Les sources d'impacts

Les activités susceptibles d'occasionner des impacts sont :

- Installation du chantier : atelier, garage et magasin, installations fixes et mobiles ;
- Les travaux préparatoires : abattage d'arbres, démolition, décapage et débroussaillage,
- Les terrassements et la mise en œuvre de la chaussée : reprofilage ; déblayage, remblayage et emprunt ;
- La construction des ouvrages d'assainissement et de franchissement ;
- L'exploitation et entretien de la route.

b. Les impacts liés aux différentes activités

Les impacts générés par le projet sur l'environnement sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 23: Impacts suivant les milieux

Milieu	Les composants	Les impacts	Importance
Physique	Air	Emission de la fumée et du gaz toxique Emission de poussière de matériaux	Moyenne
	Sol	Erosion et déstabilisation du sol ; Perte au niveau des emprunts ; Changement de la nature du aux apports.	Moyenne
	Eaux	Perturbation de la physiologie des formes des écoulements ; Augmentation du transport des sédiments ;	Moyenne
Biologique	Faune	Modification de la zone de pâturage des bovins	Mineure
	Flore	Perturbation du paysage naturel. Destruction et des champs de la végétation	Majeure
Socio-économique	Economie	Fluidification du trafic Création d'emploi Développement des activités commerciales Amélioration des conditions de vie de la population ; Amélioration des revenus financiers dans la région.	Majeure
	Santé	Accidents de circulation Accidents de chantier La transmission des maladies (MST/SIDA)	Majeure

7. Mesures d'atténuation et de compensation

Les mesures d'atténuation préconisées dans le cadre de ces travaux vont porter sur :

- L'Arrosage des sites des travaux et des déviations ;
- Le maintien des véhicules et des machines en bon état de fonctionnement ;
- Le port obligatoire des équipements sur le chantier ;
- L'Utilisation d'une superficie strictement nécessaire aux travaux ;

- L'Exploitation rationnelle des carrières et emprunts et leurs remises en état à la fin pour valoriser les aires utilisées ;
- La protection des arbres se trouvant dans l'emprise et dans les zones d'emprunts et des carrières ;
- L'évacuation correcte des déchets et des produits dangereux ;
- La sensibilisation des populations sur la sécurité routière ;
- La mise en place les panneaux de signalisation ;
- La sensibilisation sur les risques de transmission des MST/SIDA et les techniques de prévention ;
- La compensation ou l'indemnisation des éventuelles victimes de dommages ;
- Le respect des règles en matière de protection de l'environnement lors des travaux routiers.

8. Mesures de suivi environnemental

Le suivi environnemental concerne les impacts environnementaux que l'évaluation montre qu'ils ont des risques et une intensité dommageable sur l'environnement. Dans le décret n°2001-342/PRES/PM/MEE du 17 juillet 2001 portant champ d'application des EIE et NIE stipule en son article 7 que « l'étude d'Impact comporte obligatoirement les mesures nécessaires prévues ou non par le promoteur pour supprimer, réduire et compenser les conséquences dommageables du projet sur l'environnement ainsi que l'estimation des dépenses correspondantes ».

Ainsi, les activités prévues dans ce sens sont les suivantes :

La définition des mesures prévues pour supprimer, réduire et compenser les conséquences du projet sur l'environnement ;

- L'évaluation des activités de formation, d'information et de sensibilisation ;
- Le développement socio-économique ;
- La qualité de l'eau ;
- La remise en état des zones d'emprunts et des carrières.

ESTIMATION DU DEVIS DU PROJET

En utilisant le métrique du Burkina Faso, nous avons estimé le coût total du projet à :

Tableau 24: Récapitulatif des coûts du projet

DESIGNATION	MONTANT
INSTALLATIONS DE CHANTIER	476 000 000
TRAVAUX PREPARATOIRES	39 525 000
TERRASSEMENTS	878 850 000
CHAUSSEE	3 087 000 000
ASSAINISSEMENT	1 149 826 000
CONTRUCTION D'OUVRAGE D'ART	1 357 001 836
SECURITE ET SIGNALISATION	16 456 600
MESURES ENVIRONNEMENTALE ET SOCIALE	101 850 000
ECLAIRAGES PUBLICS	61 500 000
TOTAL HTVA	7 106 509 436

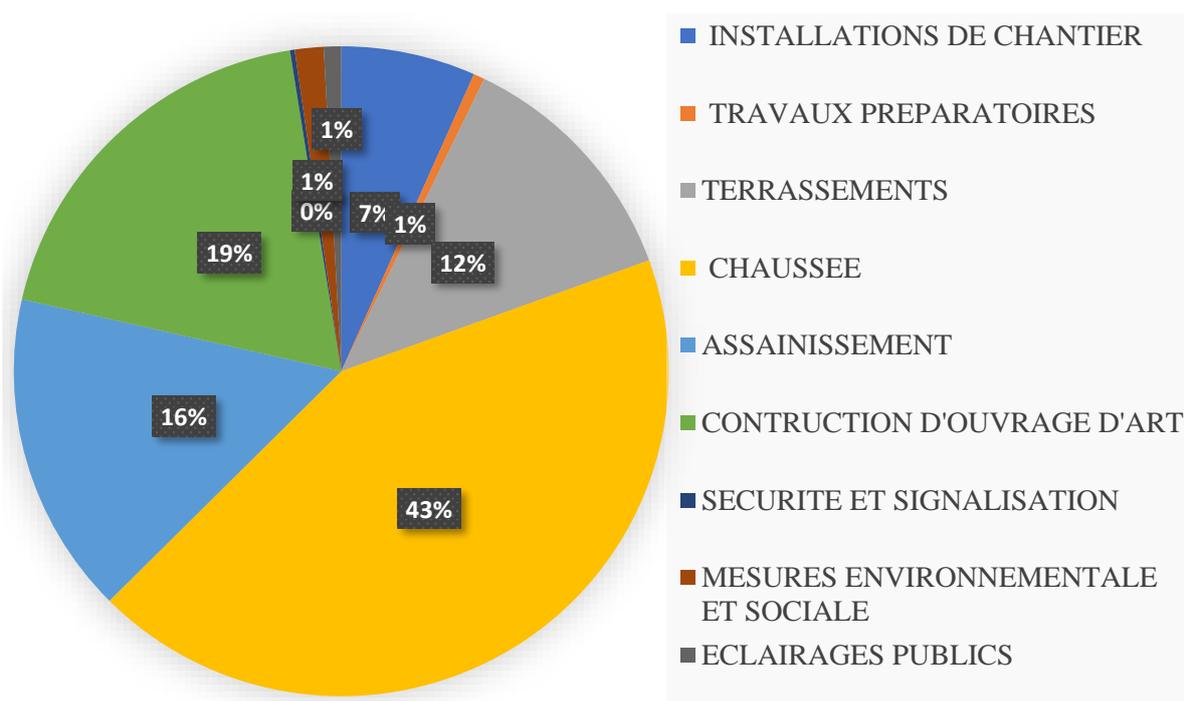


Figure 14 : Répartition des couts du projet

Les détails de l'estimation des couts du projet sont présentés dans l'Annexe V.

Dans le cadre cette actualisation de l'étude technique de la réalisation de la route nationale RN29, nous avons eu un les résultats ci-dessus que l'on ne peut pas comparer avec pour l'ancienne étude à cause de l'absence de données tangibles.

CONCLUSION ET RECOMMANDATION

La construction et le bitumage d'un tronçon de la route nationale n°29 (RN29) qui relie la localité de Zabré à la Frontière du Ghana est un grand projet pour le développement du pays. Dans le cadre de ce présent projet, l'objectif est d'actualiser les études d'avant-projet détaillé réalisée en 2016 par le Bureau d'Etude AGETIB, l'adapter aux données actuelles avant de commencer les travaux.

Vue la nouvelle étude sur le terrain (topographique, géotechnique), le tracé de l'axe en plan et du profil en long ont été légèrement modifiés afin d'adapter le tracé tout en respectant la norme. Elle est donc réalisée plus en déblai et en remblai à certains endroits. La conception est faite de sorte à assurer de faibles déclivités tout en offrant la sécurité et le confort aux usagers de la route.

Durant cette étude, nous avons estimé que les caractéristiques géotechniques du sol en place ne sont pas bonnes, mais celles des emprunts sont conformes ($CBR \geq 32$) pour les couches (fondation et base) de la chaussée. L'étude hydrologique et hydraulique, nous ont permis de définir et de concevoir les ouvrages, et pour une question de mise en œuvre, nous allons avoir des dalots du fait de leurs mise en œuvre assez simple. Nous avons fait des propositions techniques pour la conception des ouvrages de franchissement routier et d'assainissement.

Au final, nous avons une route de dix (10) kilomètres de longueur dont 4800 m d'alignement droit avec dix (10) ouvrages de franchissement routier dont on doit changer quatre. On considère seulement les dalots du fait de leur mise en œuvre facile. Le cout total du projet fait : SEPT MILLIARDS CENT SIX MILLIONS CINQ CENT NEUF MILLE QUATRE CENT TRENTE-SIX FCFA (7 106 509 436 F CFA).

Toutes ces recherches ont été entreprises dans le but d'assurer que la route nationale ainsi que ces ouvrages remplissent pleinement leur rôle. Néanmoins, il est essentiel de souligner que l'efficacité et la durabilité d'une infrastructure routière ne peuvent être garanties sans entretien adéquat. Alors quelle solution sera prise en vue d'assurer la durabilité de ces ouvrages ?

Bibliographie

Ouvrages et articles

- [1] CEBTP 1984 : Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux (Réimpression avec mise à jour) par le Centre Expérimental de Recherches et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics.
- [2] SETRA 1994 : Aménagement des routes principales ; Guide Technique
- [3] FAO 1996 : Crues et apports : manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropical sèche,
- [4] Rodier J, 1993 ; Hydrologie continentale, Orstom - volume 8, N°2, p 136-160.
- [5] Cahier des prescriptions communes applicables aux marchés de travaux publics ; Fascicule N°61 conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art, titre II : programme de charges et épreuves de ponts routes par le Ministère de l'Équipement et du Logement ;
- [6] Jolivot, Anne-Gaëlle. « Etude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage de 5km de voirie urbaine à Pouytenga dans la région du centre –Est au Burkina-Faso ».
- [7] Compaoré G., Lachassagne P., Pointet T. & Travi Y. (1997), Evaluation du stock d'eau des altérites : expérimentation sur le site granitique de Sanon (Burkina Faso), Hard Rock HydroSystems (Proceedings of Rabat Symposium S2), IAHS Publ.no. 241, pp37-46.

