

**DIAGNOSTIC ET ETUDE TECHNIQUE D'EXECUTION DES TRAVAUX DE
REHABILITATION DE LA ROUTE NON-REJETUE GOURCY (EMB. RN02) –
TOUGO (PK 26+000) ET DES OUVRAGES HYDRAULIQUES (DALOTS) DANS
LA REGION DU NORD : TRONÇON PK10-PK20 (10 KM).**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2iE
AVEC GRADE DE **MASTER**
SPECIALITE Génie Civil – Bâtiment et Travaux Publics

Présenté et soutenu publiquement le 18 juillet 2025 par

Cheik Ahmed OUEDRAOGO (20190005)

Encadrant 2iE : Dr Césaire HEMA,
Enseignant-Chercheur, Département Génie Civil, Institut 2iE

Maître de stage : Abdoul-Aziz SINARE,
Conducteur des travaux EBATP

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Dr Mamadou DIOP

Membres : M. Fabrice Velegda Hugues SORE

M. Mamadou Pousga Junior KABORE

Promotion 2024-2025

DEDICACE

Je dédie ce mémoire :

À **mon père, Mohamed Ali OUEDRAOGO**, en témoignage de ma profonde gratitude pour les efforts inlassables qu'il a consentis afin d'assurer le financement de mes études et de soutenir, avec constance et abnégation, mon parcours académique.

À **ma mère, Mariétou BELEM**, ainsi qu'à **ma petite sœur, Mah Hawa Al Moubarack OUEDRAOGO**, pour leur amour inestimable, leur tendresse réconfortante et leur présence affectueuse, qui ont été pour moi une source inépuisable de force et de motivation.

À **mon oncle, Aboubacari OUEDRAOGO** que je considère comme un second père, à **son épouse, Bintou RABO**, et à leurs enfants, pour m'avoir accueilli avec générosité, entouré de leur affection et offert un cadre familial chaleureux, propice à ma réussite scolaire.

Je rends hommage à chacun d'entre vous, à travers ces lignes, en reconnaissance de l'amour, du soutien et des sacrifices qui ont jalonné mon chemin vers l'aboutissement de ce travail

REMERCIEMENTS

Au terme de ce mémoire, je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à **l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE)**, pour m'avoir offert un cadre d'apprentissage stimulant, des ressources académiques de qualité et un encadrement rigoureux tout au long de ma formation. Je remercie également l'ensemble du **corps enseignant de 2iE**, pour leur engagement, la richesse des enseignements dispensés et leur accompagnement constant durant mon parcours.

Je souhaite adresser mes sincères remerciements aux **membres du jury**, monsieur le président du jury le **Dr Mamadou DIOP**, les examinateurs et correcteurs messieurs **Fabrice Velegda** **Hugues SORE** et **Mamadou Pousga Junior KABORE** qui ont bien voulu évaluer ce mémoire. Leurs remarques constructives et pertinentes contribuent à enrichir cette étude et à améliorer la qualité de mon travail.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude au **Dr. HEMA Césaire**, Enseignant-Chercheur 2iE, pour son encadrement académique de qualité, sa rigueur scientifique, sa disponibilité et ses conseils précieux qui ont fortement contribué à la réussite de ce mémoire.

Mes remerciements vont également à **Monsieur Abdoul Aziz SINARE**, Conducteur des travaux à EBATP, pour son accompagnement technique sur le terrain, sa pédagogie et son appui constant.

Je remercie **Monsieur ZIDWEMBA Raoul**, Directeur Technique de l'entreprise EBATP SA, pour ses conseils avisés et son implication dans le bon déroulement de mon stage.

Je n'oublie pas **Monsieur Hervé TOANDA**, Administrateur Général de EBATP SA, pour m'avoir permis d'effectuer ce stage au sein de son entreprise et pour la confiance qu'il m'a accordée.

Je remercie enfin **tout le personnel de EBATP SA** pour leur accueil chaleureux, leur soutien technique et leur esprit collaboratif.

Ma reconnaissance s'adresse également à **ma famille et à mes proches**, dont le soutien indéfectible, les encouragements et la patience ont été essentiels tout au long de cette aventure.

À toutes et à tous, **je vous adresse mes remerciements les plus sincères.**

RESUME

Cette étude porte sur la réhabilitation d'un tronçon de 26 kilomètres de la route non bitumée reliant Gourcy à Tougo, dans la province du Zondoma au nord du Burkina Faso. S'inscrivant dans le cadre du Programme de Résilience et de Compétitivité Agricole (PRéCA), ce projet vise à améliorer l'accessibilité rurale et la connexion des zones agricoles aux marchés. Le tronçon concerné s'étend entre les points kilométriques PK 10+000 et PK 20+000 et présente un état de dégradation avancé, avec des ornières profondes, des affaissements localisés, des nids-de-poule et des ravinements en bordure, qui compromettent la sécurité et la fluidité de la circulation, en particulier pendant la saison des pluies. La méthodologie adoptée combine un diagnostic technique détaillé de la chaussée, une étude géométrique du tracé et des profils en long et en travers, ainsi qu'une analyse hydrologique et hydraulique basée sur les données pluviométriques locales, complétée par une modélisation des crues via le logiciel HYFRAN PLUS. Dix bassins versants ont été identifiés sur le tronçon, ce qui a permis de dimensionner précisément trois dalots en béton armé, respectivement de $4\text{ m} \times 3\text{ m} \times 2\text{ m}$, $2\text{ m} \times 1,5\text{ m} \times 2\text{ m}$, et $1\text{ m} \times 2\text{ m} \times 2\text{ m}$, chacun équipé d'une largeur roulable de 7 mètres. L'ouvrage principal proposé est une piste rurale en terre d'une largeur roulable de 6 mètres, avec une pente transversale de 3 % de chaque côté, une couche de roulement en graveleux latéritique de 15 cm reposant sur une couche de forme de 30 cm, et des fossés triangulaires de drainage latéraux assurant l'évacuation efficace des eaux. L'estimation financière actualisée, basée sur le mercurial des prix 2025, s'élève à **611 381 315** francs CFA TTC, couvrant les travaux de terrassement, la construction des ouvrages hydrauliques, la mise en forme de la chaussée ainsi que les mesures environnementales et sociales prévues. Ce travail constitue une contribution technique solide, répondant aux impératifs de durabilité, d'accessibilité et de développement local, tout en intégrant une approche de résilience face aux impacts climatiques.

Mots clés :

- 1- Béton armé
- 2- Chaussée latéritique
- 3- Dalot
- 4- Déclivité longitudinale
- 5- Profil en long

ABSTRACT

This study focuses on the rehabilitation of a 26-kilometer section of the unpaved road connecting Gourcy to Tougo, located in the Zondoma Province in northern Burkina Faso. As part of the Agricultural Resilience and Competitiveness Project (PRéCA), this initiative aims to improve rural accessibility and strengthen the connection between agricultural zones and local markets. The targeted segment stretches between kilometer points PK 10+000 and PK 20+000 and is in an advanced state of degradation, exhibiting deep ruts, localized depressions, potholes, and edge scouring, all of which compromise road safety and traffic flow, particularly during the rainy season. The methodology adopted combines a detailed technical diagnosis of the road, a geometric study of the layout and longitudinal/cross profiles, and a hydrological and hydraulic analysis based on local rainfall data, supplemented by flood modeling using HYFRAN PLUS software. Ten watersheds were identified along the segment, enabling the precise sizing of three reinforced concrete box culverts measuring $4\text{ m} \times 3\text{ m} \times 2\text{ m}$, $2\text{ m} \times 1.5\text{ m} \times 2\text{ m}$, and $1\text{ m} \times 2\text{ m} \times 2\text{ m}$ respectively, each with a 7-meter-wide carriageway. The main structure proposed is a rural earth road with a 6-meter-wide carriageway, featuring a 3% cross slope on both sides, a 15 cm lateritic gravel wearing course laid over a 30 cm subgrade layer, and triangular roadside ditches for effective water drainage. The updated financial estimate, based on the 2025 price schedule, amounts to **611 381 315** CFA francs including tax, covering earthworks, hydraulic structures, road shaping, and planned environmental and social measures. This project provides a sound technical contribution that meets the goals of sustainability, accessibility, and local development, while incorporating a resilience approach to climate impacts.

Keywords :

- 1- Reinforced concrete
- 2- Lateritic pavement
- 3- Box culvert
- 4- Longitudinal slope
- 5- Road profile

LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES

2iE	: Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
BAEL	: Béton Armé aux États Limites
BV	: Bassin Versant
BUNEE	: Bureau National des Évaluations Environnementales
CBR	: California Bearing Ratio
CCTG	: Cahier des Clauses Techniques Générales
CEBTP	: Centre Expérimental de Recherche et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics
CIEH	: Centre Interafricain d'Études Hydrauliques
CRT	: Coefficient de Répartition Transversale
DGNET/MID	: Direction Générale des Normes et de l'Équipement de Transport / Ministère des Infrastructures et du Désenclavement
DGR	: Direction Générale des Routes
EBATP	: Entreprise de Bâtiments, d'Aménagement et de Travaux Publics
ELU	: État Limite Ultime
ELS	: État Limite de Service
Emb	: Embranchement
FCFA	: Franc des Colonies Françaises d'Afrique
GPS	: Global Positioning System
HA	: Haute Adhérence
HYFRAN	: Hydrologie Fréquentielle Analyse
ICTARN	: Instructions sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Routes Nationales
IFU	: Identifiant Financier Unique
Ig	: Indice global de pente
IP	: Indice de plasticité
LCPC	: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
MARAH	: Ministère de l'Agriculture, des Ressources Animales et Halieutiques
MEEA	: Ministère de l'Environnement, de l'Eau et de l'Assainissement
MJA	: Moyenne Journalière Annuelle
MNT	: Modèle Numérique de Terrain
OPM	: Optimum Proctor Modifié

ORSTOM	: Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer
PA	: Piste de type A
Pan	: Pluviométrie annuelle
PB	: Piste de type B
PGES	: Plan de Gestion Environnementale et Sociale
PK	: Point Kilométrique
PL	: Poids Lourd
Pm10	: Pluie journalière moyenne décennale
PNDES	: Plan National de Développement Économique et Social
PRéCA	: Projet de Résilience et de Compétitivité Agricole
RCCM	: Registre du Commerce et du Crédit Mobilier
RN	: Route Nationale
RO	: Route en terre ordinaire
SETRA	: Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission
TN	: Terrain Naturel
TRRL	: Transport and Road Research Laboratory
TTC	: Toute Taxe Comprise
UTM	: Universal Transverse Mercator
WGS84	: World Geodetic System 1984

SOMMAIRE

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS.....	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT	iv
LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES.....	v
SOMMAIRE	vii
LISTE DES TABLEAUX	xiv
LISTE DES FIGURES.....	xvii
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCEUIL ET DE LA ZONE D'ETUDE.....	2
I.1 Présentation de la structure d'accueil.....	2
I.1.1 Historique.....	2
I.1.2 Domaine d'activités	3
I.1.3 Organigramme de la structure.....	4
CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJET	5
II.1 Contexte du projet	5
II.1.1 Objectif du projet.....	5
II.2 Situation du projet	6
II.3 Présentation de la zone d'étude	7

II.3.1 Cadre physique et naturel	7
II.3.1.1 Climat	7
II.3.1.2 Faune	8
II.3.1.3 Réseau hydrographique	8
II.3.1.4 Sols	8
II.3.1.5 Relief	8
II.4 Données de base	9
II.4.1 Données sur le diagnostic des ouvrages	9
II.4.2 Données sur l'étude hydrologique et hydraulique	9
II.4.2.1 Données pluviométriques	9
II.4.2.2 Données hydrauliques.....	9
II.4.2.3 Données topographiques.....	10
II.4.3 Données sur l'étude structurale de la chaussée	11
II.4.3.1 Le trafic.....	11
II.4.3.3 Données sur les emprunts	11
II.4.3.3.1 Résultat des emprunts	11
II.4.3.3.2 Volume exploitable des emprunts	11
II.4.3.4 Données sur les sondages géotechniques de la route	11
II.4.4 Données sur l'étude géométrique de la route	12
II.4.4.1 Définition des paramètre géométriques	12
CHAPITRE III : METHODOLOGIE DE CONCEPTION.....	12

III.1 Diagnostic de la chaussée.....	12
III.1.1 Matériels utilisés	12
III.1.2 Méthodologie de réalisation de l'étude	13
III.2 Etude hydrologique et hydraulique	13
III.2.1 Matériels utilisés	14
III.2.2 Méthodologie de réalisation de l'étude	14
III.2.2.1 Délimitations des bassins versants	14
III.2.2.2 Ajustements statistiques des pluies maximales	15
III.2.2.2.1 Hypothèses sur les pluies maximales en 24h	15
III.2.2.2.2 Choix de la loi d'ajustement.....	15
III.2.2.3 Périodes de retour considérées	16
III.2.2.4 Evaluations des débits de crues du projet.....	16
III.2.2.4.1 Méthode OSTROM	16
III.2.2.4.1.1 Coefficient d'abattement (A)	17
III.2.2.4.1.2 Coefficient de ruissellement décennal (K_{r10})	17
III.2.2.4.1.3 Temps de base décennal (T_{b10}).....	18
III.2.2.4.1.4 Coefficient de pointe décennal (α_{10})	18
III.2.2.4.1.5 Écoulement retardé.....	18
III.2.2.4.2 Méthode CIEH	19
III.2.2.4.3 Méthode PUECH ET CHABI-GONI	20
III.2.2.4.4 Méthode rationnelle.....	21

III.2.2.4.4.1 Coefficient de ruissellement C	21
III.2.2.4.4.2 Intensité de la pluie (I).....	22
III.2.2.4.4.3 Temps de concentration (tc).....	22
III.2.2.4.4.3.1 Formule de Kirpich	22
III.2.2.5 Dimensionnement hydraulique des dalots.....	22
III.2.2.5.1 Fonctionnement des dalots	22
III.2.2.5.2 Hypothèse et dimensionnement	23
III.2.2.5.3 Vérifications hydrauliques	24
III.2.2.5.3.1 Calcul de la hauteur d'eau en amont de l'ouvrage	24
III.2.2.5.3.2 Calcul de la pente critique	24
III.2.2.5.3.3 Calcul de la vitesse critique.....	25
III.2.2.5.4 Prédimensionnement des dalots	25
III.2.2.5.5 Détermination manuelle des sections d'armatures	26
III.3 Etude structurelle de la chaussée.....	26
III.3.1 Matériels utilisés	26
III.3.2 Méthodologie de réalisation de l'étude	27
III.3.2.1 Etude géotechnique	27
III.3.2.1.1 Classification des sols selon le CEBTP.....	27
III.3.2.1.2 Trafic dimensionnant la piste de la Région du Nord (Gourcy – Tougo). 27	
III.3.2.1.3 Dimensionnement par la méthode CBR.....	28
III.3.1.1 Vérification par les abaques du TRRL (Road note 29 du TRRL en 1966)....	28

III.4 Etude Géométrique de la route	29
III.4.1 Matériels utilisés	29
III.4.2 Méthodologie de réalisation de l'étude	29
III.4.2.1 Collecte et exploitation des données topographiques	29
III.4.2.2 Choix des paramètres de conception	29
III.4.2.3 Conception géométrique.....	30
III.4.2.3.1 Normes d'aménagement.....	30
III.4.2.3.2 Tracé en Plan	30
III.4.2.3.3 Profils en long	30
III.4.2.3.4 Profils en travers types	31
III.5 Notice d'impact environnemental et social	31
III.5.1 Méthodologie appliquée pour la réalisation de la notice.....	31
CHAPITRE IV : RESULTATS DES ETUDES REALISEES.....	32
IV.1 Diagnostic de la route	32
IV.1.1 Historique de la chaussée	32
IV.1.2 Dégradation de la chaussée	32
IV.2 Etude hydrologique et hydraulique	34
IV.2.1 Délimitations des bassins versants	34
IV.2.2 Ajustements statistiques des pluies maximales.....	36
IV.2.1.1 Hypothèses sur les pluies maximales en 24h	36
IV.2.1.2 Choix de la loi d'ajustement	36

IV.2.1.3 Ajustements statistiques des pluies annuelles	38
IV.2.3 Evaluations des débits de crues du projet	39
IV.2.3.1 Méthode OSTROM.....	39
IV.2.3.2 Méthode CIEH	41
IV.2.3.3 Méthode PUECH ET CHABI-GONI.....	42
IV.2.3.4 Méthode rationnelle	42
IV.2.3.5 Débit de projet.....	42
IV.2.4 Dimensionnement hydraulique des dalots	43
IV.2.4.1 Vérifications hydrauliques	43
IV.2.4.2 Prédimensionnement des dalots	44
IV.2.4.3 Détermination manuelle des sections d'armatures.....	45
IV.2.4.3.1 Dalot 4 × 3m × 2m	45
IV.2.4.3.2 Aciers murs en aile.....	46
IV.3 Etude structurelle de la chaussée	48
IV.3.1 Résultats et recommandations géotechniques.....	48
IV.3.2 Trafic dimensionnant la piste de la Région du Nord (Gourcy – Tougo)	49
IV.3.3 Dimensionnement par la méthode CBR.....	49
IV.3.4 Vérification par les abaques du TRRL (Road note 29 du TRRL en 1966).....	49
IV.4 Etude géométrique de la chaussée	50
IV.4.1 Tracé combiné.....	50
IV.4.2 Profils en travers types	52

IV.5 Notice d'impact environnementale et sociale	53
IV.5.1 Introduction	53
IV.5.2 Analyse des impacts potentiels du projet	53
IV.5.2.1 Milieu biophysique	53
IV.5.2.2 Milieu humain	54
IV.5.3 Impacts potentiels	54
IV.5.3.1 Impacts positifs	54
IV.5.3.2 Impacts négatifs potentiels	55
IV.5.4 Mesures d'atténuation	55
IV.5.5 Plan de gestion environnementale et sociale (PGES)	56
IV.5.6 Conclusion	57
IV.6 Signalisation routière et estimation du cout du projet.....	58
IV.6.1 Signalisation routière	58
IV.6.1.1 Signalisation temporaire pendant les travaux	58
IV.6.1.2 Signalisation permanente prévue après travaux	58
IV.6.2 Estimation du cout du projet	60
CONCLUSION GENERALE	61
BIBLIOGRAPHIE	62
ANNEXES.....	I

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Normes de conception et de calcul.....	10
Tableau 2: Caractéristique des matériaux	10
Tableau 3: Récapitulatif du trafic et des projections.....	11
Tableau 4: Coefficient de ruissellement.....	21
Tableau 5: Classe de portance des sols selon le CEBTP (CBR).....	27
Tableau 6: Récapitulatif des étapes de l'étude environnementale et sociale du projet	31
Tableau 7: Résultats du diagnostique.....	33
Tableau 8: Caractéristiques des bassins versants	35
Tableau 9: Résultats obtenus lors de l'ajustement de la série des pluies maximales en 24 h à la station de Gourcy	36
Tableau 10: Ajustement statistique de la pluie maximale journalière sous la méthode des moments pondérés.....	37
Tableau 11: Ajustement statistique de la pluie maximale annuelle de la station de Gourcy ...	38
Tableau 12: Résultat des débits par la méthode Ostrom	39
Tableau 13: Résultat des débits par la méthode CIEH.....	41
Tableau 14: Résultat des débits par la méthode PUECH et CHABI-GONI	42
Tableau 15: Résultat des débits par la méthode rationnelle	42
Tableau 16: débit maximal de chaque méthode au niveau des bassins.....	43
Tableau 17: Vérifications hydrauliques	44
Tableau 18: Prédimensionnement des dalots	44
Tableau 19: Récapitulatif des moments dalot 4×3m×2m.....	45

Tableau 20: Récapitulatif des aciers du dalot 4×3m×2m.....	45
Tableau 21: Récapitulatif des aciers du mur en aile 4×3m×2m.....	46
Tableau 22: Nouvelle classe de plateforme selon la qualité et l'épaisseur du matériau de substitution	48
Tableau 23: Quelques signalisations temporaires	58
Tableau 24: Signalisations définitives.....	59
Tableau 25: Devis récapitulatif Gourcy (Emb RN02) - Tougo (PK 26+00).....	60
Tableau 26: Tableau du diagnostics des ouvrages	III
Tableau 27: Tableau pluviométrie de la zone	IV
Tableau 28: Coefficient de répartition transversale	VI
Tableau 29: Caractéristiques des emprunts	VII
Tableau 30: Volume exploitable des emprunts	VIII
Tableau 31: Caractéristiques géotechniques des sols.....	IX
Tableau 32: Normes caractéristiques des tracés.....	XI
Tableau 33: Caractéristiques de base du projet.....	XII
Tableau 34: Formules de calcul des principales caractéristiques des bassins versants.....	XIII
Tableau 35: Ajustement statistique de la pluie maximale journalière sous la méthode du maximum de vraisemblance corrigée.....	XXI
Tableau 36: Ajustement statistique de la pluie maximale journalière sous la méthode des moments	XXII
Tableau 37: Evaluations des impacts sur le milieu biophysique.....	XXIV
Tableau 38: Evaluations des impacts sur le milieu humain	XXV

Tableau 39: Mesures d'atténuation environnementales et sociales.....	XXVI
Tableau 40: Principales mesures environnementales, sociales et de suivi.....	XXVII
Tableau 41: Récapitulatif des moments $2 \times 1,5 \text{m} \times 2 \text{m}$	XXVIII
Tableau 42: Récapitulatif des aciers du dalot $2 \times 1,5 \text{m} \times 2 \text{m}$	XXVIII
Tableau 43: Récapitulatif des aciers du mur en aile $2 \times 1,5 \text{m} \times 2 \text{m}$	XXIX
Tableau 44: Récapitulatif des moments $2 \times 1,5 \text{m} \times 2 \text{m}$	CIII
Tableau 45: Récapitulatif des aciers du dalot $2 \times 1,5 \text{m} \times 2 \text{m}$	CIII
Tableau 46: Récapitulatif des aciers du mur en aile $1 \times 2 \text{m} \times 2 \text{m}$	CIV

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme de la structure / Source : EBATP S.A	4
Figure 2: Localisation du projet	8
Figure 3: Délimitation des bassins versants	35
Figure 4: Ajustement statistique de la pluie maximale journalière sous la méthode des moments	38
Figure 5: Ajustement statistique de la pluie maximale annuelle de la station de Gourcy.....	39
Figure 6: Plan de ferrailage du corps du dalot	47
Figure 7: Tracé combinée 1	50
Figure 8: Profil en travers type du projet	51
Figure 9: Histogramme des pluies.....	VI
Figure 10: Coupe de sondage effectué	IX
Figure 11: Abaque de détermination de Kr10	XIII
Figure 12: Abaque de détermination de Kr100	XIV
Figure 13: Paramètres a et b du temps de base	XIV
Figure 14: Exposants des paramètres de l'équation	XV
Figure 15: Conditions de fonctionnement des dalots selon le type d'écoulement	XVI
Figure 16: Abaque de la hauteur réduite en fonction du débit	XVII
Figure 17: Abaque de la pente critique en fonction du débit	XVIII
Figure 18: Abaque de détermination de la vitesse du dalot	XIX
Figure 19: Abaque du Road Research Laboratory	XX

Figure 20: Ajustement statistique de la pluie maximale journalière sous la méthode du
maximum de vraisemblance corrigée.....XXII

Figure 21: Ajustement statistique de la pluie maximale journalière sous la méthode des
moments XXIII

INTRODUCTION GENERALE

Dans les pays en développement, les infrastructures routières constituent un facteur déterminant de développement économique, social et territorial. Au Burkina Faso, où l'essentiel du réseau est constitué de pistes en terre, leur dégradation progressive compromet l'accès des populations rurales aux services essentiels, aux marchés et aux opportunités économiques. Dans les zones à fort potentiel agrosylvopastoral, cette situation freine considérablement les efforts de résilience et de sécurité alimentaire.