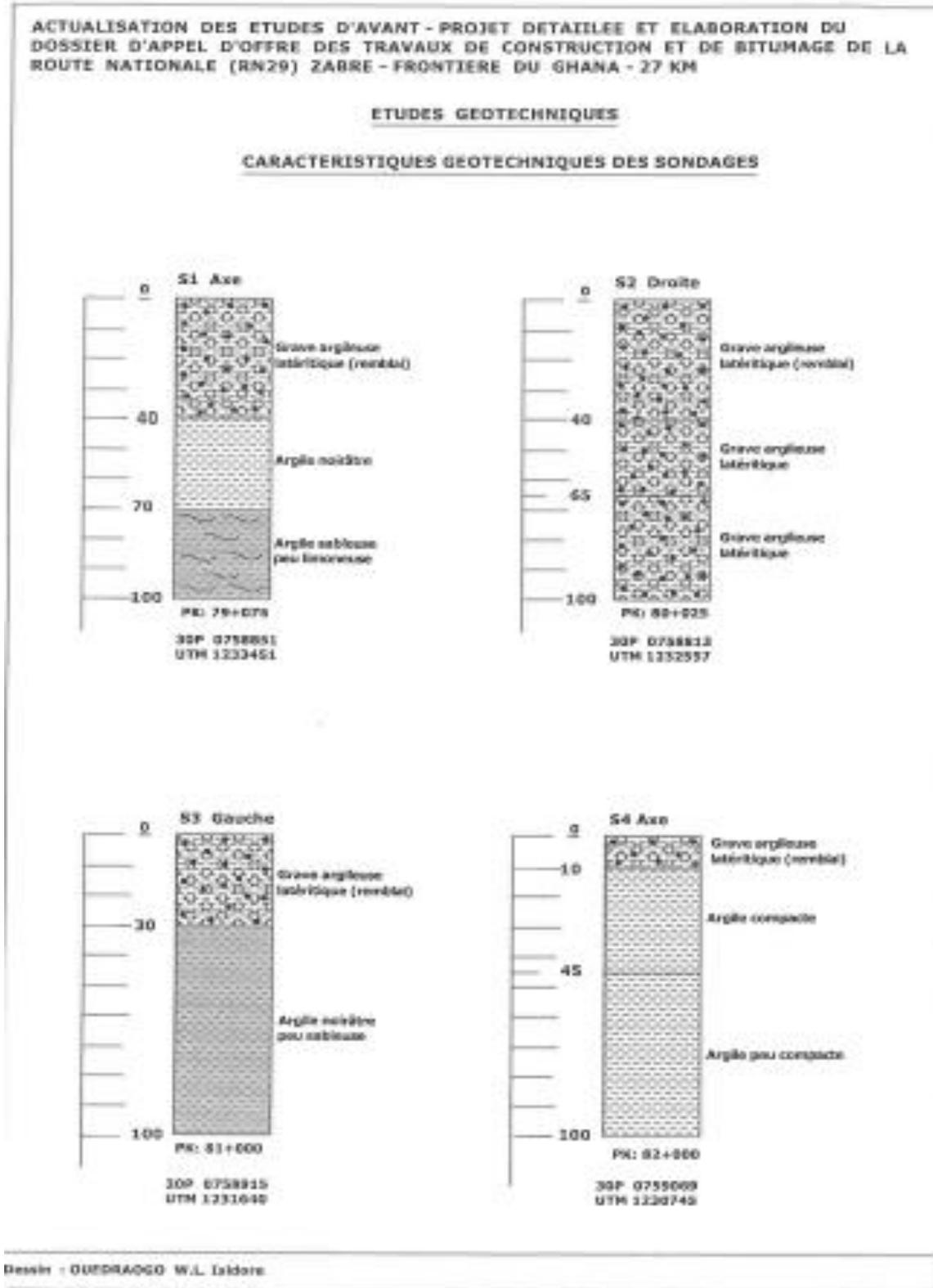
Sites internet

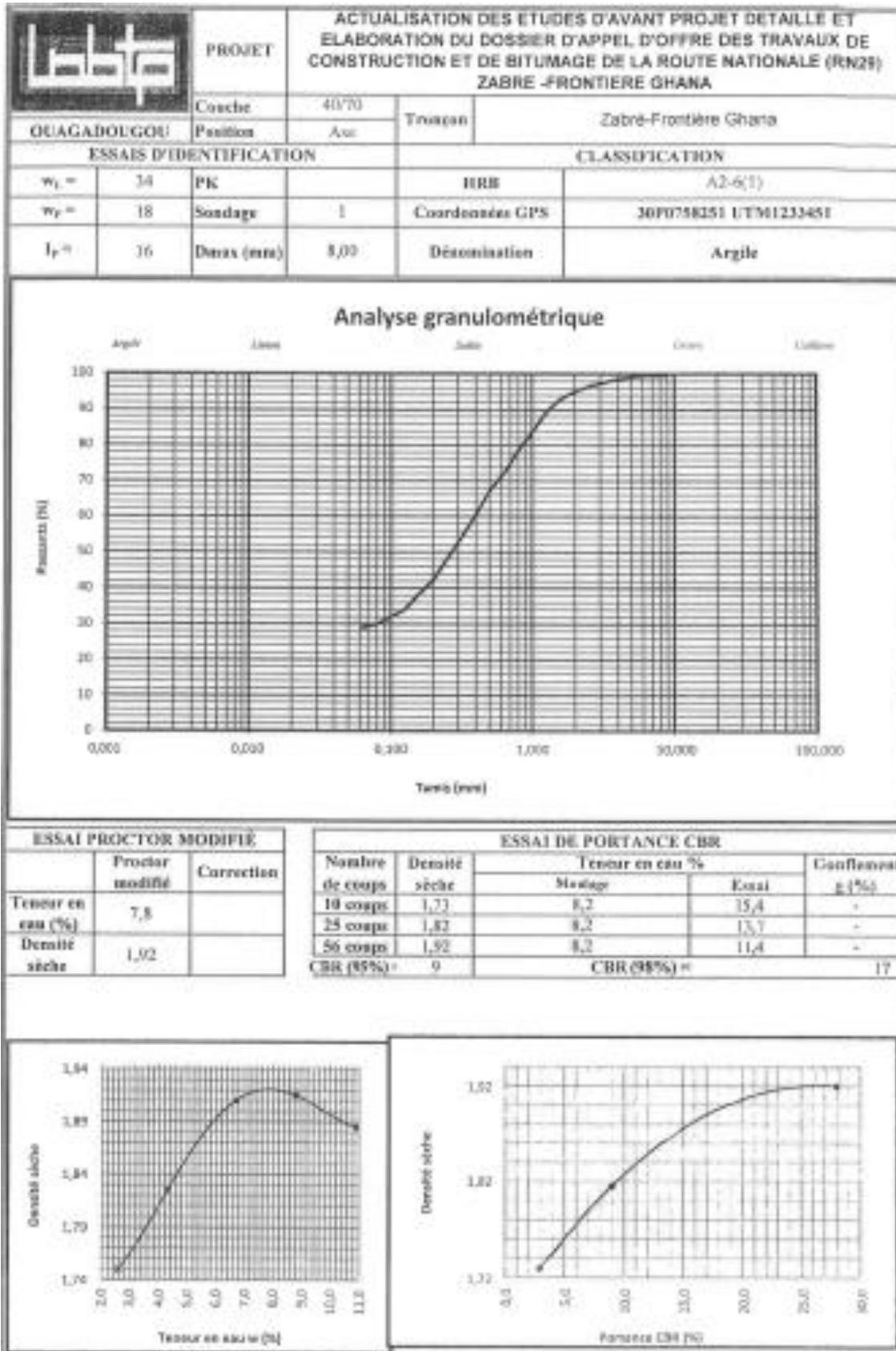
- Ripoche, Marie. 2016. « 1650w-rapport_synthese_fondamentaux_conception_routiere-1.pdf ». https://www.cerema.fr/system/files/documents/2017/12/1650w-rapport_synthese_fondamentaux_conception_routiere-1.pdf.
- « Dimensionnement d'un Dalot (Pont Cadre) ». s. d. *Cours Génie Civil / BTP - Livres - PFE - Formations - Exercices* (blog). Consulté le 15 juin 2024. <https://www.geniecivilstore.com/2017/12/dimensionnement-dun-dalot.html>.
- « Les ouvrages de franchissement - Ils ouvrages de franchissement ». s. d. Consulté le 15 juin 2024. https://fasoeducation.net/espace_eleves/secondaire/eftp/bac_technologique/ouvrages_franchissement/co/grain_definition.html.

ANNEXES

Annexe I : Etude Géotechnique et dimensionnement de la chaussée	a
Annexe II : Etude Géométrique	e
Annexe III : Etude hydrologique et Hydraulique	g
Annexe IV : Dimensionnement Structurel des ouvrages	j
Annexe V : Devis du projet	mm
Annexe VI : Plan	qq

Annexe I : Etude Géotechnique et dimensionnement de la chaussée





Ces fichier ci-dessus sont les résultats de l'analyse réalisé par le laboratoire LNBTP.

Vérification de la chaussée avec ALIZE

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

Signalement du calcul :

Données Structure en saisie écran :

Origine fichier : C:\...\...\Chaussée\Chaussée.dat

Titre de l'étude : Route Zabré-Frontière du Ghana

Données Chargement :

Jumelage standard de 65 kN

Pression verticale : 0,6620 MPa

Rayon de contact : 0,1250 m

Entraxe jumelage : 0,3750 m

Unités : m, MN et MPa ; déformations en $\mu\text{déf}$; déflexions en mm/100

Notations :

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

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

Tableau 1+2 (synthèse) :

Tractions principales majeures dans le plan horizontal XoY et

Compressions principales majeures selon la verticale ZZ ; déflexion maximale

	Niveau	EpsilonT	SigmaT	EpsilonZ	SigmaZ
	Calcul	horizontale	horizontale	verticale	verticale
----- surface (z=0.000) -----					
h= 0,500 m	0,000m	-56,5 X-J	-0,014 X-J	169,3 Z-R	0,657 Z-R
E= 1300,0 MPa					
nu= 0,350	0,500m	-69,0 Y-J	-0,101 Y-J	87,3 Z-J	0,049 Z-J
----- collé (z=0,500m) -----					
h= 0,150 m	0,500m	-69,0 Y-J	-0,013 Y-J	140,2 Z-J	0,049 Z-J
E= 400,0 MPa					
nu= 0,350	0,650m	-56,7 Y-J	-0,017 Y-J	103,8 Z-J	0,031 Z-J

----- collé (z=0,650m) -----

h= 0,200 m 0,650m -56,7 Y-J -0,009 Y-J 118,9 Z-J 0,031 Z-J

E= 304,0 MPa

nu= 0,350 0,850m -50,6 Y-J -0,013 Y-J 90,7 Z-J 0,019 Z-J

----- collé (z=0,850m) -----

h infini0,850m -50,6 Y-J -0,002 Y-J 125,8 Z-J 0,019 Z-J

E= 160,0 MPa

nu= 0,350

Déflexion maximale = 22,2 mm/100 (entre-jumelage)

Rayon de courbure = 357,2 m (entre-jumelage)

Alizé-Lcpc - Calcul des valeurs admissibles

Alizé-Lcpc - Calcul des valeurs admissibles
— □ ×

Trafic PL cumulé : données

<input checked="" type="checkbox"/> Moyenne journalière annuelle (MJA) :	45
<input checked="" type="checkbox"/> Taux accroissement géométrique (%) :	5
<input type="checkbox"/> Taux accroissement arithmétique (%) :	6,88
<input checked="" type="checkbox"/> Durée de service (années) :	20
<input type="checkbox"/> Trafic cumulé PL :	5,4311E+5

Cocher au plus 3 cases

Aide

CAM : Guide lcpc-sétra 94

CAM : Catalogue 1998

Risques : Guide lcpc-sétra 94

Risques : Catalogue 1998

Structures catalogue 98

Valeurs admissibles : données

matériau type :	bb	Tétra équiv. (°C) :	30°C
coefficient CAM :	1	E10°10Hz (MPa) :	7200
risque (%) :	5,0	Etêq10Hz (MPa) :	1300
trafic cumulé NE :	5,4311E+5	Hstructurel MB (m) :	0,1
Epsilon6 (µdéf) :	100	écart type Sh (m) :	0,010
-1/b :	5	écart type SN :	0,250
		Kr (risque) :	0,815
		Kc (calage) :	1,1
		Ks (couche liée/pf1) :	1/1,2

Calculer EpsiT admissible

Calcul inverse NE = f(EpsiT)

Calcul inverse Risk = f(EpsiT)

Bibliothèque des matériaux

EpsilonT admissible =

Mémo ...

1-EpsiZ= 639,8

2-EpsiT= 198,6

effacer=dbl click

Fermer

Pour modifier les valeurs standard : cliquer sur "bb"

Imprimer Enregistrer

Annexe II : Etude Géométrique

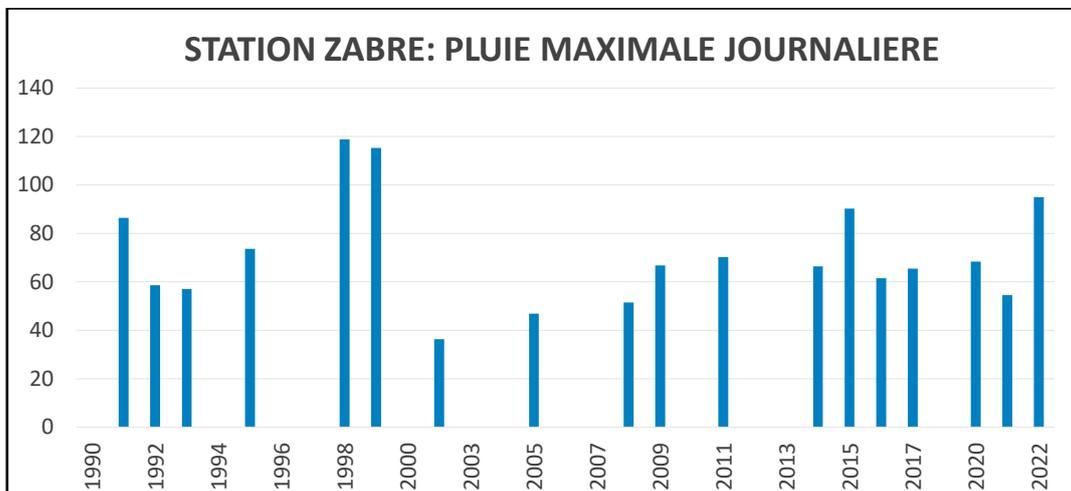
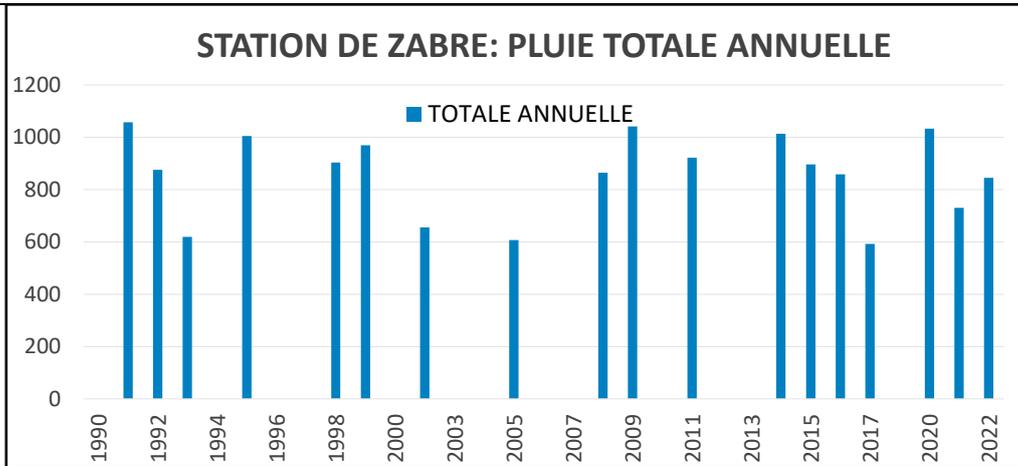
Axe En Plan

Nom du dessin Troncon Zabré - Frontière Ghana.dwg
 Nom de l'axe RN29 - Axe PRJ
 Table associée ARP T100 2 voies >= 6m
 Date du listing 11/06/2024 à 14:28:42

Elts Caractéristiques			Points de Contacts		
Nom	Paramètres	Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement 214.57gr	419,487	0,000	758862,305	1233533,252
Clothoïde 1	Paramètre 200,891	67,000	419,487	758767,133	1233124,704
Arc 1	Rayon 602.347 m	238,897	486,487	758753,147	1233059,189
	Centre X 759346.476 m				
	Centre Y 1232955.353 m				
Clothoïde 2	Paramètre -200,891	67,000	725,385	758759,092	1232821,929
Droite 2	Gisement 182.24gr	74,596	792,385	758776,343	1232757,197
Clothoïde 3	Paramètre -192,336	67,000	866,980	758796,884	1232685,486
Arc 2	Rayon -552.137 m	104,390	933,980	758814,025	1232620,727
	Centre X 758274.992 m				
	Centre Y 1232501.149 m				
Clothoïde 4	Paramètre 192,336	67,000	1038,371	758826,893	1232517,289
Droite 3	Gisement 202.00gr	117,378	1105,371	758826,142	1232450,305
Arc 3	Rayon 2646.182 m	570,128	1222,749	758822,452	1232332,985
	Centre X 761467.327 m				
	Centre Y 1232249.810 m				
Droite 4	Gisement 188.29gr	631,271	1792,877	758865,821	1231765,614
Arc 4	Rayon 9574.962 m	557,560	2424,147	758981,330	1231145,001
	Centre X 768394.636 m				
	Centre Y 1232897.019 m				
Droite 5	Gisement 184.58gr	274,583	2981,708	759099,250	1230600,133
Arc 5	Rayon -7285.917 m	243,485	3256,291	759165,118	1230333,568

	Centre X	752091.940 m				
	Centre Y	1228585.788 m				
Droite 6	Gisement	186.71gr	655,558	3499,776	759219,566	1230096,260
Arc 6	Rayon	-1670.581 m	325,662	4155,334	759355,472	1229454,944
	Centre X	757721.186 m				
	Centre Y	1229108.610 m				
Droite 7	Gisement	199.12gr	646,155	4480,996	759391,606	1229131,811
Arc 7	Rayon	1322.882 m	529,237	5127,152	759400,580	1228485,718
	Centre X	760723.334 m				
	Centre Y	1228504.091 m				
Droite 8	Gisement	173.65gr	433,736	5656,388	759512,185	1227971,987
Arc 8	Rayon	1444.778 m	550,143	6090,125	759686,647	1227574,885
	Centre X	761009.397 m				
	Centre Y	1228156.019 m				
Droite 9	Gisement	149.41gr	551,126	6640,268	759997,365	1227124,915
Arc 9	Rayon	-2094.677 m	945,572	7191,394	760390,691	1226738,865
	Centre X	758923.420 m				
	Centre Y	1225243.943 m				
Droite 10	Gisement	178.14gr	30,902	8136,967	760895,860	1225949,035
Arc 10	Rayon	1625.907 m	332,076	8167,868	760906,262	1225919,937
	Centre X	762437.287 m				
	Centre Y	1226467.236 m				
Droite 11	Gisement	165.14gr	234,937	8499,944	761049,089	1225620,784
Arc 11	Rayon	5065.196 m	603,715	8734,881	761171,398	1225420,195
	Centre X	765496.058 m				
	Centre Y	1228057.149 m				
Droite 12	Gisement	157.55gr	761,368	9338,597	761515,631	1224924,671
				10099,964	761986,485	1224326,359
Longueur totale de l'axe 10099.964 mètre(s)						

Annexe III : Etude hydrologique et Hydraulique



La pluviométrie maximale journalière et annuelle de la zone

N° Bassin	Forme		Pente	Apport Annuel			Coefficient			Ecoulement	
	S	ΔH	Pente globale	P _{an}	P ₁₀	P _{m10}	C	Kr ₇₀	Kr ₁₀₀	Kr ₁₀	Tb10
	(Km ²)	(m)	(m/km)	(Mm)	(Mm)	Mm	(Adm)	%	%	Adm	(Heure)
1	0,54	20,20	9,98	880	105	108,49	0,75	28,17	32,31	0,33	12,43
2	0,81	13,04	5,33	880	105	106,19	0,75	23,19	25,57	0,26	15,48
3	2,01	19,49	5,43	880	105	101,05	0,75	22,99	25,00	0,253	37,09
4	2,74	30,90	6,64	880	105	99,299	0,75	24,71	26,07	0,263	18,69
5	45,17	61,85	3,14	880	105	83,447	0,7	13,57	16,61	0,171	45,17
6	16,36	61,29	5,24	880	105	89,191	0,7	19,03	21,91	0,224	29,84
7	0,09	13,69	28,28	880	105	118,62	0,8	41,37	43,22	0,435	-
8	0,37	13,99	9,38	880	105	110,62	0,75	28,11	31,87	0,325	4,57
9	0,76	22,36	9,60	880	105	106,55	0,75	28,10	31,82	0,324	5,05
10	0,15	16,62	13,24	880	105	115,73	0,75	32,04	34,68	0,351	2,32

Les paramètres hydrologiques calculés.

Annexe IV : Dimensionnement Structurel des ouvrages

Schéma du principe

Section du caniveau : 0,60 × 0,60 m²

➤ **Les dimensions géométriques**

Epaisseur du voile et du radier : 15 Cm

Epaisseur de la dalette : 15 Cm

Portée de la dalette : 0,75 m

Hauteur libre du canal : 0,60 m

Ouverture du canal : 0,60 m

Epaisseur du Piédroit : 15 Cm

Largeur totale du canal : 0,90 m

➤ **Dimensionnement de la dalette**

Descente des charge et calcul des sollicitations

Charge permanentes	Poids propre de la dalle (KN/ml)	$P_3 = e \times b \times \gamma_b$	1,88
Charges d'exploitations	Roue isolée de 100KN	Q1	100,00

Sollicitations

Efforts tranchant	Vser (KN/ml)	$V_{ser} = \frac{P_1 \times l}{2} + \frac{Q_1}{2}$	60,70
Moment	Mser (KN.m/ml)	$M_{ser} = \frac{P_1 \times l^2}{8} + \frac{Q_1 \times l}{4}$	22,63
Efforts tranchant	Vu (KN/ml)	$V_u = 1,35 \times \frac{P_1 \times l}{2} + 1,61 \times \frac{Q_1}{2}$	81,45
Moment	Mu (KN.m/ml)	$M_u = 1,35 \times \frac{P_1 \times l^2}{8} + 1,61 \times \frac{Q_1 \times l}{4}$	30,37

Calcul des sections d'aciers

$$V_u = 1,35 \times \frac{P_1 \times l}{2} + 1,61 \times \frac{Q_1}{2}$$

$$M_u = 1,35 \times \frac{P_1 \times l^2}{8} + 1,61 \times \frac{Q_1 \times l}{4}$$

Moment réduit	μ_u	$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}}$	0,12
---------------	---------	--	------

Moment réduit limite	μ_{ul}		0,19
Conclusion	$\mu_u < \mu_{ul}$	Pivot A il n'y a pas d'aciers comprimés	
	α_u	$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u})$	0,16
	$Z_u (m)$	$Z_u = d \times (1 - 0,4 \times \alpha_u)$	0,13
Section d'aciers	$A_{st}(cm^2)$	$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_{st}}$	6,90
Condition de non fragilité	$A_{stmin} (cm^2)$	$A_{stmin} = \frac{0,23 b d f_{tj}}{f_e}$	1,63
Choix	$A_s(Cm^2/ml)$	$\max(A_{st} ; A_{stmin})$	6,90
Acier		07HA12 Soit 7,92 cm²/ml	
Espacement minimal	$e_{ht}(cm)$	$e_{ht} = \max[\phi_l ; 1,5G_g]$	3,75
Espacement réel (cm)	$e_h = \frac{100 - (\phi * n + enr * 2)}{n - 1}$	14,27	15,00
Aciers de répartition	$A_r(cm^2)$	$A_r = \frac{A_{st}}{3}$	2,30
Acier		06HA10 Soit 4,71 cm²/ml	
Espacement réel (cm)	$e_h(cm)$	17,60	20,00

Vérification des contraintes de l'acier à l'ELS

Position de l'axe neutre Y_{ser}	$\frac{b_o}{2} Y_{ser}^2 - nA_{st}(d - Y_{ser}) = 0$	$\frac{1}{2} Y_{ser}^2 - 15A_{st}(0,18 - Y_{ser}) = 0$	0,18
Moment quadratique I_{ser}	$I_{ser}(m^4)$	$I_{ser} = \frac{b_o}{2} Y_{ser}^3 + nA_{st}(d - Y_{ser})^2$	0,00294
Contraintes du béton	$\sigma_{bc}(MPa)$	$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I_{ser}} Y_{ser}$	1,39
	$\bar{\sigma}_{bc}(MPa)=15$	$\sigma_{bc} < \bar{\sigma}_{bc}$	Contrainte du béton vérifiée
Contraintes des	$\sigma_{st}(MPa)$	$\sigma_{st} = n \frac{M_{ser}}{I_{ser}} (d - Y_{ser})$	-5,20

aciers	$\bar{\sigma}_{st} (MPa)$	$\bar{\sigma}_{st}$ $= \min \left\{ \frac{2}{3} F_e; \max \left(\frac{1}{2} F_e; 110 \sqrt{\eta F t_j} \right) \right\}$	201,63
	$\bar{\sigma}_{st} (MPa) = 210,63$	$\sigma_{st} < \bar{\sigma}_{st}$	Contrainte de l'acier vérifiée

➤ **Dimensionnement des piédroits**

Descente des charge et calcul des sollicitations

Charges permanentes	Poids propre du piédroit (KN/ml)	$P_1 = e' \times b \times \gamma_b$	2,25
	Poussée des terres	$P_2 = \frac{1}{2} \times K_a \times H^2 \times \gamma_{terre}$	1,76
Charges d'exploitations	Roue isolée de 100KN	Q1	50,00