La route non revêtue de 26 km entre Gourcy et Tougo est un axe stratégique du Nord du Burkina Faso, mais elle est fortement dégradée par des ornières, érosions et nids-de-poule, aggravées par l'absence de drainage efficace, rendant la circulation difficile en saison des pluies. Des études menées en Afrique de l'Ouest, soutenues par la Banque Mondiale et l'Union Européenne, montrent l'importance de l'accessibilité pour la résilience rurale et la performance agricole. Les travaux du CEBTP et les guides du SETRA insistent sur l'adaptation locale des techniques de réhabilitation. Ce mémoire analyse l'état du tronçon PK 10 - PK 20 et propose un projet technique durable incluant la réhabilitation de la chaussée, le dimensionnement des ouvrages hydrauliques et les aspects environnementaux et sociaux. La méthodologie adoptée dans le cadre de ce mémoire s'appuie sur une approche rigoureuse et multidisciplinaire. Elle combine l'observation directe sur le terrain, les analyses hydrologiques, les études géométriques et structurelles, l'exploitation de données techniques pertinentes, l'utilisation de logiciels spécialisés, ainsi que l'application des normes en vigueur dans le domaine du génie civil. L'étude intègre également les dimensions environnementales et sociales, dans le respect des exigences légales nationales et des standards des bailleurs de fonds.

Le présent mémoire s'articule autour de quatre chapitres principaux. Le premier expose la structure d'accueil du stage ainsi que le cadre institutionnel et géographique du projet. Le deuxième présente les objectifs poursuivis et les données techniques mobilisées. Le troisième développe la démarche méthodologique retenue pour conduire les différentes analyses. Enfin, le quatrième chapitre est consacré à la présentation des résultats obtenus, aux choix techniques opérés et à l'analyse des impacts environnementaux, sociaux et économiques. Une conclusion générale vient clore ce travail, en mettant en lumière les principaux enseignements et recommandations formulées en vue de la mise en œuvre optimale du projet.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCEUIL ET DE LA ZONE D'ETUDE

I.1 Présentation de la structure d'accueil

I.1.1 Historique

EBATP S.A, acronyme d'Entreprise de Bâtiments, d'Aménagement et de Travaux Publics, est une société anonyme de référence opérant dans le secteur du Génie Civil. Forte d'une riche expérience acquise au fil des années, elle s'est imposée comme un acteur incontournable dans la conception, la réalisation et le suivi d'infrastructures de qualité, tant sur le plan national qu'international. Le siège social de l'entreprise est situé à Ouagadougou, capitale du Burkina Faso, précisément au 999, Boulevard des Tansoba Wan-Godi, dans le secteur 10, à l'adresse postale 01 BP 1218 Ouagadougou 01. Pour tout besoin d'information ou de prise de contact, EBATP S.A est joignable par téléphone aux numéros (+226) 25 34 40 44 / 25 34 64 39, par fax au 25 34 64 37, ou encore par courriel à l'adresse électronique : contact@ebatp.com . Elle dispose également d'un site Internet accessible à l'adresse : www.ebatp.com, où l'on peut découvrir davantage ses réalisations et domaines d'intervention. L'entreprise est légalement enregistrée au Registre du Commerce et du Crédit Mobilier (RCCM) sous le numéro BF OUA 2007 M 632, et identifiée fiscalement sous le numéro d'Identifiant Financier Unique (IFU) 00000204B. Fondée le 22 mars 1993, EBATP S.A bénéficie de plus de 27 années d'expérience dans le domaine du BTP. Depuis sa création, elle s'est donnée pour mission de contribuer activement à la mise en œuvre des politiques de développement à travers la réalisation d'infrastructures modernes, durables et adaptées aux besoins de ses partenaires. Son action s'inscrit pleinement dans une dynamique de soutien aux programmes structurants, tant au Burkina Faso qu'à l'échelle régionale et internationale.

COGEB INTERNATIONAL S.A. est une société anonyme au capital de 1 milliard CFA créée en 1993 par Monsieur Moctar MANDO qui en est actuellement le Président du Directoire et est inscrit au registre de commerce de la ville de Ouagadougou sous le N° BF-OUA-2004-B-2405. Il dispose : d'un agrément en qualité de fournisseur de l'Etat délivré par le Ministère de l'Économie et des Finances(M.E.F.) : n°85/89 du 06 février 2001 ; de l'agrément catégorie B4 du Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme (M.H.U.) pour le travaux de bâtiments : n°2006-00019/MHU/SG/DEP du 29 décembre 2006 ; de l'agrément catégorie T4 du Ministère des

Infrastructures, des Transports et de l'Urbanisme pour les travaux d'entretien courant, de réhabilitation des routes et d'aménagements des pistes : n°2005-044/MITH/SG/DEP du 18 août 2005. Son siège est situé au 625, Rue Rizmzekédo- Secteur 27 dans la ville de Ouagadougou au Burkina Faso et a pour adresse postale 06 BP 9760. Avec plus de 20 ans de défis relevés au quotidien et d'engagements honorés, **COGEB INTERNATIONAL S.A.** est une référence dans la réalisation des grands projets d'infrastructures en Afrique de l'Ouest.

I.1.2 Domaine d'activités

En tant que société anonyme à vocation citoyenne et économique, EBATP S.A s'est donnée pour mission de favoriser la création d'emplois tout en contribuant activement à la réalisation d'infrastructures à fort impact socio-économique. Forte de cet engagement, l'entreprise a su s'imposer au fil des années comme un acteur majeur dans le domaine des appels d'offres publics et privés, participant de manière déterminante à la mise en œuvre de nombreux projets structurants sur le territoire national et au-delà.

L'expertise de EBATP S.A couvre trois grands domaines d'intervention, à savoir : les bâtiments, les aménagements, et les travaux publics.

❖ BÂTIMENTS

EBATP excelle dans la construction d'ouvrages verticaux, notamment :

- Des infrastructures administratives (bureaux, sièges institutionnels),
- Des établissements sanitaires (centres de santé, hôpitaux),
- Des édifices scolaires (écoles, collèges, universités),
- Et d'autres bâtiments à vocation publique ou privée, réalisés en tous corps d'état, conformément aux normes techniques et aux exigences fonctionnelles modernes.

❖ AMÉNAGEMENTS

Dans ce domaine, EBATP met à profit son savoir-faire pour la réalisation d'ouvrages en lien avec la gestion durable des ressources naturelles, notamment :

- La construction d'aménagements hydro-agricoles (barrages, canaux d'irrigation, bassins de rétention, etc.), permettant de soutenir le développement agricole et d'assurer la sécurité alimentaire dans les zones concernées.

❖ TRAVAUX PUBLICS

L'entreprise intervient également avec compétence dans les grands travaux de voirie et d'infrastructures routières, notamment à travers :

- La construction de pistes rurales, facilitant l'accès aux zones enclavées,
- L'entretien courant et périodique des routes en terre et des axes bitumés, garantissant leur pérennité et leur praticabilité,
- La réalisation d'ouvrages de franchissement, tels que les ponts, dalots et autres structures techniques essentielles au désenclavement et à la fluidité du trafic.

I.1.3 Organigramme de la structure

L'organigramme ci-après présente la structure organisationnelle de **EBATP S.A**, définissant les responsabilités et les relations hiérarchiques pour assurer une gestion efficace et coordonnée des activités.

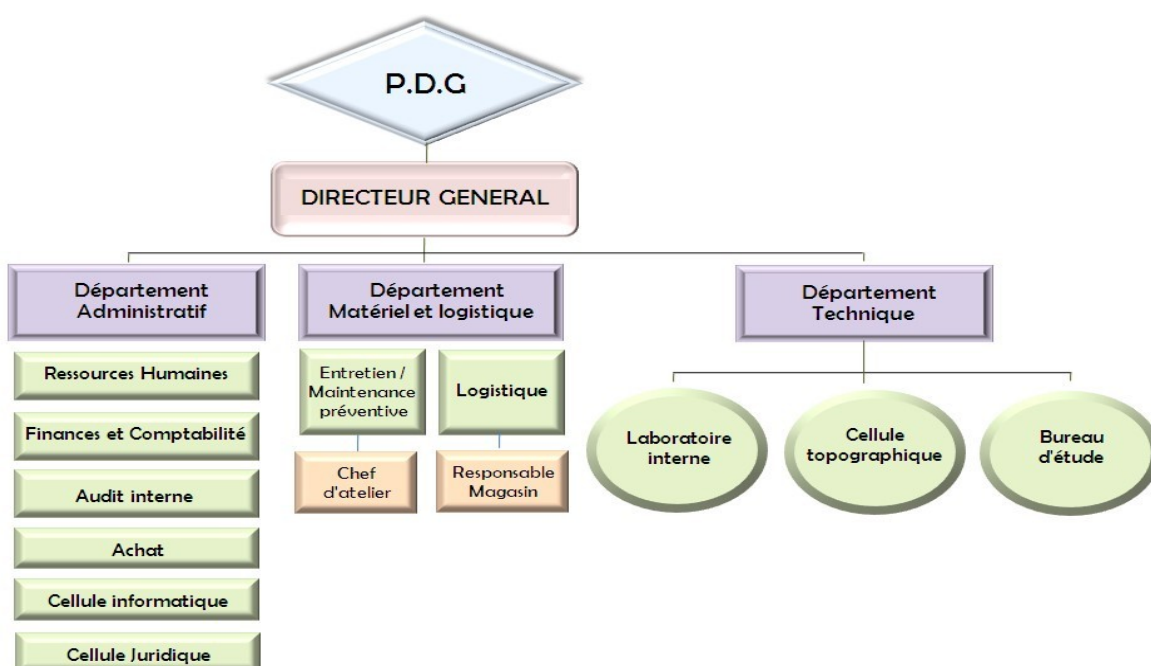


Figure 1: Organigramme de la structure / Source : EBATP S.A

CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJET

II.1 Contexte du projet

Dans le cadre de la mise en œuvre du Plan National de Développement Économique et Social (PNDES), le Burkina Faso réaffirme sa volonté de promouvoir une croissance forte, inclusive et durable, fondée sur des modes de production responsables. Cela se traduit notamment par le développement de l'agriculture irriguée via la mobilisation des ressources en eau, l'intensification des techniques d'irrigation et l'usage de technologies innovantes, en vue de bâtir un secteur agro-sylvo-pastoral productif et résilient. C'est dans cette dynamique que le Gouvernement, à travers le Ministère de l'Agriculture, des Ressources Animales et Halieutiques (MARAH), a obtenu un financement de la Banque Mondiale pour le Projet de Résilience et de Compétitivité Agricole (PRéCA). Ce projet vise le développement rural durable, incluant la réhabilitation d'environ 152 km de pistes rurales dans les régions des Cascades, des Hauts-Bassins et du Nord, pour renforcer la connectivité et dynamiser les échanges économiques. Une des actions majeures concerne la réhabilitation de la piste non-bitumée reliant Gourcy à Tougou (26 km). Cette route, essentielle pour les déplacements et le transport des produits agricoles, est actuellement en mauvais état, notamment en saison des pluies. Le projet prévoit sa réhabilitation avec élargissement à 6 mètres de largeur roulable, un débroussaillage sur 20 mètres, et un renforcement de la plateforme par des matériaux de qualité. Une composante hydraulique importante est intégrée : fossés, dalots et radiers submersibles seront construits pour le drainage des eaux pluviales, la protection de la chaussée, et la sécurisation des franchissements. Ce projet permettra un meilleur accès aux marchés, aux services sociaux de base et favorisera la relance de l'économie locale. Il générera également des opportunités d'emploi dans le secteur du BTP et renforcera la résilience des populations rurales. À travers le PRéCA, le Burkina Faso pose ainsi les bases d'un développement rural durable et intégré, susceptible de servir de modèle pour d'autres projets à l'échelle nationale.

II.1.1 Objectif du projet

L'objectif général du présent mémoire est de mener les études techniques nécessaires à la réhabilitation de la route non-bitumée reliant Gourcy à Tougou, sur une distance de 26 kilomètres. À travers ce travail, il s'agit de diagnostiquer l'état de la chaussée, d'évaluer les ouvrages hydrauliques existants, de proposer des solutions d'aménagement adaptées et

durables, et de dimensionner les structures de la chaussée et des franchissements conformément aux normes en vigueur. L'étude vise également à intégrer les considérations environnementales et sociales, en évaluant les impacts potentiels et en proposant des mesures d'atténuation appropriées. Ce travail s'inscrit dans une démarche globale d'amélioration des infrastructures rurales, de réduction de la vulnérabilité face aux aléas climatiques et de promotion du développement local. Pour atteindre cet objectif général, le mémoire poursuit les objectifs spécifiques suivants :

- Réaliser un diagnostic technique de l'état de la chaussée et des ouvrages existants sur le tronçon critique entre le PK10 et le PK20.
- Conduire une étude géométrique complète, incluant le tracé en plan, le profil en long et les profils en travers.
- Effectuer une analyse hydrologique et hydraulique permettant de dimensionner correctement les ouvrages de franchissement (dalots).
- Proposer une structure de chaussée adaptée aux conditions géotechniques locales et au trafic attendu.
- Évaluer les impacts environnementaux et sociaux du projet, et définir un plan de gestion conforme au cadre réglementaire.
- Élaborer un devis estimatif actualisé des travaux à réaliser, en tenant compte des quantités et des prix unitaires du marché.

II.2 Situation du projet

Le projet de réhabilitation de la route non revêtue reliant Gourcy à Tougo se situe dans la région du Nord du Burkina Faso, plus précisément dans la province du Zondoma. Cette zone, à forte vocation agrosylvopastorale, constitue un espace stratégique pour le développement rural en raison de son potentiel agricole élevé et de sa densité humaine relativement importante. L'itinéraire concerné par le projet s'étend sur une distance de 26 kilomètres, allant du point kilométrique PK 0+000, à l'embranchement de la Route Nationale n°2 (RN2) à Gourcy, jusqu'au PK 26+000, dans le village de Tougo. Le tracé traverse plusieurs localités rurales majeures telles que Salaga, Kibila, Kindibo et Rasko, qui dépendent fortement de cette infrastructure pour leurs échanges économiques, leurs activités agricoles ainsi que pour l'accès aux services sociaux de base.

La zone d'étude ciblée dans le cadre de ce projet porte plus spécifiquement sur le tronçon compris entre le PK 10+000 et le PK 20+000. Ce segment central constitue une portion critique de l'itinéraire, non seulement en raison de sa fréquentation quotidienne par les populations locales, mais également en raison de la concentration des dégradations qui y sont observées.

Localisation de la zone d'étude

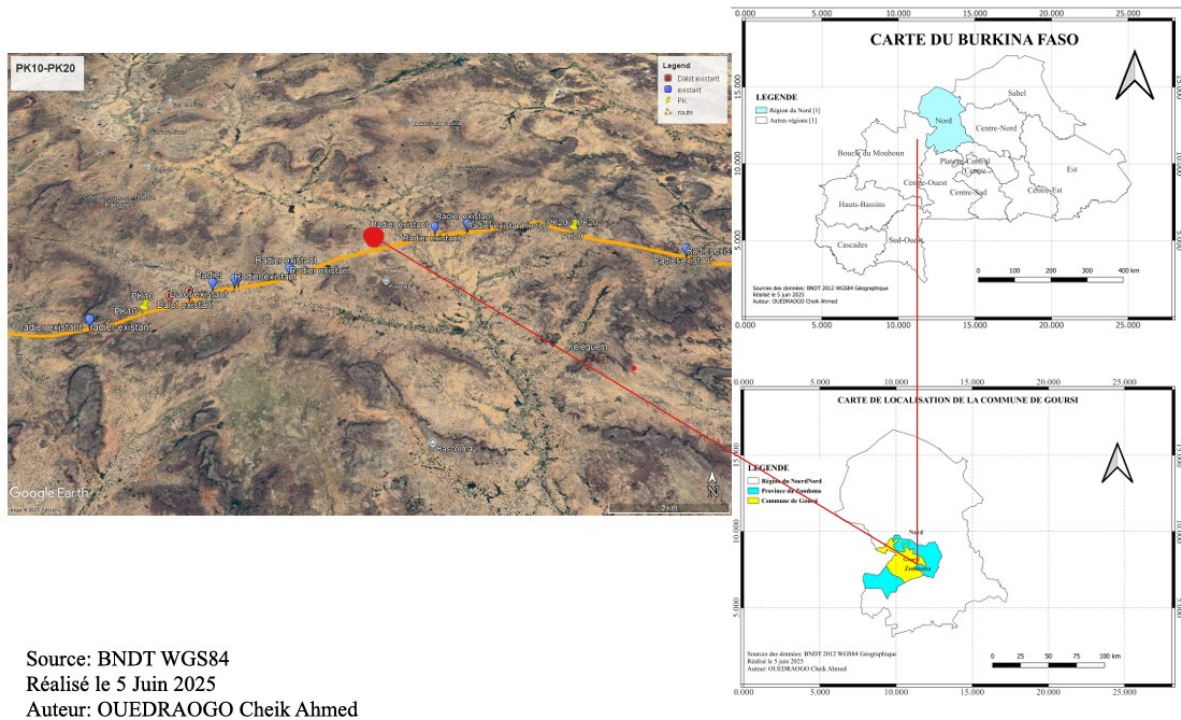


Figure 2: Localisation du projet

II.3 Présentation de la zone d'étude

II.3.1 Cadre physique et naturel

II.3.1.1 Climat

Le climat de la zone du projet est tropical de type nord-soudanien. Il est marqué par deux grandes saisons : une saison humide et une saison sèche. La pluviométrie est comprise entre 800 et 1200 mm et les températures sont élevées tout au long de l'année, avec des moyennes mensuelles oscillant entre 24 et 32°C pour les mois frais (de novembre à février) et entre 29 et 38°C pour les mois chauds (mars, avril et mai).

II.3.1.2 Faune

La zone du projet Gourcy–Tougo, située dans la province du Zondoma, abrite une faune typique des régions sahéliennes, malgré la pression croissante des activités humaines. On y trouve divers petits mammifères, reptiles et une avifaune relativement riche, incluant à la fois des espèces résidentes et migratrices. La faune entomologique y est également variée, et la présence de bétail domestique est marquée en raison des pratiques agro-pastorales locales. Malgré la fragmentation progressive des habitats, cette diversité reste le signe d'une certaine résilience écologique du milieu.

II.3.1.3 Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique de la région du Nord est principalement composé de cours d'eau temporaires, affluents du Nakambé, du Sourou et du fleuve Niger, qui alimentent de nombreux marigots dans les bas-fonds. Ces zones sont souvent aménagées pour des activités agricoles. Pour renforcer les ressources en eau, des barrages et retenues ont été réalisés par l'État, ses partenaires et des particuliers, totalisant 102 retenues d'eau, dont 12 permanentes. Ces ressources en eau, bien que variables selon les caractéristiques géomorphologiques locales, soutiennent fortement les activités agro-pastorales régionales.