Sollicitations

Effort normal	Nser	$P_1 + 1,2Q_1$	62,25
Efforts tranchant	Vser (KN/ml)	$V_{ser} = \frac{P_2}{3}$	0,59
Moment	Mser (KN.m/ml)	$M_{ser} = \frac{P_2 \times H}{3}$	0,35
Effort normal	Nu	$1,35(P_1) + 1,6Q_1$	83,04
Efforts tranchant	Vu (KN/ml)	$V_u = 1,35 \times \frac{P_2}{3}$	0,79
Moment	Mu (KN.m/ml)	$M_u = 1,35 \times \frac{P_2 \times l}{3}$	0,48

Calcul des sections d'aciers

Excentricité du premier ordre	e1(m)	$e1 = \frac{M_{ser}}{N_{ser}}$	0,01
Excentricité due aux effets secondaires	e2(m)	$e2 = \max (2cm, L/250)$	0,02
		$\alpha = 10 \left(1 - \frac{M_u}{1,5 M_{ser}} \right)$	1,00
Excentricité additionnelle		$e3 = \frac{3L_f^2}{10000h} (2 + \alpha\phi)$	0,00

Excentricité	e		0,03
Effort de compression centré max supportable par le béton	N_{bmax} (MN)	$N_{bmax} = b \times h \times f_{bc}$	3,19
Coefficient de remplissage	ψ_1	$\psi_1 = \frac{N_{ser}}{N_{bmax}}$	0,02
$\psi_1 < 0,81$ d'où $e_{NC} = \zeta \times h$	$\zeta = 0,1645$	$e_{NC} = \zeta \times h$	0,003
Conclusion	$e > e_{NC}$	La section est partiellement comprimée	
	e_A (m)	$e_A = e + (d - 0,5h)$	0,09
Moment fictif	M_{serf} (KN.m)	$M_{serf} = N_{ser} \times e_A$	5,72
	$\bar{\alpha}_{ser}$	$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n\bar{\sigma}_{bc}}{n\bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}}$	0,53
	Y_{ser} (m)	$Y_{ser} = d \times \bar{\alpha}_{ser}$	0,09
	Z_{ser} (m)	$Z_{ser} = d - \frac{Y_{ser}}{3}$	0,10
Moment réduit	M_{serb} (KN.m)	$M_{serb} = \frac{1}{2} b o \times Z_{ser} \times \bar{\sigma}_{bc} \times Y_{ser}$	73,59
Conclusion	$M_{serf} < M_{serb}$	Pas d'acier comprimé	
Section d'acier fictive	A_{stf} (cm ²)	$A_{stf} = \frac{M_{serf}}{Z_{ser} \times \sigma_{st}}$	1,59
Section d'acier théorique	A_s	$A_s = A_{stf} - \frac{N_{ser}}{\sigma_{st}}$	-0,20
Condition de non fragilité	A_{stmin} (cm ²)	$A_{stmin} = \max\left(\frac{bh}{100}; \frac{0,23 b d f_{tj}}{f_e}\right)$	2,45
Choix	A_{st} (cm ²)	$\max(A_s; A_{stmin})$	2,45
Acier		08HA10 Soit 6,28 cm²	
Espacement	e_h (cm) = $\frac{100 - (\phi * n + enr * 2)}{n - 1}$	13,03	15,00
Aciers de répartition	A_r (cm ²)	$A_r = \frac{A_{ST}}{3}$	0,82
Acier		6HA8 Soit 3,02 cm²/ml	

Espacement réel (cm)	$e_h (cm)$	17,84	20,00
----------------------	------------	-------	-------

➤ **Dimensionnement du radier**

Descente des charge et calcul des sollicitations

Charges permanentes	Poids propre du radier (KN/m)	$P_1 = e' \times b \times \gamma_b$	3,00
	Poids des piédroits (KN/m)	$P_2 = \frac{2 \times e' \times h}{B} \times \gamma_b$	2,14
		G	5,14
Charges d'exploitations	Roue isolée de 100KN	$Q_1 = \frac{100}{b \times B}$	125,00

Sollicitations

Effort normal	Nser		
Efforts tranchant	Vser (KN/ml)	$Vser = \frac{G \times l}{2} + 1,2 \frac{Q}{2}$	77,06
Moment	Mser (KN.m/ml)	$Mser = \frac{G \times l^2}{8} + 1,2 \frac{Q \times l}{4}$	30,41
Effort normal	Nu		
Efforts tranchant	Vu (KN/ml)	$Vu = 1,35 \frac{G \times l}{2} + 1,6 \frac{Q \times l}{2}$	43,03
Moment	Mu (KN.m/ml)	$Mu = 1,35 \frac{G \times l^2}{8} + 1,6 \frac{Q \times l}{4}$	32,56

Calcul des sections d'aciers

Moment à L'ELS	Mser		30,41
	$\overline{\alpha}_{ser}$	$\overline{\alpha}_{ser} = \frac{n \overline{\sigma}_{bc}}{n \overline{\sigma}_{bc} + \overline{\sigma}_{st}}$	0,53
	Yser(m)	$Yser = d \times \overline{\alpha}_{ser}$	0,09
	Zser(m)	$Zser = d - \frac{Yser}{3}$	0,15
Moment réduit	Mserb(KN. m)	$Mserb = \frac{1}{2} b o \times Zser \times \overline{\sigma}_{bc} \times Yser$	105,63
Conclusion	$M_{rserb} > M_{ser}$	Pas d'aciers comprimés	
Section d'acier tendu	$A_{st}(Cm^2)$	$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \overline{\sigma}_{st}}$	10,17

Condition de non fragilité	$A_{stmin} (cm^2)$	$A_{stmin} = \frac{0,23 b d f_{tj}}{f_e}$	1,63
Choix	A_{st}	$\max(A_{st} ; A_{stmin})$	10,17
Acier		10HA12 soit 11,31 cm²	
Espacement minimal	$e_{ht} (cm)$	$e_{ht} = \max[\phi_l ; 1,5G_g]$	3,00
Espacement réel (cm)	$e_h (cm)$	8,89	10,00
Aciers de répartition	$A_r (cm^2)$	$A_r = \frac{\phi_l}{3}$	4,00
Acier		07HA10 Totalisant la section de 5,50 cm²	
Espacement réel (cm)	$e_h (cm)$	14,17	15,00

Section du caniveau : 1,50 × 1,50 m²

➤ Les dimensions géométriques

Epaisseur du voile et du radier : 15 Cm

Epaisseur de la dalette : 15 Cm

Portée de la dalette : 1,65 m

Hauteur libre du canal : 1,50 m

Ouverture du canal : 1,50 m

Epaisseur du Piédroit : 15 Cm

Largeur totale du canal : 1,80 m

➤ Dimensionnement de la dalette

Descente des charge et calcul des sollicitations

Charges permanentes	Poids propre de la dalle (KN/ml)	$P_3 = e \times b \times \gamma_b$	2,50
Charges d'exploitations	Roue isolée de 100KN	Q1	100,00

Sollicitations

Efforts tranchant	$V_{ser} (kN/ml)$	$V_{ser} = \frac{P_1 \times l}{2} + \frac{Q_1}{2}$	62,06
Moment	$M_{ser} (kN.m/ml)$	$M_{ser} = \frac{P_1 \times l^2}{8} + \frac{Q_1 l}{4}$	50,35
Efforts tranchant	$V_u (kN/ml)$	$V_u = 1,35 \times \frac{P_1 \times l}{2} + 1,61 \times \frac{Q_1}{2}$	83,28

Moment	Mu (kN.m/ml)	$Mu = 1,35 \times \frac{P_1 \times l^2}{8} + 1,61 \times \frac{Q_1}{4} l$	67,56
--------	--------------	---	-------

Calcul des sections d'aciers

Moment réduit	μ_u	$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}}$	0,26
Moment réduit limite	μ_{ul}		0,19
Conclusion	$\mu_u > \mu_{ul}$	FAUX	
	α_u	$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u})$	0,39
	$Z_u(m)$	$Z_u = d \times (1 - 0,4 \times \alpha_u)$	0,11
Section d'aciers	$A_{st}(cm^2)$	$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_{st}}$	17,02
Condition de non fragilité	$A_{st}(cm^2)$	$A_{stmin} = \frac{0,23 b d f_{tj}}{f_e}$	1,63
Choix	$A_{st}(cm^2)$	$\max(A_{st}; A_{stmin})$	17,02
Acier		09HA16 Soit 18,10 cm²/ml	
Espacement minimal	$e_{ht}(cm)$	$e_{ht} = \max[\phi_l; 1,5G_g]$	3,75
Espacement réel (cm)	$e_h = \frac{100 - (\phi * n + enr * 2)}{n - 1}$	9,95 $e_{ht} = \max[\phi_l; 1,5G_g]$	10,00
Aciers de répartition	$A_r(cm^2)$	$A_r = \frac{A_{st}}{3}$	5,67
Acier		08HA10 Soit 6,28 cm²/ml	
Espacement réel (cm)	$e_h(cm)$	12,29	15,00

$$e_h(cm)$$

Calcul des la section des aciers comprimés

Moment résistant	Murb	$M_{urb} = \mu_L \times b d^2 f_{bu}$	85,39
Moment réduit	Mr	$M_r = M_u - M_{urb}$	-17,83
Section d'aciers	$A_{sc}(cm^2)$	$A_{sc} = \frac{M_r}{(d - d') \times \sigma_{st}}$	3,20
Choix	$A_{st}(Cm^2/ml)$	$\max(A_{st}; A_{stmin})$	3,20
Acier		06HA10 Soit 4,71 cm²/ml	

$$\max(A_{st}; A_{stmin})$$

Espacement minimal	$e_{ht}(cm)$	$e_{ht} = \max[\phi_l ; 1,5G_g]$	3,75
Espacement réel (cm)	$e_h = \frac{100 - (\phi * n + enr * 2)}{n - 1}$	17,60	20,00
Aciers de répartition	Ar(cm ²)	$e_{ht} = \max[\phi_l ; 1,5G_g]$ $A_r = \frac{A_{st}}{3}$	1,07
Acier		06HA08 Soit 3,02 cm²/ml	
Espacement réel (cm)	$e_h(cm)$	17.84	20

Vérification des contraintes de l'acier à l'ELS

Position de l'axe neutre Y _{ser}	$\frac{b_o}{2} Y_{ser}^2 - nA_{st}(d - Y_{ser}) = 0$	$\frac{1}{2} Y_{ser}^2 - 15A_{st}(0,18 - Y_{ser}) = 0$	0,18
Moment quadratique I _{ser}	$I_{ser}(m^4)$	$I_{ser} = \frac{b_o}{2} Y_{ser}^3 + nA_{st}(d - Y_{ser})^2$	0,00297
Contraintes du béton	$\sigma_{bc}(MPa)$	$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I_{ser}} Y_{ser}$	3,05
	$\bar{\sigma}_{bc}(MPa) = 15$	$\sigma_{bc} < \bar{\sigma}_{bc}$	Contrainte du béton vérifiée
Contraintes des aciers	$\sigma_{st}(MPa)$	$\sigma_{st} = n \frac{M_{ser}}{I_{ser}} (d - Y_{ser})$	-11,45
	$\bar{\sigma}_{st}(MPa)$	$\bar{\sigma}_{st} = \min \left\{ \frac{2}{3} F_e ; \max \left(\frac{1}{2} F_e ; 110 \sqrt{\eta F t_j} \right) \right\}$	201,63
	$\bar{\sigma}_{st}(MPa) = 210,63$	$\sigma_{st} < \bar{\sigma}_{st}$	Contrainte de l'acier vérifiée

➤ Dimensionnement des piédroits

Descente de charge et calcul des sollicitations

Charges permanentes	Poids propre du piédroit (KN/ml)	$P_1 = e' \times b \times \gamma_b$	5,63
	Poussée des terres	$P_2 = \frac{1}{2} \times Ka \times H^2 \times \gamma_{terre}$	6,98
Charges d'exploitations	Roue isolée de 100KN	Q1	50,00

Sollicitations

Effort normal	N _{ser}	$P_1 + 1,2Q_1$	65,63
Efforts tranchant	V _{ser} (KN/ml)	$V_{ser} = \frac{P_2}{3}$	2,33
Moment	M _{ser} (KN.m/ml)	$M_{ser} = \frac{P_2 \times H}{3}$	3,49
Effort normal	N _u	$1,35(P_1) + 1,6Q_1$	87,59
Efforts tranchant	V _u (KN/ml)	$V_u = 1,35 \times \frac{P_2}{3}$	3,14
Moment	M _u (KN.m/ml)	$M_u = 1,35 \times \frac{P_2 \times l}{3}$	4,71

Calcul des sections d'aciers

Excentricité de premier ordre	e ₁ (m)	$e_1 = \frac{M_{ser}}{N_{ser}}$	0,05
Excentricité due aux effets secondaires	e ₂ (m)	$e_2 = \max(2\text{cm}, L/250)$	0,02
		$\alpha = 10(1 - \frac{M_u}{1,5 M_{ser}})$	1,00
Excentricité additionnelle		$e_3 = \frac{3L_f^2}{10000h}(2 + \alpha\varphi)$	0,00
Excentricité	e		0,08
Effort de compression centré max supportable par le béton	N _{bmax} (MN)	$N_{bmax} = b \times h \times f_{bc}$	3,19
Coefficient de remplissage	ψ ₁	$\psi_1 = \frac{N_{ser}}{N_{bmax}}$	0,02
ψ ₁ < 0,81 d'où	ζ = 0,1645	$e_{NC} = \zeta \times h$	0,003
Conclusion	$e > e_{NC}$	La section est partiellement comprimée	
	e _A (m)	$e_A = e + (d - 0,5h)$	0,14
Moment fictif	M _{serf} (KN.m)	$M_{serf} = N_{ser} \times e_A$	12,45

	$\overline{\alpha}_{ser}$	$\overline{\alpha}_{ser} = \frac{n\overline{\sigma}_{bc}}{n\overline{\sigma}_{bc} + \overline{\sigma}_{st}}$	0,53
	$Y_{ser}(m)$	$Y_{ser} = d \times$	0,07
	$Z_{ser}(m)$	$Z_{ser} = d - \frac{Y_{ser}}{3}$	0,11
Moment réduit	$M_{serb}(KN.m)$	$M_{serb} = \frac{1}{2} b o \times Z_{ser} \times \overline{\sigma}_{bc} \times Y_{ser}$	59,41
Conclusion	$M_{serf} < M_{serb}$	Pas d'acier comprimé	
Section d'acier fictive	$A_{stf}(cm^2)$	$A_{stf} = \frac{M_{serf}}{Z_{ser} \times \sigma_{st}}$	3,22
Section d'acier théorique	A_s	$A_s = A_{stf} - \frac{N_{ser}}{\sigma_{st}}$	1,33
Condition de non fragilité	$A_{stmin}(Cm^2)$	$A_{stmin} = \max\left(\frac{bh}{100}; \frac{0,23 b d f_{tj}}{f_e}\right)$	2,45
Choix	$A_{st}(Cm^2)$	$\max(A_s; A_{stmin})$	2,45
Acier		08HA10 Soit 6,28 cm²	
Espacement	$e_h(cm)$ $= \frac{100 - (\phi * n + enr * 2)}{n - 1}$	13,03	15,00
Aciers de répartition	$A_r(cm^2)$	$A_r = \frac{A_{ST}}{3}$	0,82
Acier		8HA8 Soit 4,02 cm²/ml	
Espacement réel (cm)	$e_h(cm)$	12,51	15,00

➤ **Dimensionnement du radier**

Descente des charge et calcul des sollicitations

Charges permanentes	Poids propre du radier (KN/m)	$P_1 = e' \times b \times \gamma_b$	5,63
	Poids des pîdroits (KN/m)	$P_2 = \frac{2 \times e' \times h}{B} \times \gamma_b$	5,36
		G	10,98

Charges d'exploitations	Roue isolée de 100KN	$Q_1 = \frac{100}{b \times B}$	66,67
-------------------------	----------------------	--------------------------------	-------

Sollicitations

Effort normal	Nser		
Efforts tranchant	Vser (KN/ml)	$V_{ser} = \frac{G \times l}{2} + 1,2 \frac{Q}{2}$	48,24
Moment	Mser (KN.m/ml)	$M_{ser} = \frac{G \times l^2}{8} + 1,2 \frac{Q \times l}{4}$	33,09
Effort normal	Nu		
Efforts tranchant	Vu (KN/ml)	$V_u = 1,35 \frac{G \times l}{2} + 1,6 \frac{Q \times l}{2}$	48,62
Moment	Mu (KN.m/ml)	$M_u = 1,35 \frac{G \times l^2}{8} + 1,6 \frac{Q \times l}{4}$	64,17

Calcul des sections d'aciers

Moment à L'ELS	Mser		33,09
	$\overline{\alpha}_{ser}$	$\overline{\alpha}_{ser} = \frac{n \overline{\sigma}_{bc}}{n \overline{\sigma}_{bc} + \overline{\sigma}_{st}}$	0,53
	Yser (m)	$Y_{ser} = d \times \overline{\alpha}_{ser}$	0,09
	Zser (m)	$Z_{ser} = d - \frac{Y_{ser}}{3}$	0,10
Moment réduit	Mserb (KN.m)	$M_{serb} = \frac{1}{2} b o \times Z_{ser} \times \overline{\sigma}_{bc} \times Y_{ser}$	73,59
Conclusion	$M_{rserb} > M_{ser}$	Pas d'aciers comprimés	
Section d'acier tendu	$A_{st} (cm^2)$	$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \overline{\sigma}_{st}}$	15,88
Condition de non fragilité	$A_{stmin} (cm^2)$	$A_{stmin} = \frac{0,23 b d f_{tj}}{f_e}$	2,45
Choix	Ast	$\max(A_{st} ; A_{stmin})$	15,88
Acier		11HA14 soit 16,93 cm²	
Espacement minimal	$e_{ht} (cm)$	$e_{ht} = \max[\phi_l ; 1,5 G_g]$	3,00
Espacement réel (cm)	$e_h (cm)$	7,66	10,00

Aciers de répartition	$A_r(\text{cm}^2)$	$A_r = \frac{\phi_l}{3}$	4,67
Acier	08HA10 Totalisant une section de 6,28 cm²		
Espacement réel (cm)	$e_h(\text{cm})$	12,00	15,00

Section du caniveau : 1,00 × 1,20 m²

➤ Les dimensions géométriques

Epaisseur du voile et du radier : 15 Cm

Epaisseur de la dalette : 15 Cm

Portée de la dalette : 1,15 m

Hauteur libre du canal : 1,20 m

Ouverture du canal : 1,00 m

Epaisseur du Piédroit : 15 Cm

Largeur totale du canal : 0,90 m

➤ Dimensionnement de la dalette

Descente des charge et calcul des sollicitations

Charge permanentes	Poids propre (KN/ml)	$P_3 = e \times b \times \gamma_b$	2,50
Charges d'exploitations	Roue isolée de 100KN	Q1	100,00

Sollicitations

Efforts tranchant	Vser (KN/ml)	$V_{ser} = \frac{P_1 \times l}{2} + \frac{Q_1}{2}$	61,44
Moment	Mser (KN.m/ml)	$M_{ser} = \frac{P_1 \times l^2}{8} + \frac{Q_1}{4} l$	34,91
Efforts tranchant	Vu (KN/ml)	$V_u = 1,35 \times \frac{P_1 \times l}{2} + 1,61 \times \frac{Q_1}{2}$	82,44
Moment	Mu (KN.m/ml)	$M_u = 1,35 \times \frac{P_1 \times l^2}{8} + 1,61 \times \frac{Q_1}{4} l$	46,85

Calcul des sections d'aciers

Moment réduit	μ_u	$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}}$	0,18
Moment réduit limite	μ_{ul}		0,19

Conclusion	$\mu_u < \mu_{ul}$	Pivot A il n'y a pas d'aciers comprimés	
	α_u	$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u})$	0,25
	$Z_u(m)$	$Z_u = d \times (1 - 0,4 \times \alpha_u)$	0,12
Section d'aciers	$A_{st}(cm^2)$	$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_{st}}$	11,10
Condition de non fragilité	$A_{stmin}(cm^2)$	$A_{stmin} = \frac{0,23 b d f_{tj}}{f_e}$	1,63
Choix	$A_{st}(cm^2/ml)$	$\max(A_{st}; A_{stmin})$	11,10
Acier		09HA16 Soit 18,10 cm²/ml	
Espacement minimal	$e_{ht}(cm)$	$e_{ht} = \max[\phi_l; 1,5G_g]$	3,75
Espacement réel (cm)	$e_h = \frac{100 - (\phi * n + enr * 2)}{n - 1}$	9,95	10,00
Aciers de répartition	$A_r(cm^2)$	$A_r = \frac{A_{st}}{3}$	3,70
Acier		08HA10 Soit 6,28 cm²/ml	
Espacement réel (cm)	$e_h(cm)$	12,29	15,00

Vérification des contraintes de l'acier à l'ELS

Position de l'axe neutre Y_{ser}	$\frac{b_o}{2} Y_{ser}^2 - nA_{st}(d - Y_{ser}) = 0$	$\frac{1}{2} Y_{ser}^2 - 15A_{st}(0,18 - Y_{ser}) = 0$	0,18
Moment quadratique I_{ser}	$I_{ser}(m^4)$	$I_{ser} = \frac{b_o}{2} Y_{ser}^3 + nA_{st}(d - Y_{ser})^2$	0,00295
Contraintes du béton	$\sigma_{bc}(MPa)$	$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I_{ser}} Y_{ser}$	2,13
	$\bar{\sigma}_{bc}(MPa) = 15$	$\sigma_{bc} < \bar{\sigma}_{bc}$	Contrainte du béton vérifiée
Contraintes des aciers	$\sigma_{st}(MPa)$	$\sigma_{st} = n \frac{M_{ser}}{I_{ser}} (d - Y_{ser})$	-7,99
	$\bar{\sigma}_{st}(MPa)$	$\bar{\sigma}_{st} = \min\left\{\frac{2}{3} F_e; \max\left(\frac{1}{2} F_e; 110\sqrt{\eta Ft_j}\right)\right\}$	201,63

	$\bar{\sigma}_{st}(MPa) = 210,63$	$\sigma_{st} < \bar{\sigma}_{st}$	Contrainte de l'acier vérifiée
--	-----------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------

➤ **Dimensionnement des piédroits**

Descente des charge et calcul des sollicitations

Charges permanentes	Poids propre du piédroit (KN/ml)	$P_1 = e' \times b \times \gamma_b$	3,75
	Poussée des terres	$P_2 = \frac{1}{2} \times Ka \times H^2 \times \gamma_{terre}$	4,46
Charges d'exploitations	Roue isolée de 100KN	Q1	50,00

Sollicitations

Effort normal	Nser	$P_1 + 1,2Q_1$	63,75
Efforts tranchant	Vser (KN/ml)	$Vser = \frac{P_2}{3}$	1,49
Moment	Mser (KN.m/ml)	$Mser = \frac{P_2 \times H}{3}$	1,79
Effort normal	Nu	$1,35(P_1) + 1,6Q_1$	85,06
Efforts tranchant	Vu (KN/ml)	$Vu = 1,35 \times \frac{P_2}{3}$	2,01
Moment	Mu (KN.m/ml)	$Mu = 1,35 \times \frac{P_2 \times l}{3}$	2,41