II.3.1.4 Sols

La région est dominée par des sols ferrugineux tropicaux lessivés, à texture sablo-argileuse ou sablo-limoneuse, peu profonds et vulnérables à l'érosion hydrique. Des sols hydromorphes apparaissent dans les bas-fonds, plus fertiles mais problématiques pour la stabilité routière en cas de mauvaise gestion du drainage. On y observe aussi des affleurements de cuirasses latéritiques, qui compliquent les terrassements et nécessitent des techniques adaptées. Ces caractéristiques exigent une attention particulière dans le choix des matériaux et des méthodes de mise en œuvre pour assurer la durabilité des infrastructures.

II.3.1.5 Relief

La Région du Nord est caractérisée par des zones d'altitudes variant de 200 à 400 mètres, avec la présence de plaines et de plateaux qu'on rencontre dans toutes ses quatre provinces. Par endroit, le relief est légèrement perturbé par des élévations collinaires dont l'altitude moyenne est comprise entre 300 et 400 mètres. Cependant quelques-unes peuvent atteindre 600 mètres (le Pic de Komkoulibo dans le Passoré avec 630 mètres).

II.4 Données de base

La réalisation de ce document s'est appuyée sur l'acquisition de certaines données de base indispensables.

II.4.1 Données sur le diagnostic des ouvrages

Le diagnostic réalisé au niveau des ouvrages d'assainissement a permis d'identifier environ 23 ouvrages et passages d'eaux répartis le long de la route, comprenant principalement des dalots et des radiers submersibles. À l'issue de l'évaluation, certains de ces ouvrages ont été jugés encore fonctionnels et donc conservés, tandis que d'autres, fortement endommagés ou devenus inefficaces, ont été démolis et entièrement reconstruits. Par ailleurs, dans plusieurs zones où aucun dispositif d'évacuation des eaux n'existait, de nouveaux ouvrages ont été prévus afin de renforcer la résilience de l'infrastructure face aux écoulements pluviaux. En ce qui concerne spécifiquement le tronçon compris entre le PK 10 et le PK 20, le recensement a révélé la présence d'environ 12 ouvrages. Cependant, leur état de fonctionnement varie : certains nécessitent des travaux de réhabilitation, d'autres doivent être remplacés, et quelques emplacements supplémentaires ont été identifiés pour la mise en place de nouveaux ouvrages afin d'améliorer la sécurité et la durabilité de la chaussée. ***Voir Annexe 1 : Diagnostic des ouvrages***

II.4.2 Données sur l'étude hydrologique et hydraulique

II.4.2.1 Données pluviométriques

Les données pluviométriques de la station de Gourcy ont été collectées dans le cadre du projet. Les variables retenues pour l'analyse sont la pluviométrie annuelle totale ainsi que la pluie maximale annuelle enregistrée pour chaque année. Les séries de données couvrent la période 1982 - 2021, comme suit : 1982 à 2021 pour la station de Gourcy, soit trente-neuf (39) années d'observations continues avec cependant six (06) années manquantes pour la série des pluies maximales ainsi que celle des totaux annuels. Pour la pluviométrie de la zone, ***voir Annexe 2 : Données pluviométriques.***

II.4.2.2 Données hydrauliques

❖ Normes et hypothèses de conception et de calcul des ouvrages

Tableau 1: Normes de conception et de calcul

Référence	Description
Fascicule 61 - Titre II du CPC	Conception, Calcul et Épreuves des Ouvrages d'Art. Charges civiles A, B, MC120 et surcharges trottoirs.
Fascicule 62 - Titre I - Section I	Conception et calcul des ouvrages en béton armé - BAEL 91 révisé 99.
Fascicule 62 - Titre V du CCTG	Conception et calcul des fondations des ouvrages de génie civil.
Fascicule n°4 - Titre I	Armatures pour constructions en béton armé.

❖ Caractéristiques des matériaux

Tableau 2: Caractéristique des matériaux

Propriété	Valeur
Masse volumique du béton	2,5 t/m ³
Résistance à la compression f_{c28}	25 MPa
Résistance à la traction f_{t28}	2,1 MPa ($f_{t28} = 0,6 + 0,06 \times 25$)
Fissuration	Préjudiciable pour les ouvrages
Enrobage des armatures	3 cm (tabliers et dalots)
Module différé et instantané	Selon BAEL 91
Nuance acier HA	Fe E400
Limite élastique f_e	400 MPa
Module d'élasticité de l'acier	200 000 MPa
Contrainte de calcul à l'ELS (σ_{st})	$\sigma_{st} = 201,63$ MPa

II.4.2.3 Données topographiques

Les levés topographiques de l'axe de la voie ont permis de définir avec précision le tracé de la route projetée.

II.4.3 Données sur l'étude structurale de la chaussée

II.4.3.1 Le trafic

Tableau 3: Récapitulatif du trafic et des projections

Données	Valeur
Année de l'étude de trafic	2019
Trafic moyen journalier total	47 véhicules/jour
Nombre de poids lourds	13 véhicules/jour
Part des poids lourds dans le trafic	28 %
Cause du trafic faible	Mauvais état de la route
Mise en service prévue	2025
Taux de croissance annuel prévu	5 % (trafic poids lourds)
Trafic induit estimé après réhabilitation	+10 % du trafic total
Norme de référence pour le dimensionnement	NF P 98-082

Source : Données sur le trafic du réseau routier national / DGNET/MID

II.4.3.3 Données sur les emprunts

II.4.3.3.1 Résultat des emprunts

Les résultats concernant les emprunts sont en *Annexe 4 : Caractéristiques des emprunts*

II.4.3.3.2 Volume exploitable des emprunts

Le volume exploitable des emprunts est présenté en *Annexe 5 : Volume exploitable des emprunts*

II.4.3.4 Données sur les sondages géotechniques de la route

Les investigations géotechniques ont permis de caractériser la nature et les propriétés mécaniques des sols le long du tracé. Ces informations sont cruciales pour évaluer la portance du sol et concevoir des structures de chaussée adaptées. Elles servent également de base au dimensionnement des ouvrages à réaliser. Les résultats des sondages sont résumés dans un tableau en *Annexe 7 : Sondages géotechniques*.

II.4.4 Données sur l'étude géométrique de la route

II.4.4.1 Définition des paramètres géométriques

Dans le cadre de ce projet, le choix s'est porté sur une route en terre de type A (PA), adaptée aux voies hors agglomération à trafic modéré, avec une vitesse de référence de 80 km/h. Les caractéristiques géométriques ont été définies pour concilier sécurité, faisabilité technique et optimisation des coûts, en tenant compte du terrain et des conditions d'exploitation. Un tableau comparatif avec les pistes de type B (PB) et les routes ordinaires (RO) permet de mieux situer le niveau technique retenu pour le projet. Voir *Annexe 8 : Définitions des paramètres géométriques*

CHAPITRE III : METHODOLOGIE DE CONCEPTION

III.1 Diagnostic de la chaussée

III.1.1 Matériels utilisés

Dans le cadre de l'évaluation de l'état de la chaussée sur le tronçon concerné, un diagnostic a été réalisé à l'aide d'un ensemble de matériels adaptés à l'observation visuelle et à la collecte de données de terrain. L'objectif de ce diagnostic est de dresser un état des lieux précis de la chaussée existante, afin d'identifier les désordres éventuels, évaluer la qualité des matériaux en place, et orienter les choix techniques pour la réhabilitation.

Parmi les équipements utilisés, on peut citer :

- Outils de mesure : pour relever les distances d'impact de chaque pathologie et leur déformation ;
- Appareil photo numérique : pour documenter visuellement l'état de la chaussée et les anomalies constatées ;
- Fiches d'observation terrain : permettant de consigner les types de dégradations (fissures, nids-de-poule, affaissements, etc.) et leur localisation ;
- Matériel de repérage (GPS ou smartphone équipé) : pour la géolocalisation des observations.

Ce diagnostic de terrain constitue une étape préalable essentielle à toute intervention de réhabilitation ou de renforcement de la chaussée, car il permet de mieux comprendre les pathologies rencontrées et leurs causes probables.

III.1.2 Méthodologie de réalisation de l'étude

Dans le cadre de l'évaluation de l'état de la chaussée, un diagnostic visuel a été réalisé afin d'identifier les principales pathologies, localiser leur position, et estimer leur gravité. Nous procédons donc :

- Délimitation de la zone d'étude : identifier et tracer le tronçon à diagnostiquer ;
- Relevé des distances : à l'aide du décimètre, mesurer les distances d'apparition des différentes pathologies ;
- Observation et description des dégradations : utiliser les fiches d'observation terrain pour consigner chaque type de pathologie (fissures, nids-de-poule, affaissements, etc.), et leur étendue ;
- Documentation visuelle : prendre des photos claires des anomalies constatées, en notant la correspondance sur les fiches ;
- Géolocalisation : utiliser un smartphone équipé de GPS pour enregistrer les coordonnées de chaque point de pathologie.

III.2 Etude hydrologique et hydraulique

Dans le cadre de la conception d'une infrastructure routière durable, les études hydrologiques et hydrauliques jouent un rôle essentiel. Elles permettent d'analyser le comportement des eaux de ruissellement en lien avec le tracé routier, afin de prévenir les risques d'érosion, de stagnation ou d'endommagement de la chaussée. Ces études visent donc à garantir une bonne gestion des eaux pluviales et à assurer la pérennité de la route projetée.

Les objectifs spécifiques de ces études sont les suivants :

- Déterminer les débits de crue générés par les différents bassins versants aux emplacements critiques, notamment au droit des ouvrages de franchissement et des zones de passage d'eau identifiées sur le tracé ;
- Dimensionner les ouvrages hydrauliques adéquats (dalots, radiers, etc.), en s'appuyant sur les calculs hydrauliques permettant d'évaluer les hauteurs d'eau et les conditions d'écoulement en période de pluie ;

- Proposer des dispositifs d'assainissement longitudinal, tels que des fossés et des caniveaux, aux endroits stratégiques, afin de collecter et d'évacuer efficacement les eaux de ruissellement, limitant ainsi les risques d'accumulation ou de dégradation de la plateforme routière.

III.2.1 Matériels utilisés

Dans le cadre de cette étude les matériels utilisés sont :

- Google Earth : utilisé pour tracer précisément l'axe routier et extraire les coordonnées géographiques à partir des points kilométriques (PK) topographiques ;
- Global Mapper : a servi à importer le fichier KMZ et à effectuer la délimitation des bassins versants, après configuration du système de projection (UTM – Zone 30N, datum WGS84) ;
- Modèle Numérique de Terrain (SRTM) : utilisé pour obtenir les données altimétriques nécessaires à l'analyse des pentes et à la modélisation des écoulements ;
- HYFRAN PLUS : pour l'analyse des séries de pluies maximales sur 24 heures, des ajustements statistiques ont été effectués ;
- Microsoft Excel : employé pour le calcul des débits de crue (méthode rationnelle ou autres) et pour le dimensionnement hydraulique des dalots ;
- PyBar pour la vérification de nos calculs de sollicitations ;
- AutoCAD : utilisé pour la conception des plans de coffrage et de ferrailage des dalots, sur la base des dimensions obtenues.

III.2.2 Méthodologie de réalisation de l'étude

L'étude hydrologique et hydraulique a été conduite selon une démarche structurée visant à analyser les écoulements d'eau pluviale le long de l'axe routier projeté, et à dimensionner les ouvrages de franchissement (dalots) nécessaires.

III.2.2.1 Délimitations des bassins versants

Dans le cadre de l'étude hydrologique, la première étape a consisté à délimiter les bassins versants le long du tracé de la voie, ainsi qu'à déterminer leurs principales caractéristiques. Cette démarche a reposé sur l'utilisation combinée de **Google Earth** et de **Global Mapper**. Google Earth a permis de tracer avec précision l'axe routier et d'en extraire les coordonnées géographiques. Le fichier ainsi généré, au format KMZ, a ensuite été importé dans Global

Mapper pour un traitement approfondi.

Après avoir configuré le système de projection (UTM – Zone 30N, datum WGS84), le tracé routier a été intégré dans le logiciel. Les données altimétriques (SRTM) relatives à la zone d'étude ont été téléchargées, ce qui a permis de générer les courbes de niveau nécessaires à l'analyse. À partir de ces données, les sous-bassins versants ont été automatiquement créés et les bassins versants finaux ont été délimités manuellement, en suivant les lignes de crête.

Ce processus a permis une identification fiable des zones de concentration des eaux de ruissellement, condition indispensable pour le dimensionnement hydraulique des ouvrages de franchissement. L'analyse s'est concentrée sur le tronçon compris **entre le PK 10+000 et le PK 20+000**. Ainsi, les paramètres des bassins versants ont été déterminés en partie de manière automatique à l'aide du logiciel Global Mapper, tandis que d'autres ont été calculés manuellement à l'aide de formules appropriées.[6] Voir *Annexe 9: Calcul des principales caractéristiques des bassins versants*

III.2.2.2 Ajustements statistiques des pluies maximales

III.2.2.2.1 Hypothèses sur les pluies maximales en 24h

Deux tests statistiques ont été appliqués aux séries de pluies maximales en 24 heures dans le but de vérifier la validité des données :

- le test d'indépendance de Wald-Wolfowitz, destiné à évaluer l'indépendance des observations ;
- le test de stationnarité de Kendall, visant à détecter une éventuelle tendance au sein des données.

III.2.2.2.2 Choix de la loi d'ajustement

Dans le cadre de l'analyse des séries de pluies maximales sur 24 heures, des ajustements statistiques ont été effectués à l'aide du logiciel HYFRAN PLUS. Pour ce type de données hydrologiques extrêmes, la loi de Gumbel (également appelée loi double exponentielle) a été choisie pour modéliser les pluies maximales annuelles et estimer leur occurrence selon différentes périodes de retour.

Trois méthodes d'ajustement ont été testées pour l'estimation des paramètres de cette loi :

- la méthode du maximum de vraisemblance corrigée ;
- la méthode des moments ;
- la méthode des moments pondérés.

III.2.2.3 Périodes de retour considérées

Pour la période de retour, nous allons considérer 10 ans pour les ouvrages

III.2.2.4 Evaluations des débits de crues du projet

L'estimation des débits de projet a été effectuée à l'aide de quatre (04) méthodes complémentaires, permettant de croiser les résultats pour une meilleure fiabilité :

- la méthode ORSTOM ;
- la méthode CIEH ;
- la méthode de PUECH et CHABI-GONNI ;
- et la méthode rationnelle.

III.2.2.4.1 Méthode OSTROM

La méthode ORSTOM, développée par Auvray et Rodier en 1965 à partir de l'analyse de 65 bassins versants de moins de 120 km². Révisée entre 1986 et 1989, elle est désormais utilisable pour des bassins de plus de 10 km² en zone sahélienne (jusqu'à 2500 km²) et pour tous les bassins de moins de 1500 km² en zone tropicale sèche. Dans la méthode ORSTOM, le débit de pointe correspondant au ruissellement superficiel de la crue décennale est défini par la relation suivante :

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

- A : le coefficient d'abattement de la pluie ;
- P₁₀ : la pluie journalière décennale en mm ;
- Kr₁₀ : le coefficient de ruissellement ;
- α₁₀ : le coefficient de pointe, correspondant à la crue décennale
- S : la surface du bassin en km² ;
- Tb₁₀ : le temps de base correspondant à la crue décennale

Les différents paramètres sont déterminés à l'aide d'abaques ou de formules. Seul α_{10} peut, dans de nombreux cas, être assimilé à une constante. Les méthodes de détermination des différents paramètres sont décrites ci-après.[7]

III.2.2.4.1.1 Coefficient d'abattement (A)

La précipitation moyenne P_{m10} sur un bassin versant est obtenue en multipliant la hauteur de précipitation ponctuelle P_{10} par le coefficient d'abattement A, déterminé par l'équation simplifiée de Vuillaume (1974) [7] :

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

Avec :

- P_{an} : Précipitation moyenne annuelle (mm),
- S : Superficie du bassin versant (km²).

III.2.2.4.1.2 Coefficient de ruissellement décennal (Kr_{10})

Les coefficients de ruissellement Kr_{70} et Kr_{100} , correspondant à des hauteurs de précipitations décennales $P_{10.1} = 70$ mm et $P_{10.2} = 100$ mm, ont été déterminés analytiquement et graphiquement (abaques) en fonction de la superficie S du bassin, pour cinq classes d'infiltrabilité et pour différentes valeurs de l'indice global de pente I_g . Les cinq classes d'infiltrabilité sont définies comme suit :

- PI : bassin naturel particulièrement imperméable
- I : bassin imperméable
- RI : bassin relativement imperméable
- P : bassin perméable
- TP : bassin très perméable

Le Burkina Faso se situe dans la zone tropicale sèche avec un sol relativement imperméable (RI).

La détermination analytique de Kr_{70} et Kr_{100} se fait par la formule ci-après :

$$Kr_{70} \text{ ou } Kr_{100} = \frac{a}{(S+b)} + c \quad (\text{Equation 2})$$

Avec :

- S : la superficie du bassin en km^2 ,
- a, b, c : coefficients déterminés en fonction de la classe d'infiltrabilité, de l'indice global de pente et de S.

La détermination graphique de Kr_{10} et Kr_{100} se fait à l'aide d'abaques *Annexe 11: Abaques de détermination du coefficient de ruissellement décennal Kr_{10} et Kr_{100}*

Kr_{10} : coefficient de ruissellement correspondant à la crue décennale obtenu grâce à une interpolation pour kr_{10} de 70mm et 100mm

III.2.2.4.1.3 Temps de base décennal (Tb_{10})

Le temps de base décennal Tb_{10} est déterminé en utilisant des relations analytiques ou des abaques graphiques. La formule analytique est donnée ci-après :

$$Tb_{10} = a \times S^s + b \text{ (Equation 3)}$$

Avec :

- S : la superficie du bassin en km^2
- a, s et b : coefficients déterminés en fonction de l'indice global de pente et de S

La détermination graphique de Tb_{10} se fait à l'aide d'abaques. Voir *Annexe 11 : Temps de base*

III.2.2.4.1.4 Coefficient de pointe décennal (α_{10})

Le coefficient de pointe décennal est le rapport du débit maximum ruisselé au débit moyen :

$$\alpha_{10} = \frac{Qr_{10}}{Qmr_{10}} \text{ (Equation 4)}$$

On admet que α_{10} est voisin de 2,6 quelle que soit la superficie du bassin.

III.2.2.4.1.5 Écoulement retardé

Le débit de pointe décennal ou débit maximal total Q_{10} comprend le débit maximal de ruissellement Qr_{10} et le débit dû à l'écoulement retardé $Qret_{10}$.

$$Q_{10} = Qr_{10} \times Qret_{10} \text{ (Equation 5)}$$

En région sahélienne, l'écoulement retardé $Qret_{10}$ n'est jamais très important. Pour en tenir compte, on applique les relations suivantes :

Mémoire de Master d'ingénierie Présenté par Cheik Ahmed OUEDRAOGO	Promotion 2024-2025	18
--	------------------------	----

- Pour des bassins d'indice d'infiltrabilité I : $Q_{10} = 1.03 \times Qr_{10}$
- Pour des bassins d'indice d'infiltrabilité P : $Q_{10} = 1.06 \times Qr_{10}$

En zone tropical sèche, le rapport $Q_{ret_{10}}/Qr_{10}$ est lié davantage à la superficie du bassin dont dépend les possibilités de stockage superficiel (lit des cours d'eau) ou interne (horizons pédologiques voire géologiques) qui favorise l'écoulement retardé :

- Pour les petits bassins imperméables (quelques dizaines de km²) : $Q_{10} = 1.03 \times Qr_{10}$
- Pour les petits bassins perméables : $Q_{10} = 1.05 \times Qr_{10}$
- Pour les grands bassins imperméables (plusieurs centaines de km²) avec un réseau hydrographique bien marqué : $Q_{10} = (1.10 \text{ à } 1.15) \times Qr_{10}$
- Pour les grands bassins perméables avec des lits suffisamment larges :
 $Q_{10} = (1.15 \text{ à } 1.20) \times Qr_{10}$

III.2.2.4.2 Méthode CIEH

En 1983, Puech et Chabi-Gonni ont proposé une méthode statistique, connue depuis sous le nom de méthode CIEH et basée sur 162 bassins versants dont l'origine vient essentiellement du recueil de Dubreuil (1972) sur les bassins expérimentaux. À l'instar de la méthode ORSTOM, la méthode CIEH est adaptée aux bassins versants dont la superficie varie de quelques dizaines d'hectares à plus de 1 500 km

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

$$Q_{10} = a \times S^s \times \overline{Pan}^p \times I_g^i \times Kr_{10}^k \times Dd^d$$

Où :

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

La détermination de ces coefficients est effectuée au moyen d'une méthode de régression linéaire multiple, travaillant sur l'expression de l'Équation 7 linéarisée par transformation logarithmique. Les équations 39, 40, 42 et 44 ont été utilisées dans le cadre du projet. Elles requièrent la connaissance de S, Ig, Kr₁₀ et Pm₁₀. [7] . Voir *Annexe 12 : Méthode CIEH valeur des exposants des équations 39,40,42, et 44*

La précipitation décennale Pm₁₀ est obtenue par la formule suivante :

$$Pm_{10} = A \times P_{10} \quad (\text{Equation 5})$$

Avec :

- A : le coefficient d'abattement
- P₁₀ la précipitation ponctuelle décennale.