Calcul des sections d'aciers

Excentricité du premier ordre	e1(m)	$e1 = \frac{M_{ser}}{N_{ser}}$	0,03
Excentricité due aux effets secondaires	e2(m)	$e2 = \max(2cm, L/250)$	0,02
		$\alpha = 10(1 - \frac{M_u}{1,5 M_{ser}})$	1,00
Excentricité additionnelle		$e3 = \frac{3L_f^2}{10000h}(2 + \alpha\varphi)$	0,00
Excentricité	e		0,05
Effort de compression centré max supportable	Nbmax (MN)	$N_{bmax} = b \times h \times f_{bc}$	3,19

par le béton			
Coefficient de remplissage	ψ_1	$\psi_1 = \frac{N_{ser}}{Nb_{max}}$	0,02
$\psi_1 < 0,81$ d'où	$\zeta = 0,1645$	$e_{NC} = \zeta \times h$	0,003
Conclusion	$e > e_{NC}$	La section est partiellement comprimée	
	$e_A(m)$	$e_A = e + (d - 0,5h)$	0,11
Moment fictif	$M_{serf}(KN.m)$	$M_{serf} = N_{ser} \times e_A$	8,81
	$\overline{\alpha}_{ser}$	$\overline{\alpha}_{ser} = \frac{n\overline{\sigma}_{bc}}{n\overline{\sigma}_{bc} + \overline{\sigma}_{st}}$	0,53
	$Y_{ser}(m)$	$Y_{ser} = d \times \overline{\alpha}_{ser}$	0,07
	$Z_{ser}(m)$	$Z_{ser} = d - \frac{Y_{ser}}{3}$	0,11
Moment réduit	$M_{serb}(KN.m)$	$M_{serb} = \frac{1}{2} b o \times Z_{ser} \times \overline{\sigma}_{bc} \times Y_{ser}$	59,41
Conclusion	$M_{serf} < M_{serb}$	Pas d'acier comprimé	
Section d'acier fictive	$A_{stf}(cm^2)$	$A_{stf} = \frac{M_{serf}}{Z_{ser} \times \sigma_{st}}$	2,28
Section d'acier théorique	A_s	$A_s = A_{stf} - \frac{N_{ser}}{\sigma_{st}}$	0,44
Condition de non fragilité	$A_{stmin}(cm^2)$	$A_{stmin} = \max\left(\frac{bh}{100}; \frac{0,23 b d f_{tj}}{f_e}\right)$	2,45
Choix	$A_{st}(cm^2)$	$\max(A_s; A_{stmin})$	2,45
Acier		08HA10 Soit 6,28 cm²	
Espacement	$e_h(cm)$ $= \frac{100 - (\phi * n + enr * 2)}{n - 1}$	13,03	15,00
Aciers de répartition	$A_r(cm^2)$	$A_r = \frac{A_{ST}}{3}$	0,82
Acier		8HA8 Soit 4,02 cm²/ml	
Espacement réel (cm)	$e_h(cm)$	12,51	15,00

➤ Dimensionnement du radier

Descente des charge et calcul des sollicitations

Charges permanentes	Poids propre du radier (KN/m)	$P_1 = e' \times b \times \gamma_b$	5,63
	Poids des piédroits (KN/m)	$P_2 = \frac{2 \times e' \times h}{B} \times \gamma_b$	4,29
		G	9,91
Charges d'exploitations	Roue isolée de 100KN	$Q_1 = \frac{100}{b \times B}$	66,67
Sollicitations			
Effort normal	Nser		
Efforts tranchant	Vser (KN/ml)	$V_{ser} = \frac{G \times l}{2} + 1,2 \frac{Q}{2}$	47,43
Moment	Mser (KN.m/ml)	$M_{ser} = \frac{G \times l^2}{8} + 1,2 \frac{Q \times l}{4}$	32,79
Effort normal	Nu		
Efforts tranchant	Vu (KN/ml)	$V_u = 1,35 \frac{G \times l}{2} + 1,6 \frac{Q \times l}{2}$	47,53
Moment	Mu (KN.m/ml)	$M_u = 1,35 \frac{G \times l^2}{8} + 1,6 \frac{Q \times l}{4}$	63,76

Calcul des sections d'aciers

Moment à L'ELS	Mser		32,79
	α_{ser}	$\alpha_{ser} = \frac{n \bar{\sigma}_{bc}}{n \bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}}$	0,53
	Yser(m)	$Y_{ser} = d \times \alpha_{ser}$	0,09
	Zser(m)	$Z_{ser} = d - \frac{Y_{ser}}{3}$	0,10
Moment réduit	Mserb(KN.m)	$M_{serb} = \frac{1}{2} b o \times Z_{ser} \times \bar{\sigma}_{bc} \times Y_{ser}$	73,59
Conclusion	$M_{rserb} > M_{ser}$	Pas d'aciers comprimés	
Section d'acier tendu	$A_{st}(cm^2)$	$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \bar{\sigma}_{st}}$	15,73
Condition de non fragilité	$A_{stmin}(cm^2)$	$A_{stmin} = \frac{0,23 b d f_{tj}}{f_e}$	2,45
Choix	Ast	$\max(A_{st}; A_{stmin})$	15,73

Acier		11HA14 soit 16,93 cm²	
Espacement minimal	$e_{ht}(cm)$	$e_{ht} = \max[\phi_l ; 1,5G_g]$	3,00
Espacement réel (cm)	$e_h(cm)$	7,66	10,00
Aciers de répartition	$A_r(cm^2)$	$A_r = \frac{\phi_l}{3}$	4,67
Acier		08HA10 Totalisant une section de 6,28 cm²	
Espacement réel (cm)	$e_h(cm)$	12,00	15,00

Dalots 3 × 2,50 × 2,50 m²

➤ Calcul des charges permanentes :

Charge permanentes	Application littérales	Application numériques	Valeurs obtenues [kN/m ²]
Tablier	$P_{pTablier} = \gamma_{béton} \times e$	$P_{pTablier} = 25 \times 0,3$	7,5
	$P_{pRemblai} = \gamma_{GLN} \times e_R$	$P_{pRemblai} = 20 \times 0,3$	6
	$P_{pGuideRoue} = \gamma_{béton} \times e_{GR} \times 2$	$P_{pGuideRoue} = 25 \times 0,3 \times 2$	0,72
Radier	$P_{pRemblai} = \gamma_{GLN} \times e_R$	$P_{pRemblai} = 20 \times 0,3$	14,22
	$P_{pGuideRoue} = \gamma_{béton} \times e_{GR} \times 2$ $P_{pPiédroits} = n \times \frac{\gamma_{béton} \times e \times h \times 2}{L_{hydro}}$	$P_{pGuideRoue} = 25 \times 0,3 \times 2,5$ $P_{pPiédroits} = 4 \times \frac{25 \times 0,3 \times 2,5}{3 \times 2,5}$	10,00
	$P_{pRadier} = \gamma_{béton} \times e$	$P_{pRadier} = 25 \times 0,3$	7,5
	$P_{pPiédroits} = n \times \frac{\gamma_{béton} \times e \times h}{L_{hydro}}$ $P_{pRadier} = \gamma_{béton} \times e$	$P_{pPiédroits} = 4 \times \frac{25 \times 0,3 \times 2,5}{3 \times 2,5}$	31,72
Poussée Latérales sur les Piédroits	$G_h = Ka \times \gamma_{GLN} \times Z$	$G_h = 0,31 \times 20 \times (0,2 + 0,2)$	2,48
	$G_b \equiv Ka \times \gamma_{GLN} \times [Z + H]$	$G_b = 0,31 \times 20 \times (0,2 + 2,5)$	16,74
	G Terres [kN/m²]		19,22
	$G_b = Ka \times \gamma_{GL} \times [Z + H]$	$G_b = 0,31 \times 20 \times [0,2 + 2,5]$	

➤ Les Charges d'exploitations

Charge d'exploitations	Application littérales	Application numériques	Valeurs obtenues [kN/m ²]
------------------------	------------------------	------------------------	---------------------------------------

Système de charge A

A(L)	$A(L) = 2,30 + 360 / (L_c + 12)$	$A(L) = 2,30 + 360 / (7 + 12)$	21,25
La densité de la Charge effective	$q(L) = \text{Sup} \{a_1 A(L); (4)\}$	$q(L) = \text{Sup} \{1 \times 21,25; (4)\}$	21,25
Q (ELU)	$Q = \gamma_q \times a_2 \times q(L)$	$Q = 1,61 \times 1 \times q(L)$	34,21
Q (ELS)		$Q = 1,2 \times 1 \times q(L)$	25,50

Avec :

a_1 : le coefficient dépendant de la classe du pont et du nombre de voies chargées

$a_2 = \frac{v_0}{v}$ avec v : la largeur de la voie, v_0 est donné en fonction de la classe du pont

$L_r \geq 7$ donc on étudie un dalot de première classe

Classe du Pont	Nombre de voie sur la chaussée				
	1	2	3	4	5
I	1,0	1,0	0,9	0,75	0,75
II	1,0	0,9	-	-	-
III	0,9	0,8	-	-	-

En utilisant le système B à savoir (les systèmes Bc, Bt et Br)

Les charges d'exploitation prises en compte pour l'ouvrage sont les systèmes Bc, Bt

Les Charges sous Système B

Gt (KN)	$G = G_{\text{tablier}} \times L_r$	$G = 14,22 \times 7 \times 2,5$	248,90
Gr (KN)	$G = G_{\text{radier}} \times L_r \times \text{largeur}$	$G = 31,72 \times 7 \times 2,5$	555,15
Système Bt		Système Bc	
Bt = 160×4	640	$G = 14,22 \times 7 \times 2,5$	480
bt	1	Bc	1,1
SBt (KN)	640	SBc (KN)	528
S(m ²)	8,96	S(m ²)	8,3125
Système Bc_Espace UEMOA		Système Br	
Bc-N = 130×4	520	Br = 100	100
bc-UEMOA	1,1	br	1

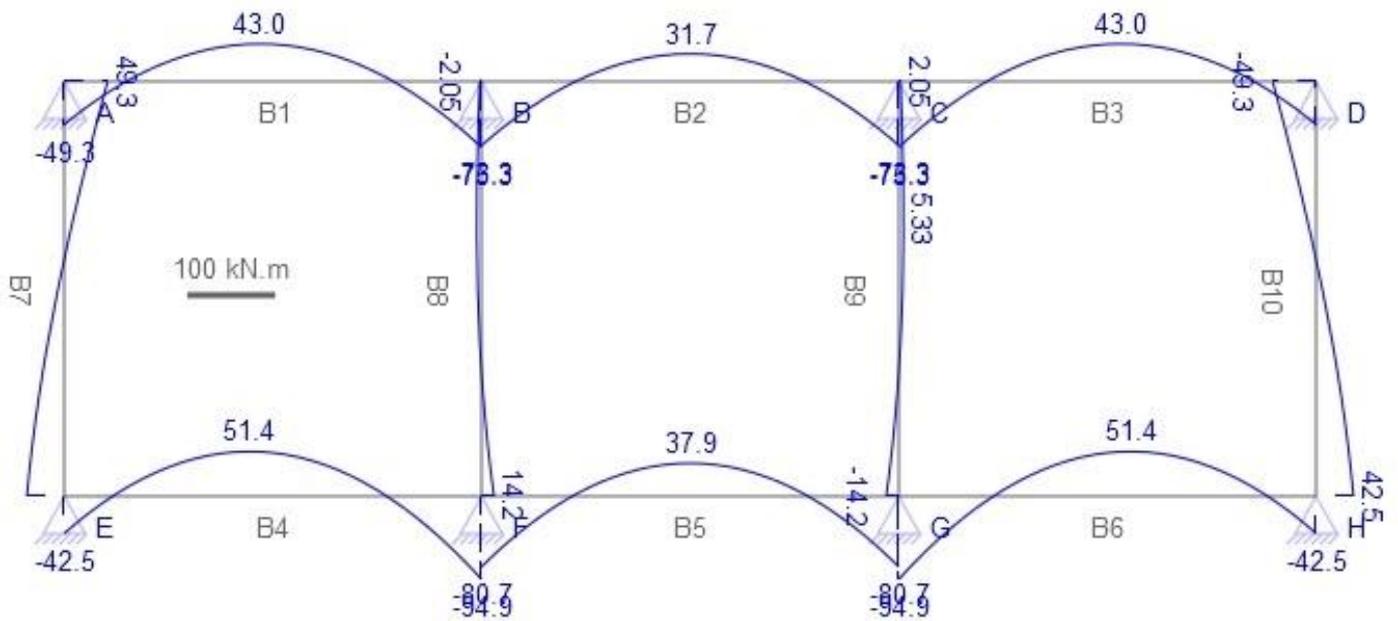
SBc-UEMOA	572	SBr(KN)	100
S (m ²)	8,64	S(m ²)	
δ (m)	$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times Lr}$	$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 7}$	1,40
Charge max (KN/m ²)	$B_{c-UEMOA} = \frac{S_{c-UEMOA}}{S}$		71,43
Charge d'exploitation sur le tablier	$Q_{B1} = \gamma_q \times \delta \times b \times B$	ELU	177,2824825
		ELS	120,1236471
Charge d'exploitation sur le radier	$Q_{B2} = \gamma_q \times \delta \times b \times B$	ELU	177,2824825
		ELS	120,1236471

On obtient finalement les charges suivantes après l'utilisation de plusieurs combinaisons :

Eléments	Combinaison de charges	Valeurs obtenues [kN/m]	
Tablier	$P_{\text{tablier}}(ELU) = 1,35 \times G_{\text{tablier}} +$	196,483	
	$P_{\text{tablier}}(ELS) = G_{\text{tablier}} + Q_{ELS}$	134,347	
Radier	$P_{\text{Radier}}(ELU) = 1,35 \times G_{\text{Radier}} +$	220,108	
	$P_{\text{Radier}}(ELS) = G_{\text{radier}} +$	151,847	
Piédroit	Traverse (Haut)	$P_h(ELU) = 1,35 \times G_h + \gamma_Q \times K_a \times$	8,339
		$P_h(ELS) = G_h + \gamma_Q \times K_a \times q$	6,200
	Radier (Bas)	$P_b(ELU) = 1,35 \times G_b + \gamma_Q \times$	27,590
		$P_b(ELS) = G_b + \gamma_Q \times K_a \times q$	2

➤ Détermination des moments :

Après avoir calculer les charges s'appliquant sur la structure, nous allons utiliser le logiciel de calcul de structure Pybar afin de déterminer les moments sur l'ouvrage. Ainsi, on obtient :



Les moments maximums de dimensionnement pour le tablier, le radier et les piédroits sont présentés sur la figure ci-dessus.

➤ **Calcul des sections d'acier dans du tablier et du radier**

Désignations	Application linéaire pour le Tablier		Appuis	Travées	Travée AB et CD	Travée BC
Moment à L'ELS	Mser (kN.m)	PI Bar	78,30	43	43	31,7
Vérification de la présence des aciers comprimés		$M_{rserb} > M_{ser}$	Pas d'aciers comprimés	Pas d'aciers comprimés	Pas d'aciers comprimés	Pas d'aciers comprimés
Section d'acier tendu	$A_{st1} (cm^2)$	$A_{st1} = M_{ser} \frac{M_{ser}}{d \left(1 - \frac{M_{ser}}{3} \right) \sigma_{st}}$	10,12	5,56	5,56	4,10
Condition de non fragilité	$A_{stmin} (cm^2)$	$A_{stmin} = \frac{0,23 b d f_{tj}}{f_e}$	3,26	3,26	3,26	3,26
Choix	As	$\max(A_{st} ; A_{stmin})$	As = Ast	As = Ast	As = Ast	As = Ast
Acier			10HA12 soit 11,31 cm ²	8HA12 soit 9,05 cm ²	8HA12 soit 9,05 cm ²	08HA12 soit 9,05 cm ²
Espacement minimal	$e_{ht} (cm)$	$e_{ht} = \max[\phi_l ; 1,5G_g]$	3	3	3	3
Espacement réel (cm)	$e_{ht} (cm)$ $e_h (cm)$	$e_h = \frac{100 - (\phi * n + enr * 2)}{n - 1}$	9,11	12,06	12,06	12,06
Vérification des contraintes des matériaux						
Position de l'axe neutre	$e_h (cm)$					
	$\frac{b_o}{2} Y_{ser}^2 - n A_{st} (d - Y_{ser}) = 0$	$\frac{1}{2} Y_{ser}^2 - 15 A_{st} (0,27 - Y_{ser}) = 0$	0,26	0,26	0,26	0,26
Moment	$I_{ser} (m^4)$	$I_{ser} = \frac{b_o}{2} Y_{ser}^3 + n A_{st} (d - Y_{ser})^2$	8,79E-03	8,79E-03	8,79E-03	8,79E-03

quadratique Iser						
Contraintes du béton	$\sigma_{bc}(MPa)$	$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I_{ser}} Y_{ser}$	2,32	1,27	1,27	0,94
	$\bar{\sigma}_{bc}(MPa)=15$	$\sigma_{bc} < \bar{\sigma}_{bc}$	Contrainte du béton vérifiée	Contrainte du béton vérifiée	Contrainte du béton vérifiée	Contrainte du béton vérifiée
Contraintes des aciers	$\sigma_{st}(MPa)$	$\sigma_{st} = n \frac{M_{ser}}{I_{ser}} (d - Y_{ser})$	1,34	0,73	0,73	0,54
	$\bar{\sigma}_{st}(MPa) = 210,63$	$\sigma_{st} < \bar{\sigma}_{st}$	Contrainte de l'acier vérifiée	Contrainte de l'acier vérifiée	Contrainte de l'acier vérifiée	Contrainte de l'acier vérifiée
Désignations	Application linéaire pour le Radier		Appuis	Travées	Travée AB et CD	Travée BC
Moment à L'ELS	Mser (kN.m)	PI Bar	94,6	51,40	51,40	37,90
Vérification de la présence des aciers comprimés		$M_{rserb} > M_{ser}$	Pas d'aciers comprimés	Pas d'aciers comprimés	Pas d'aciers comprimés	Pas d'aciers comprimés
Section d'acier tendu	$A_{st1} (cm^2)$	$A_{st1} = M_{ser} \frac{M_{ser}}{d \left(1 - \frac{M_{ser}}{3} \right) \sigma_{st}}$	12,26	6,64	6,64	4,90
Condition de non fragilité	$A_{stmin} (cm^2)$	$A_{stmin} = \frac{0,23 b d f_{tj}}{f_e}$	3,26	3,26	3,26	3,26
Choix	As	$\max(A_{st} ; A_{stmin})$	As = Ast	As = Ast	As = Ast	As = Ast
Acier			07HA16 soit 14,07 cm²	10HA12 soit 11,31 cm²	10HA12 soit 11,31 cm²	08HA12 soit 9,05 cm²

Espacement minimal	$e_{ht}(cm)$	$e_{ht} = \max[\phi_l ; 1,5G_g]$	3	3	3	3
Espacement réel (cm)	$e_{ht}(cm)$ $e_h(cm)$	$e_h = \frac{100 - (\phi * n + enr * 2)}{n - 1}$	13,80	9,11	9,11	12,06
Vérification des contraintes des matériaux						
Position de l'axe neutre	$e_h(cm)$					
	$\frac{b_o}{2} Y_{ser}^2 - nA_{st}(d - Y_{ser}) = 0$	$\frac{1}{2} Y_{ser}^2 - 15A_{st}(0,27 - Y_{ser}) = 0$	0,26	0,26	0,26	0,26
Moment quadratique Iser	$I_{ser}(m^4)$	$I_{ser} = \frac{b_o}{2} Y_{ser}^3 + nA_{st}(d - Y_{ser})^2$	8,79E-03	8,79E-03	8,79E-03	8,79E-03
Contraintes du béton	$\frac{b_o}{2} Y_{ser}^2 - nA_{st}(d - Y_{ser}) = 0$	$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I_{ser}} Y_{ser}$	2,81	1,52	1,52	1,12
	$\bar{\sigma}_{bc}(MPa) = 15$	$\sigma_{bc} < \bar{\sigma}_{bc}$	Contrainte du béton vérifiée			
Contraintes des aciers	$\sigma_{st}(MPa)$	$\sigma_{st} = n \frac{M_{ser}}{I_{ser}} (d - Y_{ser})$	1,62	0,88	0,88	0,65
	$\bar{\sigma}_{st}(MPa) = 210,63$	$\sigma_{st} < \bar{\sigma}_{st}$	Contrainte de l'acier vérifiée			

➤ Calcul de la section d'acier dans les piédroits

Sections d'acier des pieds de rive

On va réaliser l'étude en flexion composé

Pour calculer la section d'acier, nous allons utiliser l'effort normal et moment à l'Etat Limite de Service pour les piédroits de rives.

Désignations	Application linéaire		Résultats
Moment à L'ELS	Mser	19,92	
Effort normal	Nser	168,8	
Excentricité du premier ordre	$e1 (m)$	$e1 = \frac{M_{ser}}{N_{ser}}$	0,12
Excentricité due aux effets secondaires	$e2 (m)$	$e2 (m) = \max(2cm; \frac{L}{250})$	0,02
Excentricité additionnelle	$e3 (m)$	$e3 = \frac{3L_f^2}{10000h} (2 + \alpha\varphi)$	0,0069
Excentricité	$e (m)$		0,14
Effort de compression centré max supportable par le béton	$N_{bmax} (MN)$	$N_{bmax} = b \times h \times f_{bc}$	4,25
Coefficient de remplissage	$\psi1$	$\psi1 = \frac{N_{ser}}{Nb_{max}}$	0,04
$\psi1 < 0,81$ d'où $e_{NC} = \zeta \times h$	$\zeta = 0,1645$	$e_{NC} = \zeta \times h$	0,0066
Conclusion	$e > e_{NC}$		La section est partiellement comprimée
	$e_A(m)$	$e_A = e + (d - 0,5h)$	0,26
Moment fictif	$M_{serf} (KN.m)$	$M_{serf} = N_{ser} \times e_A$	4,72
	$\overline{\alpha}_{ser}$	$\overline{\alpha}_{ser} = \frac{n\overline{\sigma}_{bc}}{n\overline{\sigma}_{bc} + \overline{\sigma}_{st}}$	0,53
	$Y_{ser}(m)$	$Y_{ser} = d \times \alpha_{ser}$	0,14

Bras de levier	$Z_{ser}(m)$	$Z_{ser} = d - \frac{y_{ser}}{3}$	0,2225
Moment réduit	$M_{serb}(KN.m)$	$M_{serb} = \frac{1}{2} b o \times Z_{ser} \times \bar{\sigma}_{bc} \times Y_{ser}$	237,66
Conclusion	$M_{serf} < M_{serb}$	OK	Pas d'acier comprimé
Section d'acier fictive	$A_{stf}(cm^2)$	$A_{stf} = \frac{M_{serf}}{Z_{ser} \times \sigma_{st}}$	9,96
Section d'acier	$A_s(cm^2)$	$A_s = A_{stf} - \frac{N_{ser}}{\sigma_{st}}$	1,59
Condition de non fragilité	$A_{stmin}(cm^2)$	$A_{stmin} = \max\left(\frac{bh}{100}; \frac{0,23 b d f_{tj}}{f_e}\right)$	3,26
Choix	$A_s(cm^2)$	$\max(A_{st}; A_{stmin})$	3,26
Acier			06HA12 Soit 6,79 cm²
Espacement	$E_s(cm)$	17,36	20

Sections d'acier des pieds d'intermédiaire

Désignations	Application linéaire		Résultats
Moment à L'ELS	M_{ser}	0	
Effort normal	N_{ser}	400,6	0,4006
Section réduite	$Br(m^2)$	$Br = (h-0,02)(b-0,02)$	0,1764
	λ	$\lambda = 3,5 \times \frac{lf}{e}$	30,63
	α	$\alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2 \times \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2}$	0,7371

Acier comprimés	A_{sc}	$A_{sc} = \frac{\gamma_s}{f_e} \left(\frac{Nu}{\alpha} - \frac{Br \times f_c 28}{0,9 Br} \right)$	0,00
		$4 U$	9,60
		$\frac{0,2 \times B}{100}$	4,00
Acier min		$A_{scmin} = \max \left(4 U ; \frac{0,2 \times B}{100} \right)$	9,60
	Choix	A_{sc}	10HA12 soit 11,31 Cm² esp 10 cm
Condition de non fragilité	$A_{stmin} (cm^2)$	$A_{stmin} = \max \left(\frac{bh}{100} ; \frac{0,23 b d f_{tj}}{f_e} \right)$	3,26
Acier	$A_{st} (cm^2)$	$\max(A_s ; A_{stmin})$	10HA12 Soit 11,31 cm² esp 10 cm
Section d'acier de répartition	$A_r (cm^2)$	$A_r = A_{st}/3$	3,47
Acier			5HA10 Soit 3,93cm² esp 25cm

Calcul des murs en aile

Prédimensionnement des éléments

Afin de dimensionner les murs en ailes, nous allons commencer par déterminer les dimensions nécessaires pour calculer structurellement le voile.