Le coefficient d'abattement est obtenu par la formule :

$$A = 1 - \left[\frac{(161 - 0,042 \times \overline{Pan})}{1000} \times \log S \right] \quad (\text{Equation 6})$$

Avec :

- S la superficie du bassin versant en km²
- $\overline{Pan}$ la hauteur moyenne de précipitation annuelle en mm.

III.2.2.4.3 Méthode PUECH ET CHABI-GONI

La méthode de Puech et Chabi-Gonni repose sur l'étude statistique de 160 bassins dont la superficie varie entre 0,07 et 2 500 km², pour des pluies annuelles comprises entre 100 et 2 500 mm. Elle s'exprime par la relation ci-dessous :[7]

$$Q_{10} = 131 \times S^{0.68} \times Ig^{0.56} \times Pan^{-0.68} \quad (\text{Equation 7})$$

Avec :

- Q₁₀ : le débit de pointe décennal (m³/s) ;
- S : la superficie du bassin (km²) ;
- Ig : l'indice global de pente (m/km) ;
- Pan : la pluviométrie moyenne annuelle (mm).

III.2.2.4.4 Méthode rationnelle

La méthode rationnelle est largement utilisée en hydrologie, principalement en raison de sa simplicité d'application. Elle est généralement attribuée à l'ingénieur irlandais Thomas J. Mulvaney, qui serait le premier à avoir formulé l'expression de cette méthode telle qu'on la connaît aujourd'hui.

$$Q_{(F)} = \frac{C \times I \times A}{360} \text{ (Equation 8)}$$

Avec :

- $Q_{(F)}$: le débit de pointe de fréquence F en (m³/s) ;
- C : le coefficient de ruissellement (sans unité) qui traduit le fait qu'une partie de l'eau précipitée ne parvienne pas à l'exutoire (pertes au ruissellement) ;
- I : l'intensité de la pluie (mm/h) ;
- A : la surface du bassin versant (Ha).

L'hypothèse d'une homogénéité des paramètres, en particulier du coefficient de ruissellement sur l'ensemble de la surface réceptrice, limite l'application de la méthode rationnelle à des bassins versants de petite taille. Selon Chocat (1997, p. 836), cette méthode est adaptée aux surfaces inférieures à quelques dizaines d'hectares. De son côté, le BCEOM (1981, p. 110) recommande de ne pas dépasser une superficie de 4 km² (soit 400 hectares) dans des conditions théoriques. Par conséquent, dans le cadre de cette étude, la méthode rationnelle sera appliquée uniquement aux bassins versants dont la superficie est inférieure à 4 km².

III.2.2.4.4.1 Coefficient de ruissellement C

Tableau 4: Coefficient de ruissellement

Nature des états de surface	Valeur de C
Zone résidentielle à habitat dense	0.45
Zone résidentielle à habitat peu dense	0.4
Zone résidentielle à habitat éparse (Périphéries agglomérations)	0.35
Rase campagne	0.3

Source : Circulaire N°22 de l'Institut National des Routes du Département des transports des États-Unis

La plupart des bassins versants étant en rase campagne, la valeur de **0.3** sera retenue pour l'ensemble du projet.

III.2.2.4.4.2 Intensité de la pluie (I)

Les formules de calculs de l'intensité de la pluie qui seront utilisées sont celles de Montana :

$$I_{(F)} = a \times t_c^{-b} \quad (\text{Equation 9})$$

Avec :

- $I_{(F)}$: l'intensité de la pluie de fréquence F en (mm/mn) ;
- $a_{(F)}$ et $b_{(F)}$: les coefficients de Montana en fonction de la fréquence F choisie ;
- t_c : le temps de concentration (mn).

a, b : coefficient de montana avec $a=7,5$ et $b=0,5$ avec un temps de retour $T=10$ ans. *(Ces deux données sont acquises dans le BCEOM à la page 151)[8]*

III.2.2.4.4.3 Temps de concentration (t_c)

Les formules empiriques de calculs du temps de concentration sont nombreuses et variées. Dans le cadre de cette étude, la formule utilisée est celle de Kirpich. Elle est décrite ci-après.

III.2.2.4.4.3.1 Formule de Kirpich

$$t_c = \frac{1}{52} \times \frac{L^{1.15}}{H^{0.385}} \quad (\text{Equation 10})$$

Avec :

- t_c : le temps de concentration en (mn) ;
- L : la longueur du plus long chemin hydraulique en (m) ;
- I : la pente moyenne en (m/m) ;
- H : la dénivelée entre l'exutoire et le point le plus éloigné du bassin (m).

III.2.2.5 Dimensionnement hydraulique des dalots

III.2.2.5.1 Fonctionnement des dalots

Le dimensionnement des buses et dalots exige la connaissance des conditions d'écoulement à l'amont et à l'aval des dits ouvrages (régime fluvial ou torrentiel).

Soit H_1 est la hauteur d'eau en amont de l'ouvrage, H_2 est la hauteur de l'eau dans la partie aval et D le diamètre de la buse ou la hauteur du dalot étudié. Dans la pratique, on distingue deux types fonctionnement pour ces ouvrages :

- le fonctionnement à sortie noyée : ce type de fonctionnement correspond aux zones inondables où l'écoulement est souvent en charge ($H_2 \geq D$) ;
- le fonctionnement à sortie dénoyée : qui correspond aux zones non inondables où l'écoulement est souvent à surface libre ou à pleine section ($H_2 \leq D$). La discussion du type d'écoulement dans ce cas est fonction de la hauteur d'eau en amont H_1 .

✓ Si $H_1 \leq 1.25D$ c'est un écoulement à surface libre

✓ Si $H_1 > 1.25D$ c'est un écoulement à pleine section. Voir **Annexe 13: Fonctionnement de dalots**

III.2.2.5.2 Hypothèse et dimensionnement

Pour le dimensionnement hydraulique des ouvrages, la formule de Manning Strickler sera utilisée. Les hypothèses suivantes ont été faites :

- Le fonctionnement hydraulique adopté pour les dalots dans cette étude est celui à surface libre. Toutefois, un écoulement en charge (pleine section) peut être toléré, à condition que la vitesse reste inférieure à 3 m/s et que le nombre de Froude soit inférieur à 1.
- Le coefficient de rugosité de Manning-Strickler (K_s) a été fixé à 70, valeur couramment utilisée pour les ouvrages en béton.
- La pente longitudinale minimale assurant l'autocurage des dalots a été fixée à 0,3 %. Pour les besoins des calculs, une valeur initiale de 0,4 % a été retenue. Toutefois, la pente finale doit rester au moins égale à la pente critique, afin de respecter le mode de fonctionnement à surface libre.
- La vitesse maximale admissible dans les dalots est fixée à 4 m/s, en raison de la résistance des parois en béton. La vitesse minimale considérée est de 0,5 m/s, afin d'éviter les dépôts solides. La vitesse moyenne d'écoulement est déterminée à l'aide de

la formule suivante :

$$V = K_s \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \text{ (Equation 11)}$$

III.2.2.5.3 Vérifications hydrauliques

Les vérifications hydrauliques réalisées dans le cadre de cette étude ont été effectuées en cohérence avec le mode de fonctionnement retenu pour les ouvrages. Elles ont principalement consisté à déterminer les paramètres hydrauliques essentiels, présentés dans les paragraphes suivants.

III.2.2.5.3.1 Calcul de la hauteur d'eau en amont de l'ouvrage

Pour ce faire la relation suivante a été utilisée :

$$Q^* = \frac{Q}{B \times D \times \sqrt{2 \cdot g \cdot D}} \text{ (Equation 12)}$$

Avec :

Q : le débit d'une ouverture pour les dalots multiples en (m³/s) ;

B : la largeur d'une ouverture en (m) ;

D : la hauteur du dalot (m) ;

g : l'accélérateur de la pesanteur (m/s²).

De l'abaque des dalots rectangulaires à sortie libre avec de murs de tête, murs en ailes de 30° 45° (courbe A et B), voir *Annexe 14 : Abaque des dalots rectangulaires à sortie libre avec de murs de tête, murs en ailes de 30° à 45° (courbe A et B)*, on lit la hauteur réduite : H₁^{*}, et on détermine H₁ à partir de la relation :

$$H_1 = H_1^* \times D \text{ (Equation 13)}$$

III.2.2.5.3.2 Calcul de la pente critique

Pour ce faire la relation suivante a été utilisée :

$$Q^* = \frac{Q}{\sqrt{g \cdot B^5}} \text{ (Equation 14)}$$

De l'abaque des pentes critiques des dalots rectangulaires à sortie libre, voir *Annexe 15 : Abaque des pentes critiques des dalots rectangulaires à sortie libre*, on lit : I_c^* , et on détermine I_c la pente critique par la relation :

$$I_c = \frac{g \times I_c^*}{K_s^2 \times \sqrt[3]{D}} \text{ (Equation 15)}$$

III.2.2.5.3.3 Calcul de la vitesse critique

Pour ce faire la relation suivante a été utilisée :

$$Q^* = \frac{Q}{K_s \times I^{0.5} \times B^{8/3}} \text{ (Equation 16)}$$

De l'abaque des vitesses critiques des dalots rectangulaires à sortie libre, voir *Annexe 16 : Abaque des vitesses critiques des dalots rectangulaires à sortie libre* on lit : V_c^* , et on détermine la vitesse moyenne critique par la relation :

$$V_c = V_c^* \times K \times I^{0.5} \times B^{2/3} \text{ (Equation 17)}$$

Les vitesses doivent respectées les critères suivants vis-à-vis de la durabilité des ouvrages :

- ouvrages en béton : ≤ 4 m/s ;
- ouvrages métalliques : $\leq 2,5$ m/s [9]

Les dalots en béton armé sont des ouvrages de franchissement couramment utilisés dans le cadre des aménagements routiers. Ils sont constitués d'un cadre fermé en béton armé, formant le corps de l'ouvrage et des ouvrages de tête amont et aval constitués de murs en aile, reposant sur un radier. Ces murs en aile et le radier sont aussi réalisés en béton armé.

III.2.2.5.4 Prédimensionnement des dalots

Les dalots en béton armé sont des ouvrages de franchissement couramment utilisés dans le cadre des aménagements routiers. Ils sont constitués d'un cadre fermé en béton armé, formant le corps de l'ouvrage et des ouvrages de tête amont et aval constitués de murs en aile, reposant sur un radier. Ces murs en aile et le radier sont aussi réalisés en béton armé.

Caractéristiques géométriques de l'ouvrage des dalots

Soit e_t , e_R et e_P respectivement les épaisseurs du tablier, du radier et des piédroits

$$e_t, e_R, e_P = \frac{l}{32} + 0,125 \quad \text{Equation 19}$$

- l : largeur d'une cellule du dalot
- e_t : épaisseurs du tablier
- e_R : épaisseurs du radier
- e_P : épaisseurs des piédroits

III.2.2.5.5 Détermination manuelle des sections d'armatures

Les sollicitations ont été déterminées à l'aide du théorème des trois moments et vérifié avec le logiciel PyBar pour la vérification de nos calculs, sous l'effet des charges permanentes et charges routières appliquées sur les différents dalots.

$$l_i M_{i-1} + 2(l_i + l_{i+1})M_i + l_{i+1}M_{i+1} = 6EI[\varphi'_{i0} - \varphi''_{i0}] \quad \text{Equation 20}$$

À partir des sollicitations obtenues, la section des armatures du tablier et du radier est déterminée.

Les piédroits centraux sont dimensionnés comme des poteaux soumis à une compression simple et centrée.

Les piédroits intermédiaires sont quant à eux dimensionnés de la même manière que les piédroits centraux.

En revanche, les piédroits de rives sont soumis à une flexion composée et sont dimensionnés en conséquence.

III.3 Etude structurelle de la chaussée

III.3.1 Matériels utilisés

Pour la réalisation de l'étude structurelle de la chaussée, nous avons principalement utilisé Microsoft Excel comme outil de calcul. Il a permis de traiter efficacement les différentes données, d'effectuer les calculs nécessaires et de présenter de manière claire les résultats obtenus.

III.3.2 Méthodologie de réalisation de l'étude

III.3.2.1 Etude géotechnique

III.3.2.1.1 Classification des sols selon le CEBTP

Le Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux (CEBTP) distingue cinq classes de portance des sols de plateforme, définies en fonction de leur indice CBR. Ces classes permettent de caractériser les performances mécaniques des sols et d'orienter les choix techniques pour le dimensionnement de la chaussée.[10]

Tableau 5: Classe de portance des sols selon le CEBTP (CBR)

S1	CBR<5	Portance très faible
S2	5 < CBR < 10	Portance faible
S3	10 < CBR < 15	Portance moyenne
S4	15 < CBR < 30	Portance bonne
S5	CBR > 30	Portance très bonne

III.3.2.1.2 Trafic dimensionnant la piste de la Région du Nord (Gourcy – Tougo)

❖ Calcul du trafic dimensionnant la piste de la Région du Nord (Gourcy – Tougo)

$$t_{2019} = \text{Nombre de PL/jour} \times \% \text{ trafic induit} \quad \text{Equation 1}$$

❖ Calculons le Trafic moyen journalier pour l'année de mise en service (2025)

$$t_n = t_1 \times \text{CRT} \times (1 + i)^{n-1} \quad \text{Equation 2}$$

$$t_{2025} = t_{2019} \times \text{CRT} \times (1 + i)^{n-1}$$

Avec :

- t_1 : trafic moyen journalier de la première année de comptage (2019)
- i : Taux d'accroissement annuel du trafic
- n : nombre d'années
- t_n : le trafic moyen journalier à l'année n (2025)
- CRT (Coefficient de Répartition Transversale) *Annexe3 : Coefficient de répartition transversale*

III.3.2.1.3 Dimensionnement par la méthode CBR

Le dimensionnement du corps de chaussée sera réalisé par la Méthode CBR. La Formule de PELTIER sera celle utilisée et, comme recommandée dans le Guide Pratique de Dimensionnement de Chaussées dans les Pays Tropicaux. Ladite formule est valable pour des chaussées souples et est donc largement utilisée pour les routes en terre. Le principe de cette méthode consiste à partir du CBR du sol de plate-forme, à déterminer l'épaisseur totale de matériau à mettre en œuvre sur la plate-forme. Le dimensionnement de la chaussée tient également compte de l'estimation de l'usure annuelle des routes en terre. La formule utilisée est celle de PELTIER [11]:

$$e = \frac{100 + \left(75 + 50 \times \log \frac{N}{10}\right) \times \sqrt{P}}{(CBR) + 5} \quad \text{Equation 3}$$

- e : épaisseur de la couche de roulement en cm
- N : nombre de véhicules de plus de 3 tonnes par jour
- P : poids de la roue maximale en t (6,5 tonnes)
- CBR : Indice CBR du sol de plateforme.

Cette méthode admet une répartition de trafic bien définie avec des véhicules de poids variant entre 1 et 10 tonnes. Elle est valable pour des chaussées presque parfaitement souples et est donc largement utilisée pour les routes en terre. Le principe de cette méthode consiste à partir du CBR du sol de plate-forme pour déterminer l'épaisseur totale e de matériau à mettre en œuvre sur la plate-forme. Cette épaisseur doit être suffisante pour éviter le poinçonnement de la plateforme.

III.3.1.1 Vérification par les abaques du TRRL (Road note 29 du TRRL en 1966)

Cette méthode a été élaborée à partir des résultats fournis par une observation méthodique des routes britanniques durant 15 ans. Les abaques du TRRL permettent de déterminer l'épaisseur

de chaussée nécessaire pour une route en terre, en fonction du trafic PL et de l'indice CBR de la plateforme. Les abaques du TRRL sont donnés en *Annexe 17 : Abaque pour dimensionnement des chaussées en terre*.

$$e_{usure} = \text{Période de rechargement} \times \text{Usure annuelle} \quad \text{Equation 4}$$

$$e_{totale} = e_{usure} + e$$

III.4 Etude Géométrique de la route

III.4.1 Matériels utilisés

Les outils utilisés pour la mise en œuvre de cette étude sont :

- AutoCAD + Covadis : pour la modélisation du tracé, le calcul des profils et la génération des plans d'exécution.
- Excel : pour les calculs complémentaires (volumes de terrassement, pentes).

III.4.2 Méthodologie de réalisation de l'étude

La méthodologie adoptée pour cette étude repose sur une démarche rigoureuse et séquentielle, visant à garantir une conception technique fiable, conforme aux normes en vigueur et adaptée aux réalités du terrain. L'étude a été conduite en plusieurs étapes clés, allant de l'analyse des données topographiques à la modélisation géométrique complète de la route projetée.

III.4.2.1 Collecte et exploitation des données topographiques

Les données topographiques nécessaires à la conception ont été préalablement levées à l'aide d'un matériel topographique approprié. Ces levés ont permis d'obtenir une représentation fidèle du terrain naturel sous forme de plan topographique. Les données ont été traitées et exploitées à l'aide du logiciel Covadis, intégré à AutoCAD, pour générer la surface du terrain naturel, extraire les profils en long et transversaux, et effectuer les tracés géométriques.

III.4.2.2 Choix des paramètres de conception

Les paramètres géométriques ont été définis en tenant compte :

- des exigences du maître d'ouvrage (vitesse de référence : 80 km/h),

- des normes en vigueur pour les routes rurales de type A (PA),
- des contraintes du terrain (topographie, zones érodées, ravinements),
- et des principes de sécurité et de confort pour les usagers.

III.4.2.3 Conception géométrique

III.4.2.3.1 Normes d'aménagement

Pour l'aménagement des routes en terre ou pistes améliorées, des normes minimales sont généralement définies pour des vitesses de 60 à 80 km/h. Toutefois, leur application même à des vitesses plus faibles (ex. : 40 km/h) peut engendrer des terrassements lourds et coûteux. Ainsi, dans un souci d'optimisation, les projets retiennent souvent une exigence principale : **le respect d'une pente longitudinale maximale de 7 %**, permettant un compromis entre performance, faisabilité et maîtrise des coûts. Voir *Annexe 7 : Normes caractéristiques des tracés*

III.4.2.3.2 Tracé en Plan

Le tracé en plan de la piste projetée reprendra globalement celui de l'ancienne piste existante. Toutefois, des ajustements mineurs seront apportés au niveau de certains rayons de courbure et des alignements droits afin d'améliorer la sécurité et le confort de circulation. Par ailleurs, l'axe de la piste pourra être légèrement déporté, notamment dans les zones présentant des ravinements importants ou des contraintes topographiques défavorables, afin de garantir une meilleure stabilité de l'infrastructure

III.4.2.3.3 Profils en long

De manière générale, le profil en long de la piste projetée sera établi en surélévation par rapport au terrain naturel, afin de faciliter l'écoulement des eaux de ruissellement et d'améliorer la durabilité de l'infrastructure. La conception respecte les normes minimales suivantes :

- Déclivité maximale : 7 %
- Rayon minimal en angle saillant : 1 500 m
- Rayon minimal en angle rentrant : 1 500 m

Ces paramètres visent à garantir une bonne visibilité, un confort de conduite optimal et une

III.4.2.3.4 Profils en travers types

Les profils en travers types adoptés pour ce projet répondent aux standards définis pour les pistes de type A (PA). Ils prévoient une largeur circulaire de 6,00 mètres, correspondant à une chaussée bidirectionnelle à deux voies de 3,00 mètres chacune. La chaussée présente une pente transversale (toit en pente) de 3 %, facilitant l'évacuation des eaux de pluie vers les accotements et contribuant ainsi à la préservation de la structure de la chaussée.

III.5 Notice d'impact environnemental et social

III.5.1 Méthodologie appliquée pour la réalisation de la notice

La méthodologie employée dans cette notice est conforme aux exigences du Code de l'Environnement du Burkina Faso, et aux normes des partenaires techniques et financiers. Elle repose sur une approche participative, scientifique et technique, structurée autour des étapes.

Tableau 6: Récapitulatif des étapes de l'étude environnementale et sociale du projet

Phase / Composante	Description
Revue documentaire	Analyse des documents liés au PReCA, à la zone Gourcy–Tougo, aux textes juridiques (Code de l'environnement, décrets, normes sectorielles, etc.)
Description du projet	Présentation des objectifs et composantes (terrassement, assainissement, signalisation, reboisement), et délimitation du tronçon de 26 km
Campagne de terrain	Observations directes sur les sols, la végétation, l'eau, les usages, les habitations ; identification des zones sensibles
Analyse du milieu	Évaluation du milieu biophysique (air, sols, eaux, faune, flore) et humain (santé, économie, emploi, mobilité), et des interactions projet/milieu
Identification et évaluation des impacts	Analyse des impacts par phase (travaux/exploitation), classement par importance, durée, réversibilité ; distinction entre impacts négatifs et positifs
Propositions de mesures d'atténuation	Plan de réduction, compensation ou suppression des effets négatifs : arrosage, reboisement, gestion des déchets, indemnisation, etc.
Élaboration du PGES	Rédaction du Plan de Gestion Environnementale et Sociale : actions, responsabilités, indicateurs de suivi, calendrier

CHAPITRE IV : RESULTATS DES ETUDES REALISEES

IV.1 Diagnostic de la route

IV.1.1 Historique de la chaussée

La route reliant Gourcy à Tougou a été réalisée il y a environ une vingtaine d'années dans le but de désenclaver les localités rurales et de favoriser les échanges agricoles et commerciaux dans la province du Zondoma, région du Nord. Depuis sa construction, elle n'a bénéficié que d'interventions ponctuelles d'entretien courant, essentiellement constituées de rechargements localisés et de travaux de reprofilage manuel ou mécanique, sans aucune réhabilitation en profondeur. Conçue initialement comme une piste en terre de type B, elle disposait d'une chaussée d'une largeur de 5 mètres. La structure de la route comprenait une couche de forme de 30 cm et une couche de roulement de 15 cm. Toutefois, l'absence d'entretien régulier, combinée à l'intensification du trafic, aux effets de l'érosion et aux aléas climatiques, a entraîné une dégradation progressive de l'infrastructure. Aujourd'hui, la route présente de nombreuses déficiences (ornières, bourbiers, ravinements, etc.) qui compromettent son accessibilité, en particulier durant la saison des pluies.