Hauteur totale du mur	H	2,3 m
Auteur du voile	Hv	2 m
Epaisseur du mur	e0 = e1	0,2 m
Epaisseur semelle	e2	0,3 m
Largeur semelle	b	1,5 m
Largeur patin	b1	0,3 m
Largeur talon	b2	1 m

Poids volumique	Béton	25 kN/m ³
Poids volumique	Terre	20 kN/m ³
Coef de poussée	Ka	0,31

Calcul des charges et des moments :

Désignations		Calcul des charges			Bras de levier/A		M/A
Charges permanentes	Poids propre du voile	P1	$P_1 = \gamma_{\text{béton}} \times eo \times H_{\text{voile}}$	10	$d_1 = b_1 + eo/2$	0,45	-4,5
	Poids propre de la semelle	P2	$P_2 = \gamma_{\text{béton}} \times e2 \times H_{\text{voile}}$	15	$d_2 = b/2$	0,75	-11,25
	Poids des terres sur le talon	P3	$P_3 = \gamma_{\text{terre}} \times b2 \times H_{\text{voile}}$	40	$d_3 = b - b_2/2$	1	-40
	Poussée des terres sur le mur	P4	$P_4 = \gamma_{\text{terre}} \times Ka \times \frac{H^2}{2}$	17,46	$d_4 = H/3$	0,77	13,38
Charges d'exploitations	Surcharge	P5	$P_5 = Q \times b2$	0	$d_5 = b - b_2/2$	1	0
	Poussée due à la surcharge	P6	$P_6 = Q \times Ka \times H$	0	$d_6 = H/2$	1,15	0
<i>Moment = -42,3663 kN.m/ml</i>							

$R_v \left(\frac{kN}{ml} \right) = P_1 + P_2 + P_3 + P_5$	65	$M_s \left(\frac{kN.m}{ml} \right) = M_1 + M_2 + M_3 + M_5$	55,75
$R_H \left(\frac{kN}{ml} \right) = P_4 + P_6$	17,457	$M_r \left(\frac{kN.m}{ml} \right) = M_4 + M_6$	13,3837

Vérification des stabilités	Stabilité au glissement	<i>vérifiée si</i> $R_H < \overline{R_H}$	$\overline{R_H} = \frac{R_v \times \tan\varphi}{\gamma_b}$	25,02	Stabilité au glissement vérifiée
-----------------------------	-------------------------	---	--	-------	----------------------------------

	Stabilité au renversement	<i>vérifiée si</i> $F_H \geq 1,5$	$F_H = \frac{\text{moment stabilisant } Ms}{\text{moment renversant } Mr}$	4,17	Stabilité au renversement vérifiée
Excentricité		e_A	$e_A = \frac{M}{Rv}$	0,65	

Dimensionnement du voile

sections	S1: x = h = 2	S2: x=h/2 = 1	S3: x= h/3 = 0,67	S4: x = 2h/3 = 1,33
N(KN/m)	10,00	5,00	3,35	6,65
V(KN/m)	13,20	3,30	1,48	5,84
M(KN/m)	8,80	1,10	0,33	2,59
e	0,88	0,22	0,10	0,39

Sur le côté du mur amont (remblayé)

Moment à l'ELS	M_{ser}	8,8	8,80
Paramètre de déformation	$\bar{\alpha}_{ser}$	$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n\bar{\sigma}_{bc}}{n\bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}}$	0,53
	$Y_{ser}(m)$	$Y_{ser} = d \times \alpha_{ser}$	0,09
	$Z_{ser}(m)$	$Z_{ser} = d - \frac{\alpha_{ser}}{3}$	0,1325
Moment réduit	$M_{rser}(kN, m)$	$= \frac{1}{2} b o \times Z_{ser} \times \bar{\sigma}_{bc} \times Y_{ser}$	94,36
Conclusion	$M_{ser} < M_{serb}$	OK	Pas d'acier comprimé
Section d'acier fictive	$A_{stf1} (cm^2)$	$A_{stf1} = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \sigma_{st}}$	3,29
Condition de non fragilité	$A_{stmin} (cm^2)$	$A_{stmin} = \frac{0,23 b d f_{tj}}{f_e}$	2,17
Choix	$A_s (cm^2)$	$\max(A_{st} ; A_{stmin})$	3,29
Acier			06HA10 Soit 4,71 cm²

Espacement	eh(cm)	$eh \leq \min(25 ; 2h)$	25,00
Espacement réel	eh(cm)	17,60	17
Aciers de répartition coté terre	AH (cm ²)	$A_H = 0,10 \times e_1$	2
Acier			4HA10 Soit 3,14 cm² esp 25cm

Aciers complémentaires sur le côté face

Armature verticales	A_V	$A_V = 0,10 \times e_1$	2
Acier			4HA10 Soit 3,14 cm² esp 25cm
Armatures horizontales	A_H	$A_H = 0,0750 \times e_1$	1,5
Acier			4HA10 Soit 3,14 cm² esp 25cm

Vérification de la nécessité des aciers transversaux

Condition à vérifier		$\frac{V_u}{b_0 d} \leq \frac{0,07 d f_c 28}{\gamma_b}$	
Effort tranchant	Vu	$V_u = 1,35 V_{ser}$	17,82
		$\frac{V_u}{b_0 d}$	99
		$\frac{0,07 d f_c 28}{\gamma_b}$	210
Conclusion		OK	Pas nécessaire d'utiliser les armatures transversaux

Dimensionnement de la semelle

Dimensionnement Structurelle du patin

Contrainte du sol	$\sigma = \left(\frac{kN}{m^2} \right)$	$\sigma = \frac{\sum F_V}{2 e_A}$	49,86274468
--------------------------	--	-----------------------------------	-------------

Moment d'encastrement	$M_{ser}(KN.m)$	$M_{ser} = \sigma \times \frac{b_1^2}{2}$	2,243823511
Armatures principaux	$A_s(cm^2)$	$A_s = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \sigma_{st}}$	0,839642915
Condition de non fragilité	$A_{stmin}(cm^2)$	$A_{stmin} = \frac{0,23 b d f_{tj}}{f_e}$	3,26
Choix			6HA12 Soit 6,79 cm² esp 20cm
Acier de répartition	$A_r(cm^2)$	$A_r = 0,10 \times e_1$	2
Choix			4HA10 Soit 3,14 cm² esp 25cm

Dimensionnement Structurelle du talon

Contrainte du sol sur le talon	$\sigma_1(KN/m^2)$	$\sigma_1 = H_v \times \gamma_{terre}$	40
Contrainte du sol sous le talon	$\sigma_2(KN/m^2)$	$\sigma_2 = \frac{\sum F_v}{2 e_A}$	49,86274468
Moment d'encastrement	$M_{ser}(KN.m)$	$M_{ser} = \sigma_1 \times \frac{b_2^2}{2} - \sigma_2 \times \frac{c^2}{2}$	13,01921574
Armatures principaux	$A_s(cm^2)$	$A_s = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \sigma_{st}}$	2,901506068
Condition de non fragilité	$A_{stmin}(cm^2)$	$A_{stmin} = \frac{0,23 b d f_{tj}}{f_e}$	3,26
Choix			6HA12 Soit 6,7 cm² esp 20cm
Acier de répartition	$A_r(cm^2)$	$A_r = 0,10 \times e_1$	2
Choix			6HA10 Soit 3,14 cm² esp 25cm

Annexe V : Devis du projet

N° Prix	Désignations	Unités	Quantité	Prix Unitaire (FCFA)	Montant (FCFA)
100	INSTALLATION DE CHANTIER				
101	Installation de chantier et amenée du matériel y compris élaboration du dossier d'exécution des travaux	Ft	1	135 000 000	135 000 000
102	Repli des installations et des matériels du chantier	Ft	1	310 000 000	310 000 000
103	Aménagement des voies de déviations	km	10	1 900 000	19 000 000
104	Entretien des voies de déviations	mois	12	1 000 000	12 000 000
	Sous total 100				476 000 000
200	TRAVAUX PREPARATOIRES				
201	Abattage d'arbres de circonférence supérieur à 1 m	U	15	55 000	825 000
202	Débroussaillage et nettoyage de l'emprise	m ²	70 000	250	17 500 000
203	Décapage de la terre végétale	m ²	70 000	300	21 000 000
204	Démolition d'ouvrages hydrauliques de toute nature y compris les buses	u	4	50 000	200 000
	Sous total 200				39 525 000
300	TERRASSEMENTS				
301	Déblai mis en dépôt définitif	m ³	40 000	5 000	200 000 000
302	Remblai provenant d'emprunt	m ³	55 000	6 600	363 000 000
303	Mise en forme, réglage et compactage de la plateforme	m ²	55 000	310	17 050 000
304	Purge de matériaux impropres	m ³	28 000	6 600	184 800 000

305	Reprofilage des espaces situés entre les caniveaux extrêmes et les clôtures	m ²	30 000	3 800	114 000 000
	Sous total 300				878 850 000
400	CHAUSSEE				
401	Fourniture et mise en œuvre de graveleux latéritique pour couche de forme	m ³	40 000	5 200	208 000 000
402	Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation en grave latéritique	m ³	28 000	5500	154 000 000
403	Fourniture des concassés	t	950	850 000	807 500 000
404	Amélioration au concassé	m ³	15 000	3 000	45 000 000
405	Fourniture et mise en œuvre de grave concassé pour couche de base de 15 cm	m ³	18 000	35 000	630 000 000
406	Fourniture et mise en œuvre de béton bitumineux sur 5cm d'épaisseur	m ³	8 000	155 000	1 240 000 000
407	Plus- valeur pour transport du prix 401 au-delà de 10 km	m ³ *km	5 000	500	2 500 000
	Sous total 400				3 087 000 000
500	ASSAINISSEMENT				
501	Fossés longitudinaux et divergents de section		47 040	150	7 056 000
502	Caniveau de section 60x60	ml	6 440	50 000	322 000 000
503	Caniveau de section 100x120	ml	150	110 000	16 500 000
504	Caniveau de section 150x150	ml	3 460	150 000	519 000 000
505	Dallettes pour caniveaux de section :				
505-a	De section 60x60	ml	6 440	3 000	19 320 000
505-b	De section 120x100	ml	150	45 000	6 750 000
505-c	De section 150x150	ml	3 460	70 000	242 200 000
506	Récalibrage de lits (amont et aval) de cours d'eau	m ³	3 400	5 000	17 000 000
	Sous total 500				1 149 826 000

600	OUVRAGES				
601	Fouilles en terrain de toute nature	m ³	936	7 600	7 116 336
602	Béton de propreté dosé à 150kg/m ³	m ³	159	55 000	8 745 000
603	De section 1x1x1,5	ml	877	190 000	166 630 000
604	De section 2x2x1,5	ml	877	305 000	267 485 000
605	De section 3x2,5x2,5	ml	877	615 000	539 355 000
606	Béton dosé à 350kg/m ³	m ³	1 247	105 000	130 935 000
607	Aciers pour béton armé	kg	225 000	900	202 500 000
608	Enrochement	m ³	310	12 500	3 875 000
609	Gabions	m ³	460	25 000	11 500 000
610	Perrés maconnés	m ²	900	10 000	9 000 000
611	Remblais d'ouvrage et de raccordement d'ouvrage	m ³	1 103	3 500	3 860 500
612	Réhabilitation d'ouvrage hydraulique (dalot, buse, radier) existant	Ft	6	1 000 000	6 000 000
	Sous total 600				1 357 001 836
700	SIGNALISATION ET SECURITE				
701	Balises d'ouvrages	u	22	15 300	336 600
702	Panneaux de signalisation de type A, B, C ou D	u	17	175 000	2 975 000
703	Panneaux de signalisation de type E	u	1	160 000	160 000
704	Fourniture et pose de borne kilométrique	u	10	64 000	640 000
705	Fourniture et pose de garde-corps métalliques	ml	70	27 000	1 890 000
706	Marquage spécial à la peinture blanche (stop, passage piétons, etc.)	m ²	50	5 100	255 000
707	Réalisation de ralentisseur de type dos d'âne	U	12	850 000	10 200 000
	Sous total 700				16 456 600
800	MESURES ENVIRONNEMENTALE ET SOCIALE				

801	Remise en état des emprunts, carrières et aires de stockages	Ft	10	8 500 000	85 000 000
802	Réalisation de plants d'alignement ou bosquets de 150 arbres minimum dans les localités et entretien de plants et protection	ff	1	1 750 000	1 750 000
803	Forages positifs avec équipements pour AEPS (Pompe solaire, château d'eau, margelle y compris puisard et abreuvoir, analyse de l'eau, etc.)	u	2	7 550 000	15 100 000
	Sous total 800				101 850 000
900	Éclairage Public				
901	Fourniture et installation d'éclairage public solaire H=10 m double crosse en LED y compris accessoires	U	30	2 050 000	61 500 000
	Sous total 900				61 500 000
	Montant HTVA				7 106 509 436



Annexe VI : Plan