IV.1.2 Dégradation de la chaussée

Le diagnostic réalisé révèle un état de dégradation avancé et généralisé de la chaussée. Plusieurs pathologies ont été relevées, notamment des nids-de-poule, des ornières longitudinales, des affaissements ponctuels, des fissures en « tête de chat », des ravinements en bordure, ainsi que des érosions et des bourrelets latéraux. Ces désordres, résultant d'un manque d'entretien et d'une mauvaise évacuation des eaux, compromettent la sécurité des usagers et l'intégrité de l'infrastructure. Une intervention de réhabilitation s'avère nécessaire pour rétablir les conditions de circulation.

Tableau 7: Résultats du diagnostic

PK	Photos	Type de dégradation	Description	Causes probables	Observations
5+200		Tête de chat	Pertes de matériaux plus la présence de gros éléments lors de la mise en œuvre de la couche roulement	L'érosion due aux eaux pluviales et au trafic	Cette pathologie est observée sur la quasi-totalité du tronçon, affectant une largeur comprise entre 2 et 3,5 mètres selon les zones.
6+700		Ornières / Érosion longitudinale	Traces profondes formant des creux longitudinaux	Mauvais drainage Passage répété de véhicules Ruissellement de l'eau	S'étendant parfois sur des longueurs allant jusqu'à 20 mètres et présentant une profondeur variante entre 0,15 m et 0,40 m, cette pathologie est principalement rencontrée entre le PK 6 et le PK 15.
10+200		Ornières / Érosion longitudinale	Traces profondes formant des creux longitudinaux	Ruissellement intense Mauvais drainage	Même observation que la précédente observation.
15+300		Nids de poule	Formation des trous localisés entraînant la stagnation des eaux sur la chaussée pendant la saison pluvieuse	L'infiltration d'eau dans la chaussée et le trafic	Cette pathologie est présente dans plusieurs zones du tronçon, avec une fréquence moyenne d'environ 5 nids-de-poule tous les 20 mètres dans les sections affectées.

16+100		Erosion latérale de la chaussée	Perte intense des matériaux de la chaussée	Manque de dispositif d'assainissement	Cette pathologie est particulièrement marquée dans les zones marécageuses, où les conditions d'humidité accentuent la dégradation de la chaussée.
17+300		Nids de Poule	Formation localisée de la chaussée	Trafic routier et infiltration des eaux dans la chaussée pendant la saison pluvieuse	En période sèche, les dimensions de cette pathologie sont clairement observables : en moyenne, un nid-de-poule présente un diamètre variant de 0,10 à 1 mètre selon les zones, avec une profondeur comprise entre 0,05 et 0,20 mètre.

Conclusion partielle : L'étude met en évidence un niveau de dégradation avancé de la chaussée, affectant la sécurité, le confort et la durabilité de l'infrastructure. Face à la multiplicité des pathologies relevées et à leur répartition sur l'ensemble du tronçon, une réhabilitation rapide et adaptée s'impose afin de restaurer la fonctionnalité de la voie et prévenir une détérioration plus grave à court terme.

IV.2 Etude hydrologique et hydraulique

IV.2.1 Délimitations des bassins versants

Cette démarche, reposant sur l'utilisation combinée de Google Earth et de Global Mapper, a permis la délimitation précise des bassins versants. Au total, dix bassins versants ont été identifiés et recensés le long du tronçon étudié.

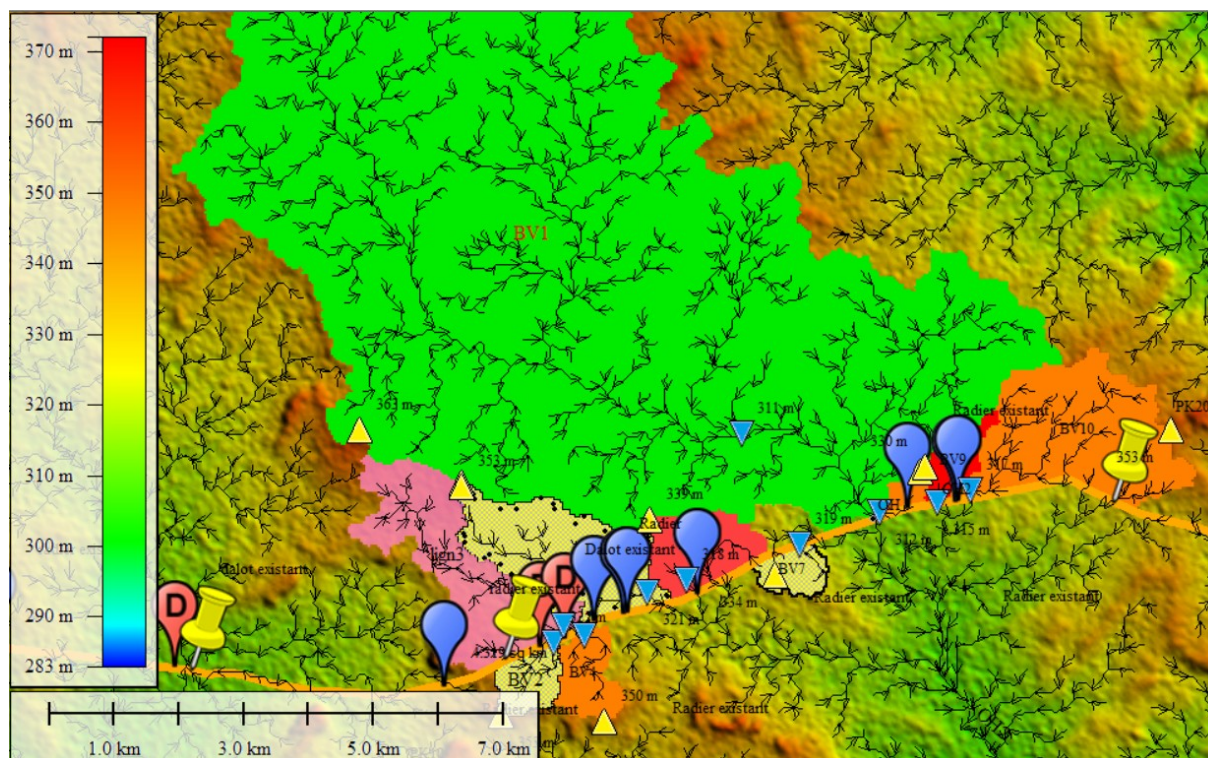


Figure 3: Délimitation des bassins versants

Tableau 8: Caractéristiques des bassins versants

Désignation	Surface (Km ²)	Périmètre (m)	Altitude max (m)	Altitude min (m)	L(m)	Pente (%)
BV_1	72.41	61.422	363	311	18933	0.27
BV_2	0.87	4.718	353	325	1302	2.15
BV_3	4.32	17.618	355	325	4809	0.62
BV_4	1.12	6.258	350	323	1899	1.42
BV_5	3.96	13.334	353	321	4324	0.74
BV_6	1.79	6.802	339	318	1587	1.32
BV_7	0.71	4.432	334	319	815.53	1.84
BV_8	0.30	3.217	330	312	259.82	6.93
BV_9	0.81	6.043	330	315	1474	1.02
BV_10	5.40	13.793	353	317	4111	0.88

IV.2.2 Ajustements statistiques des pluies maximales

IV.2.1.1 Hypothèses sur les pluies maximales en 24h

Deux tests statistiques ont été appliqués aux séries de pluies maximales sur 24 heures afin de vérifier la fiabilité des données. Les résultats obtenus montrent que les séries sont statistiquement indépendantes et stationnaires, ce qui signifie qu'aucune évolution significative n'a été détectée au cours du temps.

IV.2.1.2 Choix de la loi d'ajustement

Compte tenu de la nature des données, la loi de Gumbel (ou loi double exponentielle) a été retenue comme modèle probabiliste adapté. Les résultats issus de cet ajustement sont présentés ci-après.

Tableau 9: Résultats obtenus lors de l'ajustement de la série des pluies maximales en 24 h à la station de Gourcy

Période de retour T (année)	q = F(X) (probabilité au non-dépassement)	XT = Pluie maximale journalière (mm)		
		Méthode du maximum de vraisemblance corrigée	Méthode des moments	Méthode des moments pondérés
100	0.99	129	132	133
50	0.98	118	120	121
20	0.95	103	105	106
10	0.9	91,7	92,8	93,4

Les estimations de la pluie maximale en 24 heures obtenues par les méthodes du maximum de vraisemblance corrigée, voir *Annexe 18: Ajustement statistique de la pluie maximale journalière sous la méthode du maximum de vraisemblance corrigée* et des moments simples, voir *Annexe 19: Ajustement statistique de la pluie maximale journalière sous la méthode des moments* se sont révélées inférieures à celles issues de la méthode des moments pondérés. Par souci de prudence et dans une logique de sécurité des ouvrages, les valeurs issues de la méthode des moments pondérés ont été retenues pour la suite de l'étude. Ainsi, la valeur de référence retenue pour la pluie maximale journalière correspondant à une période de retour de 10 ans est de **93,4 mm**.

Tableau 10: Ajustement statistique de la pluie maximale journalière sous la méthode des moments pondérés

Ajustement statistique de la pluie maximale journalière de la station de GOURCY (1982-2021)					
Résultats de l'ajustement					
Gumbel (Méthode des moments pondérés)					
Nombre d'observations: 33					
Paramètres					
u : 55.403022					
alpha : 16.888822					
Quantiles					
q = F(X) (probabilité au non-dépassement)					
T = 1/(1-q)					
T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
10000.0	0.9999	211	24.1	164	258
2000.0	0.9995	184	19.8	145	223
1000.0	0.9990	172	18.0	137	207
200.0	0.9950	145	13.8	118	172
100.0	0.9900	133	12.0	110	157
50.0	0.9800	121	10.2	101	141
20.0	0.9500	106	7.83	90.2	121
10.0	0.9000	93.4	6.11	81.4	105
5.0	0.8000	80.7	4.48	72.0	89.5
3.0	0.6667	70.6	3.48	63.8	77.5
2.0	0.5000	61.6	3.04	55.6	67.6
1.4286	0.3000	52.3	3.26	45.9	58.7
1.2500	0.2000	47.4	3.62	40.3	54.5
1.1111	0.1000	41.3	4.21	33.1	49.6
1.0526	0.0500	36.9	4.73	27.6	46.1
1.0204	0.0200	32.4	5.30	22.0	42.7
1.0101	0.0100	29.6	5.66	18.5	40.7
1.0050	0.0050	27.2	5.98	15.5	39.0
1.0010	0.0010	22.8	6.60	9.83	35.7
1.0005	0.0005	21.1	6.83	7.77	34.5
1.0001	0.0001	17.9	7.29	3.61	32.2

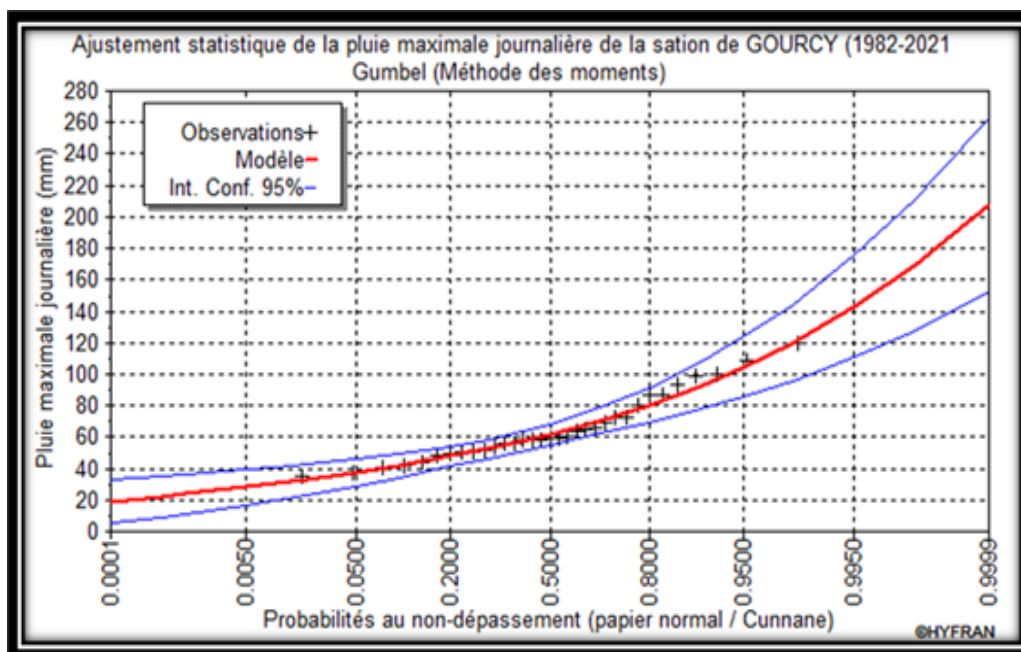


Figure 4: Ajustement statistique de la pluie maximale journalière sous la méthode des moments

IV.2.1.3 Ajustements statistiques des pluies annuelles

L'ajustement statistique des pluies annuelles par la loi normale sur cette période donne 865 mm à Gourcy.

Tableau 11: Ajustement statistique de la pluie maximale annuelle de la station de Gourcy

Ajustement statistique de la pluie maximale annuelle de la station de GOURCY (1982-2021)					
Résultats de l'ajustement					
Gumbel (Maximum de vraisemblance)					
Nombre d'observations: 30					
Paramètres					
mu : 676.400000					
sigma : 146.859445					
Quantiles					
q = F(X) (probabilité au non-dépassement)					
T = 1/(1-q)					
T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
10000.0	0.9999	1220	76.6	1070	1370
2000.0	0.9995	1160	68.9	1020	1290
1000.0	0.9990	1130	65.4	1000	1260
200.0	0.9950	1050	56.5	944	1170
100.0	0.9900	1020	52.3	916	1120
50.0	0.9800	978	47.8	884	1070

20.0	0.9500	918	41.5	837	999
10.0	0.9000	865	36.5	793	936
5.0	0.8000	800	31.3	739	861
3.0	0.6667	740	28.1	685	795
2.0	0.5000	676	26.8	624	729
1.4286	0.3000	599	28.7	543	656
1.2500	0.2000	553	31.3	491	614
1.1111	0.1000	488	36.5	417	560
1.0526	0.0500	435	41.5	353	516
1.0204	0.0200	375	47.8	281	468
1.0101	0.0100	335	52.3	232	437
1.0050	0.0050	298	56.5	187	409
1.0010	0.0010	223	65.4	94.4	351
1.0005	0.0005	193	68.9	58.1	328
1.0001	0.0001	130	76.6	-19.9	280

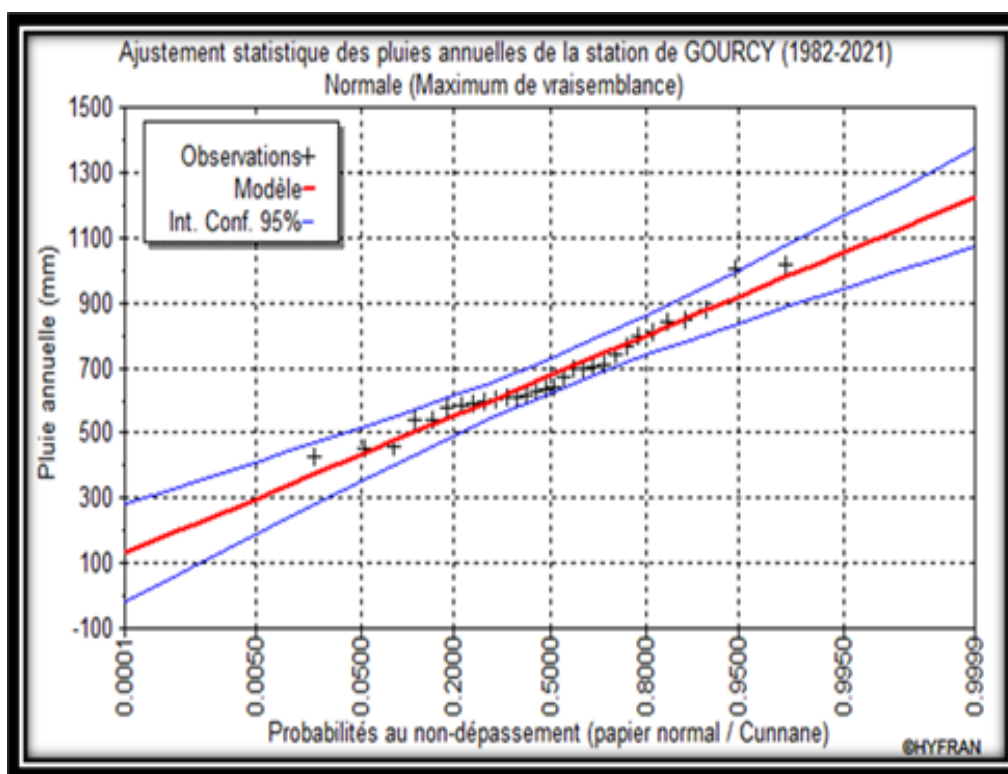


Figure 5: Ajustement statistique de la pluie maximale annuelle de la station de Gourcy

IV.2.3 Evaluations des débits de crues du projet

IV.2.3.1 Méthode OSTROM

Les débits calculés à l'aide de la méthode d'Ostrom sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau 12: Résultat des débits par la méthode Ostrom

Mémoire de Master d'ingénierie Présenté par Cheik Ahmed OUEDRAOGO	Promotion 2024-2025	39
--	------------------------	----

Bassins	Superficie (km²)	Périmètre (km)	Indice de compacité (Ic)	Longueur équivalente(km)	Dénivelée D (m)	Indice global de pente Ig (m/km)	Igcor (m/km)	Pluie annuelle Pan (mm)
BV 1	72.41	61.42	2.04	28.14	27	0.96	-	865
BV 2	0.87	4.72	1.43	1.90	20	10.52	9.33	865
BV 3	4.32	17.62	2.39	8.29	17	2.05	-	865
BV 4	1.12	6.26	1.67	2.72	17	6.26	-	865
BV 5	3.96	13.33	1.89	6.01	18	3.00	-	865
BV 6	1.79	6.80	1.43	2.75	11	4.00	-	865
BV 7	0.71	4.43	1.48	1.83	11	6.02	-	865
BV 8	0.3	3.22	1.66	1.39	13	9.33	6.2	865
BV 9	0.81	6.04	1.89	2.72	9	3.30	-	865
BV 10	5.4	13.79	1.67	6.00	24	4.00	-	865

Coefficient d'abattement A	Coefficient de pointe décennal a ₁₀	Coefficient de ruissellement décennal [%] Kr ₁₀	Pluie journalière décennale (P ₁₀)	Temps de base Tb ₁₀ en sec	Débit de point décennal Qr ₁₀	Coefficient de majoration (retardé)	Débit projet Q ₁₀ (m³/s)
0.77	2.6	15.84	93.4	182422.91	11.73	1.1	12.90
1.01		31.30		10575.22	6.30	1.03	6.49
0.92		21.03		65669.15	3.09	1.03	3.19
0.99		28.31		22513.47	3.40	1.03	3.50
0.93		22.53		50929.90	3.94	1.03	4.05
0.97		22.98		42947.04	2.25	1.03	2.32
1.02		27.93		21817.64	2.25	1.03	2.32
1.07		28.33		18196.45	1.21	1.03	1.24
1.01		23.89		35502.94	1.34	1.03	1.38
0.91		25.15		47610.92	6.29	1.03	6.48

IV.2.3.2 Méthode CIEH

Les débits calculés à l'aide de la méthode CIEH sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau 13: Résultat des débits par la méthode CIEH

Méthode CIEH												
Paramètres	Symbole	Unité	BV_1	BV_2	BV_3	BV_4	BV_5	BV_6	BV_7	BV_8	BV_9	BV_10
Superficie du bassin versant	S	Km ²	72.41	0.87	4.32	1.12	3.96	1.79	0.71	0.30	0.81	5.40
Indice globale de pente	%	m/km	0.96	9.33	2.05	6.26	3.00	4.00	6.02	6.20	3.30	4.00
Pluie décennale	P10	mm	93.4	93.4	93.4	93.4	93.4	93.4	93.4	93.4	93.4	93.4
Pluie journalière moyenne	Pm10	mm	71.74	94.10	86.00	92.83	86.44	90.46	95.13	99.49	94.47	84.87
Coeff de ruissellement	Kr10	%	15.84	31.30	21.03	28.31	22.53	22.98	27.93	28.33	23.89	25.15
Coefficient d'abattement	A	-	0.77	1.01	0.92	0.99	0.93	0.97	1.02	1.07	1.01	0.91
Eq 39 : S Kr10			32.41	9.28	12.70	9.41	13.04	9.48	7.66	5.38	7.01	16.47
Eq 40 : S Kr10 Ig			27.12	8.60	10.50	8.41	11.20	8.15	6.70	4.58	5.75	14.82
Eq 42 : S Kr10 Ig			23.51	6.79	6.94	6.15	8.18	5.62	4.46	2.63	3.26	12.54
Eq 44 : S Kr10 Pm10			52.75	8.47	14.38	8.92	14.52	9.66	6.93	4.46	6.55	18.75
Débit moyen Q10			33.95	8.28	11.13	8.23	11.74	8.23	6.44	4.26	5.64	15.65

IV.2.3.3 Méthode PUECH ET CHABI-GONI

Les débits calculés à l'aide de la méthode sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau 14: Résultat des débits par la méthode PUECH et CHABI-GONI

Bassins	Superficie (km ²)	Indice global de pente Ig (m/km)	Pluie annuelle Pan (mm)	Débit de pointe décennal (m ³ /s)
BV_1	72.41	0.96	865	23.70
BV_2	0.87	10.52	865	4.48
BV_3	4.32	2.05	865	5.33
BV_4	1.12	6.26	865	3.98
BV_5	3.96	3.00	865	6.21
BV_6	1.79	4.00	865	4.26
BV_7	0.71	6.02	865	2.85
BV_8	0.3	9.33	865	2.03
BV_9	0.81	3.30	865	2.23
BV_10	5.4	4.00	865	9.03

IV.2.3.4 Méthode rationnelle

Les débits calculés à l'aide de la méthode sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau 15: Résultat des débits par la méthode rationnelle

Bassin Versant	Superficie Km2	L'écoulement (m)	Coefficient de ruissellement	Intensité de pluie(mm/h)	Débit en m3/s
BV_2	0.87	1302	0.3	99.74	7.23
BV_4	1.12	1899	0.3	79.73	7.44
BV_5	3.96	4324	0.3	51.32	16.94
BV_6	1.79	1587	0.3	84.22	12.56
BV_7	0.71	815.53	0.3	115.75	6.85
BV_8	0.3	259.82	0.3	231.43	5.79
BV_9	0.81	1474	0.3	82.36	5.56

IV.2.3.5 Débit de projet

Pour chaque bassin versant, le débit retenu est le maximum des débits calculés selon chaque méthode de calcul, c'est à dire la méthode ORSTOM, la méthode CIEH, la méthode PUECH ET CHABI-GONI et la méthode rationnelle pour les bassins concernés.

Tableau 16: débit maximal de chaque méthode au niveau des bassins

Bassin Versant	Surface (Km ²)	Ostrom Q_{10} (m ³ /s)	Rationnelle Q_{10} (m ³ /s)	CIEH Q_{10} (m ³ /s)	PUECH ET CHABI- GONI Q_{10} (m ³ /s)	Débit Max projet (m ³ /s)	Méthode
BV_1	72.41	12.90	-	33.95	23.70	33.95	CIEH
BV_2	0.87	6.49	7.23	8.63	4.48	8.63	CIEH
BV_3	4.32	3.19	-	11.13	5.33	11.13	CIEH
BV_4	1.12	3.50	7.44	8.23	3.98	8.23	CIEH
BV_5	3.96	4.05	16.94	11.74	6.21	16.94	RATIONNELLE
BV_6	1.79	2.32	12.56	8.23	4.26	12.56	CIEH
BV_7	0.71	2.32	6.85	6.44	2.85	6.85	RATIONNELLE
BV_8	0.3	1.24	5.79	5.13	2.03	5.79	RATIONNELLE
BV_9	0.81	1.38	5.56	5.64	2.23	5.64	CIEH
BV_10	5.4	6.48	--	15.99	9.03	15.99	CIEH

IV.2.4 Dimensionnement hydraulique des dalots

IV.2.4.1 Vérifications hydrauliques

Les vérifications hydrauliques sont décrites dans le tableau ci-dessous.

Tableau 17: Vérifications hydrauliques

Bassin versant	BV 1	BV 2	BV 3
Débit de projet Q10 (m3/s) /ouvrage	33.95	8.63	11.13
Type d'ouvrage existant	Radier submersible	Dalot 1×100×100	Dalot 2×100×100
Propositions des nouveaux ouvrages	Dalot 4×300×200	Dalot 1×200×200	Dalot 2×1.50×200
Hauteur du dalot D (m)	2	2	2
Largeur de la cellule B (m)	3	2	1.5
Vitesse admissible (m/s)	4	4	4
Nombre de cellule	4	1	2
Débit par cellule (m3/s)	8.49	8.63	5.57
Pesanteur g (m/s ²)	9.81	9.81	9.81
Débit réel de l'ouvrage (m3/s)	96	16	24
Débit réduit Q* (m3/s)	0.23	0.344	0.30
Hauteur réduite H* (abaque 77 BCEOM)	0.7	0.92	0.84
Profondeur d'eau en amont H1	1.4	1.84	1.68
Vérification H*/D ≤ 1,25	Vérifié	Vérifié	Vérifié
Revanche D-H1(m)	0.6	0.16	0.32
Débites réduit Q** (m3/s)	0.0071	0.055	0.15
Pente critique Ic* réduit abaque 82 BCEOM	3.3	2.65	2.75
Coefficient de rugosité du béton (k)	70	70	70
Pente critique Ic	0.0052	0.00421	0.00437
Débit réduit Q*** (m3/s)	0.089	0.299	0.41
Vitesse v* (abaque 84 BCEOM)	0.32	0.44	0.46
Vitesse de sortie V	3.35	3.16	2.782
Vsortie ≤ Vmax	Vérifié	Vérifié	Vérifié
Section retenue	4x300x200	1x200x200	2x150x200

IV.2.4.2 Prédimensionnement des dalots

Le récapitulatif des ouvrages hydrauliques est donné dans le tableau suivant.

Tableau 18: Prédimensionnement des dalots

Désignations	Dimensions				
N°	Nombre des alvéoles	B (m)	H (m)	Épaisseur dalle / radier (m)	Épaisseur piédroits (m)
Dalot 1	4	3	2	0.3	0.3
Dalot 2	1	2	2	0.2	0.2
Dalot 3	2	1.5	2	0.2	0.2

IV.2.4.3 Détermination manuelle des sections d'armatures

IV.2.4.3.1 Dalot 4 × 3m × 2m

Tableau 19: Récapitulatif des moments dalot 4×3m×2m

Travées	A1-A2	A2-A3	A3-A4	A4-A5	A5-A6	A6-A7	A7-A8	A8-A9	A9-A10	A10-A1
Moments mi-travée (KN.m)	49,75	83,1	55,73	55,76	83,10	49,75	88,20	59,90	59,90	88,20
Appuis	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
Moments sur appuis (KN.m)	63,29	56,84	138,86	111,52	138,86	56,84	63,29	148,07	119,81	148,07

Tableau 20: Récapitulatif des aciers du dalot 4×3m×2m

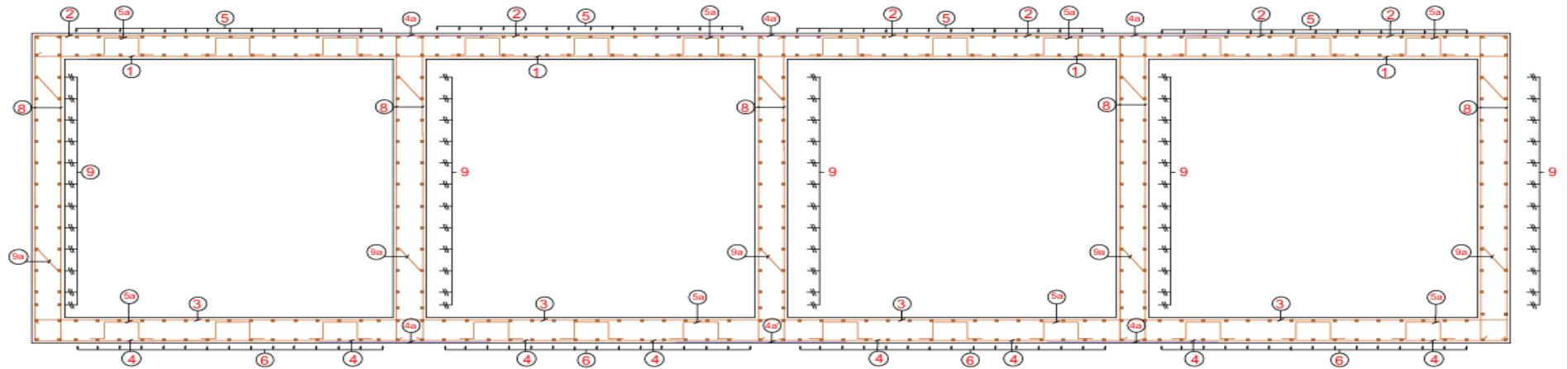
Désignations	Sections	Choix aciers principales	Esp (cm)	Choix aciers de répartitions	Esp (cm)
TABLIER	Travées A2-A3 et A5-A6	5HA16/face	20	5HA12/face	20
	Travées A3-A4 et A4-A5	5HA16/face	20	5HA12/face	20
	Appuis A2, A6	5HA16/face	20	-	-
	Appuis A3, A5	5HA20	20	-	-
	Appui centrale A4	5HA12	20	-	-
PIEDROITS	Piédroit central	5HA12/face	20	6HA10/face	15
	Piédroits intermédiaires	5HA12/face	20	6HA10/face	15
	Piédroits de rives	5HA12/face	20	6HA10/face	15
RADIER	Travées A8-A7 et A1-A10	5HA16/face	20	5HA12/face	20
	Travées A10-A9 et A9-A8	5HA16/face	20	5HA12/face	20
	Appuis A1, A7	5HA16/face	20	-	-
	Appuis A8, A10	5HA20	20	-	-
	Appui centrale A9	5HA14	20	-	-

IV.2.4.3.2 Aciers murs en aile

Tableau 21: Récapitulatif des aciers du mur en aile 4×3m×2m

Désignations	Sections	Coté remblai				Coté non remblayé					
		Aciers principales	Esp (cm)	A _H	Esp (cm)	A _H	Esp (cm)	A _v	Esp (cm)	Aciers répartitions	Esp (cm)
Voile	S1	5HA14	20	6HA8	15	6HA14	15	5HA10	20	-	
	S4	5HA14	20	6HA8	15	6HA14	15	5HA10	20	-	
	S5	5HA14	20	6HA8	15	6HA14	15	5HA10	20	-	
	S6	5HA14	20	6HA8	15	6HA14	15	5HA10	20	-	
Patin	S2	5HA12	20	-	-					5HA10	20
Talon	S3	5HA12	20	-	-					5HA10	20

Pour les deux autres dalots voir *Annexe 23 : Sections d'armatures et plans des dalots*



SECTION DU DALOT

Ministère de l'Environnement de l'Eau et de l'Assainissement ***** Secrétariat Général	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 2iE ***** 	Mission de controle	ENTREPRISE: Groupement	Travaux de réhabilitation de la route Gourcy-Tougou 26 km	AUTEUR	
BURKINA FASO  Unité-Progress-Justice		 INGENIEURS CONSEILS Intersection Route 6.21 / 6.24 Boulevard de l'Indépendance - Bâtiment 1 BP 8000 Ouagadougou 01 Tel: 00 226 51 21 10 10 Email: www.ingenieursconseils.com	 	Ferrailage corps dalot 4*3*2	Cheik Ahmed OUEDRAOGO	Date: Avril 2025 Echelle: 1/1

Figure 6: Plan de ferrailage du corps du dalot

IV.3 Etude structurelle de la chaussée

IV.3.1 Résultats et recommandations géotechniques

Les résultats des essais réalisés sur les matériaux prélevés le long du tracé de la piste Gourcy-Tougou indiquent que les sols de la plateforme présentent des portances globalement satisfaisantes, majoritairement classées entre S3 et S5, à l'exception du point de sondage n°14 et de sa zone d'influence, où des sols de classe S2 (CBR > 5 % à 95 % de l'OPM) ont été rencontrés. Sur l'ensemble du tracé, les points présentant un indice de plasticité (IP) supérieur ou égal à 30 feront l'objet de purges, avec remplacement des matériaux par des apports dont l'IP est inférieur à 30, afin d'assurer une meilleure stabilité.

Tableau 22: Nouvelle classe de plateforme selon la qualité et l'épaisseur du matériau de substitution

Nouvelle classe de plateforme	Qualité du matériau	Epaisseur minimale (cm)
S2	S2	45
S2	S3	35
S2	S4	30
S3	S3	45
S3	S4	35
S4	S4	50

Par ailleurs, les zones de portance S2 et S3 seront systématiquement rechargées par une couche de remblai constituée de matériaux graveleux latéritiques, dont le CBR est supérieur ou égal à 15 % à 95 % de l'OPM, sur une épaisseur de 50 cm. Enfin, pour le dimensionnement de la chaussée, la classe de **portance S4** a été retenue comme référence.

IV.3.2 Trafic dimensionnant la piste de la Région du Nord (Gourcy – Tougo)

❖ Calcul du trafic dimensionnant la piste de la Région du Nord (Gourcy – Tougo)

$$t_{2019} = 13 \text{ PL/jour}$$

❖ Calculons le Trafic moyen journalier pour l'année de mise en service (2025)

$$t_{2025} = 13 \times 0,75 \times (1 + 0,05)^{6-1}$$

$$t_{2025} = 15 \text{ PL/jours}$$

IV.3.3 Dimensionnement par la méthode CBR

La formule utilisée est celle de PELTIER :

$$e = \frac{100 + \left(75 + 50 \times \log \frac{N}{10}\right) \times \sqrt{P}}{(CBR) + 5}$$

$$e = \frac{100 + \left(75 + 50 \times \log \frac{15}{10}\right) \times \sqrt{6,5}}{(15) + 5}$$

$$e = 15,68 \text{ cm}$$

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

IV.3.4 Vérification par les abaques du TRRL (Road note 29 du TRRL en 1966)

Pour un trafic estimé à 15 PL/jour et un CBR de 15 nous utiliserons la courbe A de l'abaque.

Nous obtenons une épaisseur d'environ **15 cm**.

Le dimensionnement de la chaussée tient également compte de l'estimation de l'usure annuelle des routes en terre.

$$e_{usure} = \text{Période de rechargement} \times 2 \text{ cm}$$

$$e_{usure} = 5 \times 2 \text{ cm}$$

$$e_{usure} = 10 \text{ cm}$$

$$e_{totale} = e + e_{usure} = 15 + 10 = 25 \text{ cm}$$

Pour la réalisation de la route nous obtenons pour :

- **Couche de forme : en graves latéritiques (Ep. =30 cm) avec un CBR supérieure ou égale à 15 ;**
- **Couche de roulement : en graves latéritiques (Ep. =15 cm) avec un CBR est supérieure ou égale à 30.**

Nous allons utiliser un matériau dont le CBR est supérieur ou égale à 30 pour réaliser l'ensemble des couches de la chaussée donc nous allons réaliser une chaussée de 45 cm d'épaisseur totale. Tout en s'assurant que le CBR de la couche de forme ne dépasse pas celle de la couche de roulement.

IV.4 Etude géométrique de la chaussée

IV.4.1 Tracé combiné

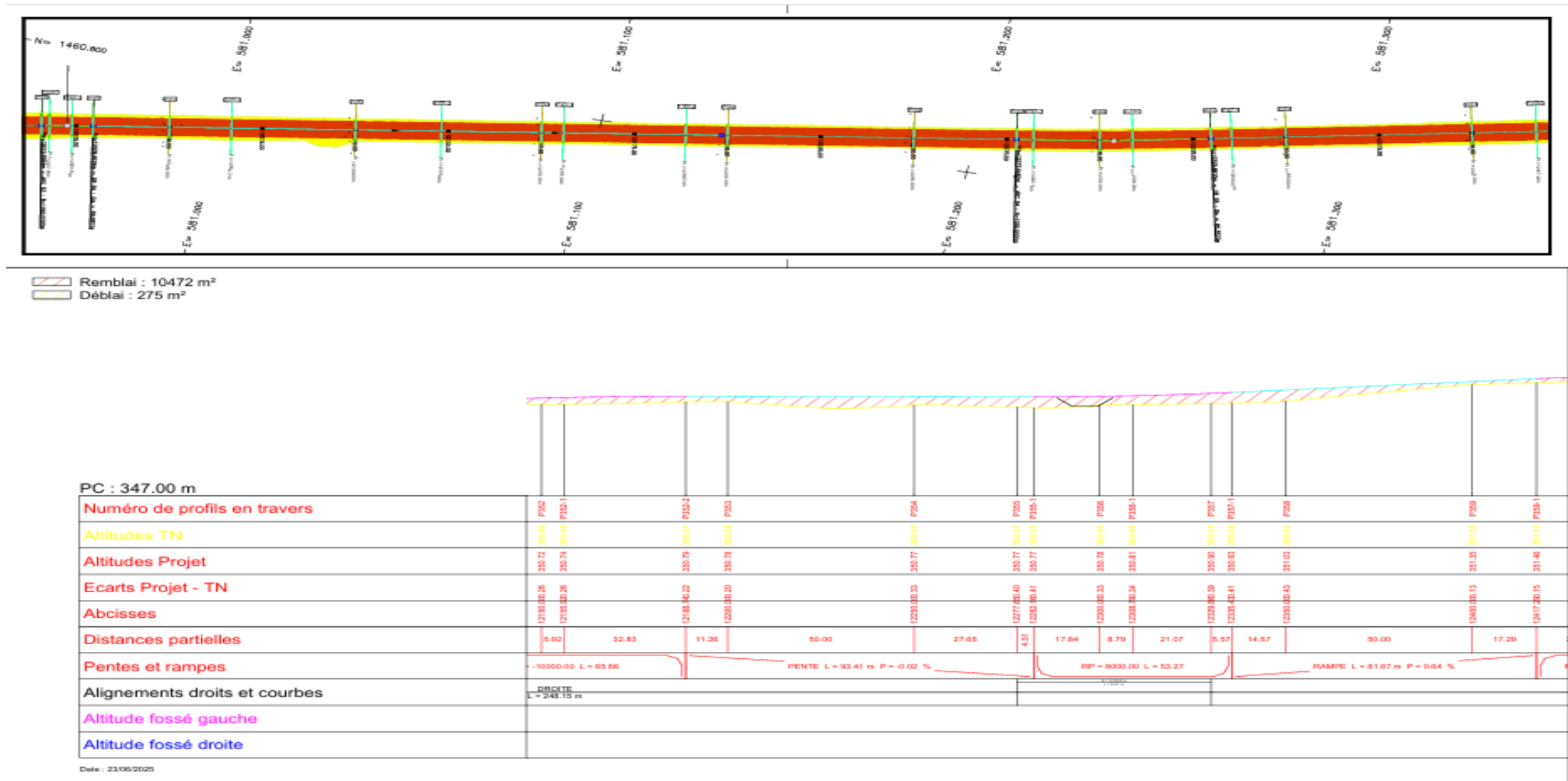


Figure 7: Tracé combinée 1

Voir Annexe 26 : Tracé combiné pour les autres tracés combinés

IV.4.2 Profils en travers types

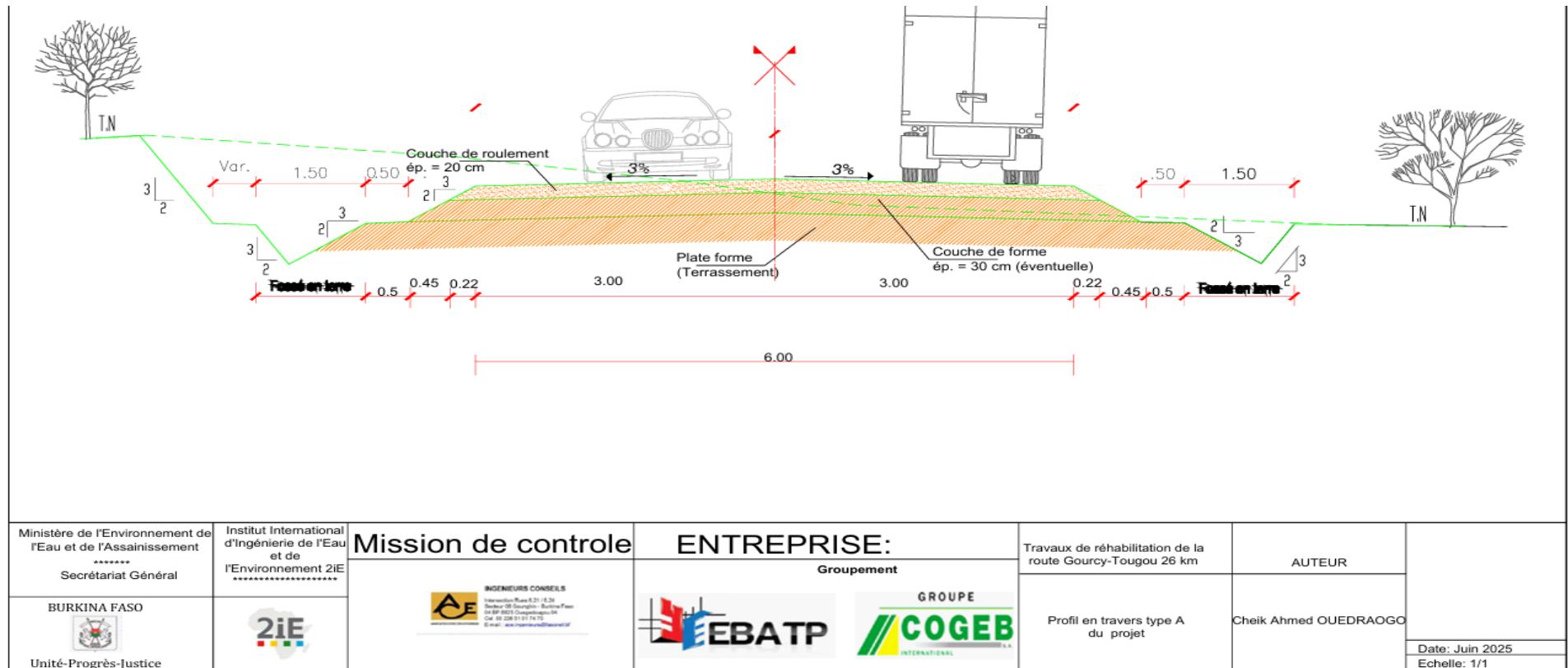


Figure 8: Profil en travers type du projet

Voir Annexe 25 : Profil en travers type

IV.5 Notice d'impact environnementale et sociale

IV.5.1 Introduction

Dans le cadre du Projet de Résilience et de Compétitivité Agricole (PReCA), cette Notice d'Impact Environnemental et Sociale (NIES) évalue les effets potentiels de la réhabilitation de la piste Gourcy – Tougo, dans la province du Zondoma, région du Nord. Cet axe est essentiel pour le désenclavement rural et l'amélioration des conditions de vie. Respectant la réglementation nationale et les exigences des partenaires financiers, la NIES suit une approche préventive et durable. Elle présente le projet, analyse le milieu, identifie les impacts, propose des mesures d'atténuation, élabore un Plan de Gestion Environnementale et Sociale, rappelle le cadre juridique, expose la consultation des parties prenantes et conclut. Cette démarche vise à assurer une mise en œuvre responsable et la durabilité des bénéfices pour les populations locales.

IV.5.2 Analyse des impacts potentiels du projet

IV.5.2.1 Milieu biophysique

Une évaluation environnementale sommaire du projet a permis d'identifier plusieurs impacts potentiels, répartis selon les phases de travaux et d'exploitation. Les principales thématiques concernées sont : la qualité de l'air, l'ambiance sonore, les ressources en eau, la végétation, les sols et la faune.

- En ce qui concerne l'ambiance sonore, le bruit des engins et du trafic routier constitue une gêne importante, notamment pour les riverains.
- La végétation sera partiellement détruite lors du décapage et du terrassement, entraînant une perte de biodiversité si aucune mesure de reboisement n'est prévue.
- Les sols seront impactés par le décapage de la couche arable, le compactage et l'érosion,
- La faune locale pourrait subir des perturbations liées au bruit, à la destruction d'habitats, et à un risque accru de collisions avec les véhicules.

Dans l'ensemble, les impacts identifiés sont négatifs, avec un niveau d'importance variable selon les thématiques et les phases. Une analyse détaillée est présentée le tableau.

Voir **Annexe 20 : Evaluation des impacts**

IV.5.2.2 Milieu humain

L'analyse des impacts sociaux du projet met en évidence plusieurs effets significatifs, aussi bien pendant la phase des travaux que lors de l'exploitation future de la route.

- Concernant les activités économiques, les travaux peuvent temporairement perturber l'accès pour les commerçants et artisans. En revanche, à long terme, la route réhabilitée facilitera les échanges agricoles, réduira les coûts logistiques et stimulera l'économie locale.
- Sur le volet emploi, le chantier offre des opportunités d'emplois temporaires pour la main-d'œuvre locale. Par la suite, la relance du commerce et des services contribuera à la création d'emplois indirects durables.
- Enfin, les conditions de vie des populations seront impactées négativement à court terme (nuisances, perturbations), mais s'amélioreront considérablement à long terme grâce à un meilleur accès aux infrastructures de base, renforçant la résilience et le bien-être des communautés.

L'ensemble de ces impacts est analysé de manière détaillée dans le tableau. **Annexe 20: Evaluation des impacts**

IV.5.3 Impacts potentiels

IV.5.3.1 Impacts positifs

- Désenclavement de plusieurs villages le long du tronçon, facilitant l'accès aux services sociaux de base tels que l'éducation, la santé et les marchés agricoles ;
- Stimulation de l'économie locale par une meilleure évacuation des produits agricoles et une réduction des pertes post-récolte ;
- Réduction des coûts et des délais de transport, permettant un accès plus rapide et plus économique aux grands centres comme Gourcy et Ouahigouya ;
- Création d'emplois temporaires et durables liés aux travaux de construction, de maintenance et à la relance de l'activité économique le long du corridor ;

- Renforcement de la cohésion sociale à travers l'amélioration des échanges intercommunautaires et des déplacements sociaux (cérémonies, visites, etc.) ;
- Amélioration de la sécurité en cas d'urgence sanitaire ou alimentaire grâce à une accessibilité accrue

IV.5.3.2 Impacts négatifs potentiels

- Déforestation et perte de couverture végétale lors des travaux de débroussaillage, pouvant entraîner une réduction de la biodiversité locale ;
- Pollution atmosphérique et sonore due aux engins de chantier (émissions de poussières, bruit, gaz d'échappement) avec un impact temporaire sur les populations riveraines et la faune ;
- Altération des sols par les décapages et terrassements, augmentant les risques d'érosion, de ruissellement et de perte de fertilité agricole ;
- Perturbation de la faune locale par la modification de leur habitat et les nuisances temporaires du chantier ;
- Risque d'accidents de chantier liés à la cohabitation entre engins, travailleurs et usagers (piétons, cyclistes, motocyclistes, charretiers) ;
- Risques de conflits sociaux en cas d'absence de communication, de concertation ou de compensation adéquate pour les personnes affectées par le projet (emprise, emprunts, pertes de cultures) ;
- Prolifération possible de maladies hydriques ou respiratoires en cas de stagnation d'eau ou de mauvaise gestion des poussières et déchets ;
- Risques d'exploitation de main-d'œuvre ou de tensions communautaires si l'emploi local n'est pas équitablement réparti.

IV.5.4 Mesures d'atténuation

Afin de réduire les impacts environnementaux et sociaux identifiés, plusieurs mesures ont été proposées dans le cadre du projet.

- La délimitation stricte de l'emprise des travaux vise à éviter toute extension non maîtrisée du chantier, permettant ainsi de préserver la végétation avoisinante et de limiter les perturbations sur les écosystèmes naturels.
- L'arrosage régulier des pistes en cours de réhabilitation contribuera à limiter les émissions de poussières, particulièrement dans les zones habitées, améliorant ainsi la qualité de l'air pour les riverains.
- L'utilisation de carburants propres et l'entretien régulier des engins sont essentiels pour réduire les émissions polluantes, les nuisances sonores, et garantir un fonctionnement optimal des équipements.
- La stabilisation des talus et le traitement des zones critiques permettront de prévenir les phénomènes d'érosion, les glissements de terrain, et d'assurer la durabilité de l'infrastructure. Pour plus de détails Voir *Annexe 21 : Mesures d'atténuation environnementales et sociales*

IV.5.5 Plan de gestion environnementale et sociale (PGES)

Pour le tronçon Gourcy – Tougo, un Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES) détaillé sera mis en œuvre afin d'assurer l'intégration effective des préoccupations environnementales et sociales tout au long du projet. Ce plan comprendra :

- **Prévention et réduction** : Cette catégorie regroupe les actions visant à minimiser les impacts négatifs du projet sur l'environnement, notamment en limitant l'emprise des travaux, en gérant correctement les déchets, en contrôlant la poussière, en protégeant les sols et en restaurant la végétation.
- **Sécurité** : Les mesures de sécurité ont pour but de protéger les travailleurs et les populations environnantes. Elles incluent la sécurisation des zones de chantier, une signalisation appropriée, la fourniture d'équipements de protection individuelle (EPI) aux ouvriers, ainsi que la sensibilisation à la sécurité routière.
- **Mesures sociales** : Pour garantir l'acceptabilité sociale du projet, ces mesures assurent l'information et la consultation des populations concernées, une indemnisation juste, la promotion de l'emploi local et la prise en compte des besoins des groupes vulnérables. Pour plus de détails voir *Annexe 22 : Principales mesures environnementales, sociales et de suivi*

Ce PGES constitue un outil opérationnel essentiel pour assurer la durabilité environnementale et sociale des interventions.

IV.5.6 Conclusion

La réhabilitation et l'aménagement de l'axe Gourcy – Tougo présentent des impacts positifs significatifs, tant sur les plans économiques que social. Avec une bonne mise en œuvre des mesures d'atténuation environnementale, le projet contribuera à l'amélioration durable des conditions de vie des populations locales.

IV.6 Signalisation routière et estimation du cout du projet

IV.6.1 Signalisation routière

IV.6.1.1 Signalisation temporaire pendant les travaux

Tableau 23: Quelques signalisations temporaires

Panneaux	Descriptions
	Panneau de limitation de vitesse : ce panneau impose une vitesse maximale temporaire adaptée aux conditions de chantier. Ils sont positionnés à l'entrée et parfois à l'intérieur de la zone de travaux.
	Panneau de déviation : Utilisés lorsqu'un itinéraire alternatif est nécessaire pour contourner la zone de travaux.
	Panneau de sorties de camions : Placés avant les points de sortie des engins de chantier, ils préviennent les conducteurs du risque de croisement avec des poids lourds ou des camions de terrassement.
	Cônes de signalisation : Utilisés pour matérialiser des voies provisoires, fermer une voie ou signaler un danger immédiat.

IV.6.1.2 Signalisation permanente prévue après travaux

❖ Panneaux de signalisation

Les panneaux prévus dans le projet sont classés selon les types suivants :

Tableau 24: Signalisations définitives

Panneaux	Code	Descriptions
	A1b	Virage à gauche : indique un virage dangereux vers la gauche
	A1a	Virage à droite : indique un virage dangereux vers la droite.
	A1c	Succession de virages (1er à gauche) : annonce plusieurs virages, le premier étant à gauche.
	A1d	Succession de virages (1er à droite) : annonce plusieurs virages, le premier étant à droite.
	AB4	STOP : oblige à s'arrêter complètement à une intersection.
	A15a1	Passage d'animaux domestiques : signale un risque de traversée d'animaux (vaches, moutons...).
	A13a	Passage d'enfants : signale la présence d'enfants (écoles, aires de jeux).
	B14	Limitation de vitesse à 50 km/h : interdit de dépasser les 50 km/h.
	B3	Dépassement interdit : interdit à tous les véhicules de dépasser
	B3a	Dépassement interdit aux poids lourds : interdit aux véhicules de transport de marchandises de dépasser.
		Balise d'ouvrage

IV.6.2 Estimation du cout du projet

Le présent devis estimatif actualisé reflète les besoins réels pour la mise en œuvre du projet dans des conditions optimales de qualité, de sécurité et de durabilité. Il sert de base pour l'évaluation financière du projet et la mobilisation des ressources nécessaires à sa réalisation.

Tableau 25: Devis récapitulatif Gourcy (Emb RN02) - Tougo (PK 26+00)

N° PRIX	DÉSIGNATION	MONTANT INITIAL (FCFA)
100	INSTALLATION DE CHANTIER	46 000 000
200	TRAVAUX PRÉPARATOIRES	22 396 800
300	TERRASSEMENTS	201 155 490
400	CHAUSSÉE	87 667 453
500	ASSAINISSEMENT	8 156 400
600	OUVRAGES	108 110 615
700	SIGNALISATION ET SÉCURITÉ	8 133 000
800	MESURES ENVIRONNEMENTALES ET SOCIALES / TRAVAUX CONNEXES	36 500 000
	TOTAL GÉNÉRAL HTVA	518 119 758
	TVA (18%)	93 261 557
	TOTAL GÉNÉRAL TTC	611 381 315

Le montant total du présent devis estimatif actualisé est arrêté à la somme de **cinq cent dix-huit millions cent dix-neuf mille sept cent cinquante-huit (518 119 758) FCFA hors taxes**, soit **six cent onze millions trois cent quatre-vingt-un mille trois cent quinze (611 381 315) FCFA toutes taxes comprises (TTC)**.

Le devis détaillé se trouve en *Annexe 27 : Devis estimatif du projet*

CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de cette étude était de proposer une solution technique fiable pour la réhabilitation du tronçon PK 10+000 à PK 20+000 de la route non-revêtue Gourcy – Tougo, dans une logique de durabilité, d'accessibilité et de résilience. Pour ce faire, nous avons formulé l'hypothèse selon laquelle une approche combinée entre diagnostic technique, analyse hydrologique et dimensionnement rationnel des ouvrages permettrait d'aboutir à une solution réaliste, techniquement maîtrisée et économiquement soutenable.

Les résultats obtenus confirment pleinement cette hypothèse. L'analyse du tronçon a mis en évidence un état de dégradation avancé de la chaussée, rendant impératif son aménagement. L'étude géométrique a permis d'ajuster le tracé aux exigences du terrain. L'identification de dix bassins versants a conduit à la définition précise des débits de calcul, fondement du dimensionnement de trois dalots en béton armé aux sections adaptées, capables de garantir un écoulement optimal et sécurisé. L'estimation financière, établie selon le mercurial des prix 2025, valide la faisabilité économique du projet, avec un coût total TTC de **611 381 315 FCFA**. Nous avons mis en évidence que la réhabilitation de cette infrastructure, à travers une piste rurale de 6 mètres roulables, accompagnée d'un dispositif de drainage efficace et de trois ouvrages hydrauliques bien dimensionnés, constitue une réponse concrète aux défis d'accessibilité en milieu rural.

Cependant, cette étude a également fait émerger de nouvelles interrogations, notamment sur la pérennité des solutions en période d'événements hydrologiques extrêmes, sur l'entretien à long terme des ouvrages, et sur l'impact réel de la réhabilitation sur la dynamique socio-économique locale. Ces aspects mériteraient d'être explorés à travers des campagnes de suivi post-projet, des études de vulnérabilité climatique approfondies, et l'élaboration de schémas de maintenance communautaire adaptés. Nos résultats montrent que l'ingénierie adaptée au contexte local, fondée sur des analyses rigoureuses et des données précises, constitue un levier efficace de développement. Ce mémoire en apporte une démonstration appliquée.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] « fascicule_61_titre_ii_cpc_1971_charges_et_epreuves_des_ponts-
routes_cle289a28 ».
- [2] « fascicule_62_titre_i_section_1_cctg_1992_regles_bael_91_cle2387cc ».
- [3] « fascicule_62_titre_v_cctg_1993_regles_de_conception_et_calcul_des_fondations_des_o
uvrages_gc_cle7a4325 ».
- [4] « fascicule_4_titre_i_cctg_1983_armatures_pour_beton_arme_cle2fc2ce ».
- [5] « Aménagement des Routes Principales ».
- [6] Dr Harouna KARAMBIRI et Dr Dial NIANG, Institut International d'Ingénierie de
l'Eau et de l'Environnement (2iE) (Groupe EIER-ETSHER), et UTER Gestion et Valorisation
de l'Eau et l'Assainissement, « LE BASSIN VERSANT ET SON COMPLEXE ». [En ligne].
Disponible sur : <https://fr.scribd.com/document/185732032/ChapIII-Bassin-versant-Mode-de-compatibilite>
- [7] Crues et apports : manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels
pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche. Rome:
Food and Agriculture Organizations of the United Nations, 1996.
- [8] « Hydraulique Routière BCEOM ».
- [9] D. Gaillard et al., « Assainissement routier ».
- [10] « Guide_pratique_dimensionnement.pdf ». [En ligne]. Disponible sur:
https://www.francescomiceli.com/blog/Guide_pratique_dimensionnement.pdf
- [11] [En ligne]. Disponible sur: <https://fr.scribd.com/document/545368475/PARTIE-III-DIMENSIONNEMENT-DES-CHAUSSEES>
- [12] Décret
n°20151187/PRES/TRANS/PM/MERH/MATD/MME/MS/MARHA/MRA/MICA/MHU/MI
DT/MCT portant conditions et procédures de réalisation et de validation de l'évaluation
environnementale stratégique, de l'étude et de la notice d'impact environnemental et social. JO
N°53 DU 31 DECEMBRE 2015. [En ligne]. Disponible sur:
<https://faolex.fao.org/docs/pdf/bkfl154939.pdf>
- [13] « Politique Nationale de l'Eau ». [En ligne]. Disponible sur:
<https://faolex.fao.org/docs/pdf/BKF181468.pdf>
- [14] LOI N°006-2013/AN PORTANT CODE DE L'ENVIRONNEMENT AU BURKINA
FASO. [En ligne]. Disponible sur: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/bkfl124369.pdf>
- [15] Administrateur, BURKINA FASO LOI N°003-2011/AN PORTANT CODE
FORESTIER AU BURKINA FASO. [En ligne]. Disponible sur :
<https://faolex.fao.org/docs/pdf/bkfl106703.pdf>

ANNEXES

<i>Annexe 1: Diagnostique des ouvrages</i>	III
<i>Annexe 2: Données pluviométriques</i>	IV
<i>Annexe 3: Coefficient de répartition transversale</i>	VI
<i>Annexe 4: Caractéristiques des emprunts</i>	VII
<i>Annexe 5: Volume exploitable des emprunts</i>	VIII
<i>Annexe 6: Coupe de sondage effectué</i>	IX
<i>Annexe 7: Sondages géotechniques</i>	IX
<i>Annexe 8: Normes caractéristiques des tracés</i>	XI
<i>Annexe 9: Définitions des paramètres géométriques</i>	XII
<i>Annexe 10: Calcul des principales caractéristiques des bassins versants</i>	XIII
<i>Annexe 11: Abaques de détermination du coefficient de ruissellement décennal Kr10 et Kr100</i>	XIII
<i>Annexe 12: Temps de base</i>	XIV
<i>Annexe 13: Méthode CIEH valeur des exposants des équations 39,40,42, et 44</i>	XV
<i>Annexe 14: Fonctionnement de dalots</i>	XVI
<i>Annexe 15: Abaque des dalots rectangulaires à sortie libre avec de murs de tête, murs en ailes de 30° à 45° (courbe A et B)</i>	XVII
<i>Annexe 16: Abaque des pentes critiques des dalots rectangulaires à sortie libre</i>	XVIII
<i>Annexe 17: Abaque des vitesses critiques des dalots rectangulaires à sortie libre</i>	XIX
<i>Annexe 18: Abaque pour dimensionnement des chaussées en terre</i>	XX

<i>Annexe 19: Ajustement statistique de la pluie maximale journalière sous la méthode du maximum de vraisemblance corrigée</i>	XXI
<i>Annexe 20: Ajustement statistique de la pluie maximale journalière sous la méthode des moments</i>	XXII
<i>Annexe 21: Evaluation des impacts</i>	XXIV
<i>Annexe 22: Mesures d'atténuation environnementales et sociales.....</i>	XXVI
<i>Annexe 23: Principales mesures environnementales, sociales et de suivi</i>	XXVII
<i>Annexe 24: Sections d'armatures et plans des dalots</i>	XXVIII
<i>Annexe 25: Note de calcul dalot 1*2m*2m</i>	XLII
<i>Annexe 26: Profil en travers type</i>	CIII
<i>Annexe 27: Tracé combiné</i>	CVI
<i>Annexe 28: Devis estimatif du projet.....</i>	CX

Annexe 1: Diagnostique des ouvrages

Tableau 26: Tableau du diagnostiques des ouvrages

PK	Ouvrages existants/Passade d'eau	Dimension	Causes	Observations
00+625	Dalot	1x100x100	La section est petite par rapport au débit d'eau a évacué	A remplacer
01+350	Passage d'eau	-	-	Construction d'un radier
01+900	Radier	20 m	-	A conserver
04+723	Dalot	3x150x150	Problème structurale due au trafic	A remplacer
06+450	Passage d'eau	-	-	Construction d'un radier
06+970	Passage d'eau	-	-	Construction d'un dalot
08+975	Radier	15 m	-	A conserver
10+550	Dalot	1x100x100	Dalot ne se trouve plus dans l'axe de la nouvelle route	A remplacer
10+950	Dalot	2x100x100	Dalot ne se trouve plus dans l'axe de la nouvelle route	A remplacer
11+490	Radier	10 m	-	A conserver
11+958	Radier	30 m	-	A conserver
12+020	Radier	40 m	-	A conserver
13+140	Radier	15 m	-	A conserver
14+650	Passage d'eau	-	-	Construction d'un radier

16+015	Radier	60 m	-	A remplacer
16+675	Radier	20 m	-	A conserver
17+240	Passage d'eau	-	-	Construction d'un radier
17+425	Radier	30 m	-	A conserver
17+450	Radier	15 m	-	A conserver
22+515	Radier	10 m	-	A conserver
24+025	Passage d'eau	-	-	Construction d'un dalot
24+700	Radier	20 m	-	A conserver
24+815	Passage d'eau	-	-	Construction d'un radier

Annexe 2: Données pluviométriques

Tableau 27: Tableau pluviométrie de la zone

Station	Année	Max en 24h	Annuelle totale
Gourcy	1982	35.4	460.7
Gourcy	1983	37.1	427
Gourcy	1984	Manquante	Manquante
Gourcy	1985	58.1	606.9
Gourcy	1986	48	592.8
Gourcy	1987	41.5	451.7
Gourcy	1988	87	628.6
Gourcy	1989	66.7	700.4
Gourcy	1991	65.8	581.1
Gourcy	1992	Manquante	Manquante
Gourcy	1993	Manquante	Manquante

Gourcy	1994	Manquante	Manquante
Gourcy	1995	44.2	634.9
Gourcy	1996	64.3	612.8
Gourcy	1997	Manquante	Manquante
Gourcy	1998	54.7	842.4
Gourcy	1999	72.8	671.7
Gourcy	2000	49.4	541.7
Gourcy	2001	42	643.4
Gourcy	2002	58.7	594
Gourcy	2003	69.4	799.9
Gourcy	2004	56.7	538.7
Gourcy	2005	60	712.9
Gourcy	2006	58.5	613.8
Gourcy	2007	120	742.8
Gourcy	2008	59	876.6
Gourcy	2009	59.4	703.1
Gourcy	2010	100.5	1016
Gourcy	2011	93	601.1
Gourcy	2012	87	
Gourcy	2013	72	
Gourcy	2014	109.4	
Gourcy	2015	52.5	850.5
Gourcy	2016	Manquante	Manquante
Gourcy	2017	80	812.2
Gourcy	2018	99.8	1007.6
Gourcy	2019	50	698.9
Gourcy	2020	56.3	767.7
Gourcy	2021	51.7	576.4

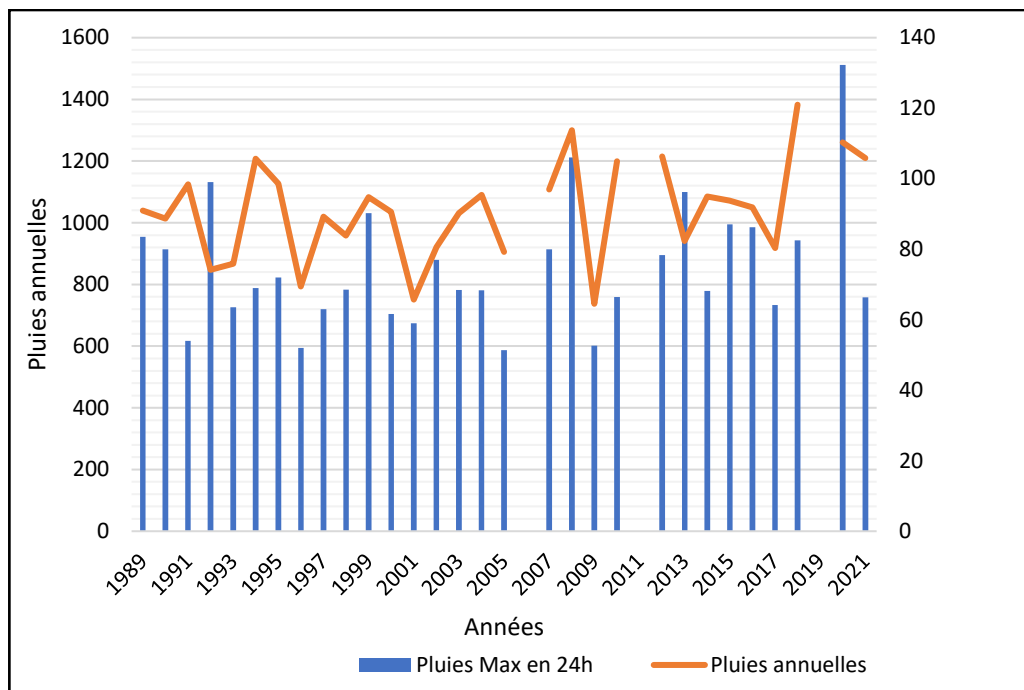


Figure 9: Histogramme des pluies

Annexe 3: Coefficient de répartition transversale

Tableau 28: Coefficient de répartition transversale

Type de routes	Critère	Valeurs de TMJA _d	Référence
Bidirectionnelle à 2 voies	largeur < 5 m	100 %	Trafic poids-lourds des deux sens cumulés
	5 m ≤ largeur < 6 m	75 %	
	6 m ≤ largeur	50 %	
Route à Chaussées Séparées à 2 x 2 voies en rase campagne	Voie lente	90 %	Trafic poids-lourds du sens considéré
	Voie rapide	10 %	
Route à Chaussées Séparées à 2 x 2 voies en milieu péri-urbain	Voie lente	75 %	
	Voie rapide	25 %	
Route à Chaussées Séparées à 2 x 3 voies en milieu rase-campagne	Voie lente	80 %	
	Voie médiane	20 %	
Route à Chaussées Séparées à 2x3 voies en milieu péri-urbain	Voie lente	65 %	
	Voie médiane	30 %	
	Voie rapide	5 %	
Chaussées urbaines	Situation à étudier au cas par cas en fonction des géométries, affectations de voies, typologies de trafic...		

Annexe 4: Caractéristiques des emprunts

Tableau 29: Caractéristiques des emprunts

RESULTATS DES EMPRUNTS			ANALYSE						Lim.		PROCTOR N.		CBR		HRB
N°	LIEU DE PRELEVEM ENT	TYPE DE PRELE	≤ 0.080mm	≤ 0.4mm	≤2mm	≤ 5mm	≤ 10mm	Dmax	WL	Ip	WOPN	g OPN	95%	98%	
EMP N°01	GOURCY- TOUGO	Sondage	6	9	12,6	30,5	65,7	40	25,7	12,7	5,4	2,37 5	48	68	A-2-6
EMP N°2	GOURCY- TOUGO	Sondage	21	25,5	28,5	43,5	81	31,5	30,6	13,3	6,2	2,35 5	57	77	A-2-6
EMP N°3	GOURCY- TOUGO	Sondage	25,5	34,5	39,5	55	78,5	25	36,3	17	8,6	2,14	33	53	A-2-6
EMP N°4	GOURCY- TOUGO	Sondage	24,4	32,3	36,9	55,7	84,3	31,5	29,7	13,9	7,7	2,21	45	61	A-2-6
EMP N°5	GOURCY- TOUGO	Sondage	31,5	37	41,4	56,5	80	25	31,4	16,3	9	2,09	28	45	A-2-6
EMP N°6	GOURCY- TOUGO	Sondage	19,6	24,5	26,7	46,1	80,6	31,5	35,8	16,4	7,8	2,26	43	62	A-2-4
EMP N°7	GOURCY- TOUGO	Sondage	24,5	28,3	33,5	53,8	81,7	40	26,7	12,4	6,8	2,33 5	62	90	A-2-6
EMP N°8	GOURCY- TOUGO	Sondage	18,9	21,3	23,9	39,4	68,9	25	33	14,6	7,9	2,32 5	64	102	A-2-6
EMP N°9	GOURCY- TOUGO	Sondage	26	30,7	34,1	54,9	89,6	25	27,3	12,4	6,9	2,39	59	70	A-2-6
EMP N°10	GOURCY- TOUGO	Sondage	21,3	26,7	32,5	47,9	72	25	29,4	13,9	8,3	2,17	65	87	A-2-6

Annexe 5: Volume exploitable des emprunts

Tableau 30: Volume exploitable des emprunts

Emprunts	Situation/Axe	Coordonnées UTM	Distance morte(m)	Volume exploitable (m)
EL1 Confirmation	PK6+000	N : 30P0575411 W : 1458827	1000	13 200
EL2 Confirmation	PK6+000	N : 30P 0575559 W : 1458712	1000	12 375
EL3 Confirmation	PK14+000	N : 30P 0582910 W : 1461267	400	12 600
EL4 Confirmation	PK14+000	N : 30P 0583223 W : 1461361	500	12 498
EL5 Confirmation	PK24+500	N : 30P 0592343 W : 1460339	500	11 250
EL6 Confirmation	PK24+500	N : 30P 0592594 W : 1460357	500	11 625
EL7 Nouveau	PK9+000	N : 30P 0578382 W : 1460216	700	12 300
EL8 Nouveau	PK16+600	N : 30P 0585572 W : 1462740	200	13 500
EL9 Nouveau	PK21+000	N : 30P 0590348 W : 1461925	500	13 500
EL10 Nouveau	PK23+000	N : 30P 0592133 W : 1461161	500	12 900

Annexe 6: Coupe de sondage effectué

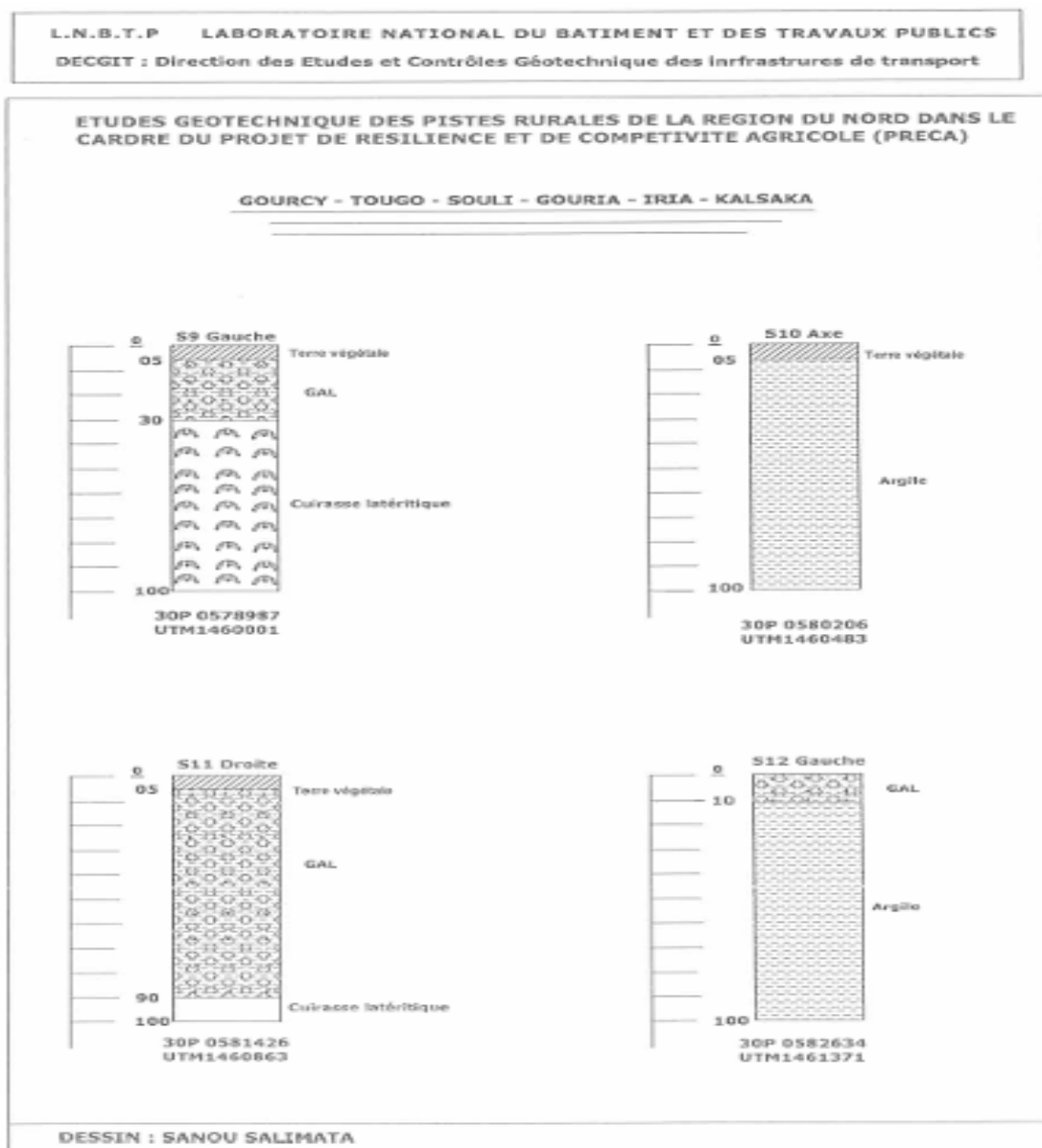


Figure 10: Coupe de sondage effectué

Annexe 7: Sondages géotechniques

Tableau 31: Caractéristiques géotechniques des sols

SONDAGE	NATURE	PK PROFIL	Analyse granulométrique (passants %)					LIMITES D'ATTERBERG			Proctor modifié		CBR		Classe de portance du sol
			10mm	5mm	1.6mm	0.4mm	0.08mm	wL	Wp	Ip	Wopm	γd opm	95%	98%	
Sondage N°1	Argile sableuse	0+025	100	98,0	90	84,0	55	57	30	27	13,6	1,90	11	14	S3
Sondage N°2	GAL	1+000	88,0	61,0	40	37,0	24,0	33	15	18	7,8	2,11	26	34	S4
Sondage N°3	GAL	2+000	89,0	75,0	47	37,0	16,0	28	13	15	10,2	1,95	14	18	S3
Sondage N°4	GAL	3+000	91,0	75,0	56	46,0	32,0	32	17	15	11,6	1,90	14	18	S3
Sondage N°5	Argile sableuse	4+000	97,0	89,0	68	52,0	42,0	45	23	22	10,0	2,01	17	24	S4
Sondage N°6	GAL	5+000	75	45,0	36	32,0	15	31	17	14	9,2	2,20	41	98	S5
Sondage N°7	GAL	6+000	66,0	39,0	29	27,0	16,0	33	18	15	8,6	2,00	22	28	S4
Sondage N°8	Argile sableuse	7+000	100	100,0	99	71,0	38	42	22	20	13,6	1,90	12	16	S3
Sondage N°9	Argile sableuse	8+000	100,0	100,0	100	87,0	44,0	47	22	25	13,6	1,88	20	25	S4
Sondage N°10	Argile sableuse	9+000	100,0	99,0	95	68,0	43,0	47	24	23	10,2	1,95	23	31	S4
Sondage N°11	Argile sableuse	10+000	97,0	89,0	68	52,0	42,0	45	23	22	13,2	1,89	11	14	S3
Sondage N°12	GAL	11+000	66,0	39,0	29	27,0	16,0	33	18	15	8,6	2,00	22	28	S4
Sondage N°13	GAL	12+000	35,0	15,0	8	6,0	2,0	17	10	7	7,2	2,19	37	47	S5
Sondage N°14	Argile sableuse	13+000	100,0	94,0	86	80,0	64,0	50	22	28	13,8	1,84	9	12	S2
Sondage N°15	GAL	14+000	91,0	75,0	56	46,0	32,0	32	17	15	11,6	1,90	14	18	S3
Sondage N°16	GAL	15+000	89,0	75,0	47	37,0	16,0	28	13	15	10,2	1,95	23	31	S4
Sondage N°17	GAL	16+000	74,0	43,0	29	25,0	17,0	34	19	15	7,0	2,04	19	22	S4
Sondage N°18	CARAPACE	17+000	90,0	70,0	52	46,0	20,0	25	10	15	7,4	2,38	88	108	S5
Sondage N°19	CARAPACE	18+000	90,0	70,0	52	46,0	20,0	25	10	15	7,4	2,38	88	108	S5
Sondage N°20	Argile sableuse	19+000	100,0	100,0	100	87,0	44,0	47	22	25	13,6	1,88	20	25	S4
Sondage N°21	Argile sableuse	20+000	99,0	91,0	67	62,0	51,0	43	24	19	12,2	1,83	27	36	S4
Sondage N°22	Argile sableuse	21+000	99,0	94,0	85	81,0	65,0	43	24	19	13,6	2,06	16	20	S4
Sondage N°23	Argile sableuse	22+000	99,0	92,0	81	76,0	61,0	45	27	18	13,0	1,95	16	18	S4
Sondage N°24	Cuirasse latéritique	23+000	83,0	47,0	19	14,0	9,0	14	8	6	8,0	2,38	129	164	S5
Sondage N°25	GAL	24+000	93,0	79,0	61	56,	47,0	42	26	16	11,0	1,96	15	21	S4
Sondage N°26	GAL	25+000	93,0	79,0	61	56,	47,0	42	26	16	11,0	1,96	15	21	S4
Sondage N°27	GAL	26+000	85,0	60,0	37	28,0	19,0	23	11	12	8,6	2,14	48	60	S5

*Mémoire de Master d'ingénierie
Présenté par Cheik Ahmed OUEDRAOGO*

*Promotion
2024-2025*

X

Annexe 8: Normes caractéristiques des tracés

Tableau 32: Normes caractéristiques des tracés

Désignation des paramètres				Vitesse de référence	
				60 km/h	80 km/h
Tracé en Plan	Dévers maximal			7%	7%
	Rayon en plan	Minimal		120 m	240 m
		Minimal normal et dévers		240 m (5%)	425 m (5%)
		Au devers minimal (2,5%) Non déversé		450 m 600 m	650 m 900 m
Profil en Long	Déclivité maximale en rampe			7%	6%
	Rayon en angle saillant (point haut)	Chaussées unidirectionnelles	Minimal absolu	1 500 m	3 000 m
			Minimal normal	3 000 m	6 000 m
	Rayon en angle rentrant (point bas)	Minima absolu		1 500 m	2 200 m
		Minima normal		2 200 m	3 000 m
	Rayon assurant la distance de visibilité de dépassement mini			6 500 m	11 000 m

Source : Instructions sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Routes Nationales (ICTARN) ; Normes Françaises[5]

Annexe 9: Définitions des paramètres géométriques

Tableau 33: Caractéristiques de base du projet

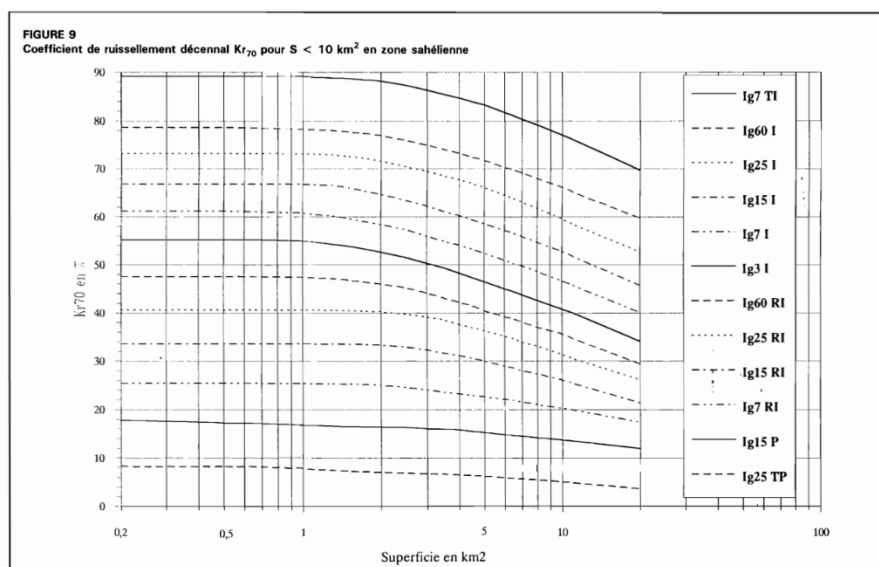
	Piste de type B (PB)	Piste de type A (PA)	Route en terre ordinaire (RO)
Vitesse de référence	60,0 km/h	60,0 km/h	80,0 km/h
Largeur de l'emprise	20,00 m	20,00 m	60,00 m
Largeur de la chaussée	5,00 m	6,00 m	7,00 m
Longueur des ouvrages hydraulique en béton armé	6,00 m	6,00 m	7,00 m
Couche de roulement	En graveleux latéritique, 15 cm d'épaisseur, limitée aux zones difficiles	En graveleux latéritique, 15 cm d'épaisseur sur plus de 80% de l'itinéraire	Sur tout l'itinéraire, en graveleux latéritique sur 20 cm d'épaisseur
Pente des talus en remblais	3/2 (3 horizontale / 2 verticale)	3/2 (3 horizontale / 2 verticale)	3/2 (3 horizontale / 2 verticale)
Pente des talus en déblais	1/2 (1 horizontale / 2 verticale)	1/2 (1 horizontale / 2 verticale)	1/2 (1 horizontale / 2 verticale)
Mise hors d'eau	OH principaux construits / Coupures fréquentes pendant les pluies	OH principaux construits / Coupures momentanées pendant les pluies	Obligatoire
Charge admissible	30 tonnes	30 tonnes	30 tonnes

Annexe 10: Calcul des principales caractéristiques des bassins versants

Tableau 34: Formules de calcul des principales caractéristiques des bassins versants

Paramètres	Formule	Observation
Superficie (S)	-	Calculée automatiquement
Périmètre (P)	-	Calculée automatiquement
Plus long Chemin Hydraulique (PLCH)	-	Calculée automatiquement
Indice de compacité (Icom)	$I_{com} = 0.282 \cdot \frac{P}{\sqrt{S}}$	-
Rectangle équivalent	$L(km) = S^{1/2} \times \left(\frac{I_{comp}}{1.128} \right) \times \left[1 + \left(1 - \left(\frac{1.128}{I_{comp}} \right)^2 \right)^{1/2} \right]$	-
Indice Global de pente (Ig)	$I_g = \frac{D}{L}$	-

Annexe 11: Abaques de détermination du coefficient de ruissellement décennal Kr10 et Kr100



Crues et apports

37

Figure 11: Abaque de détermination de Kr10

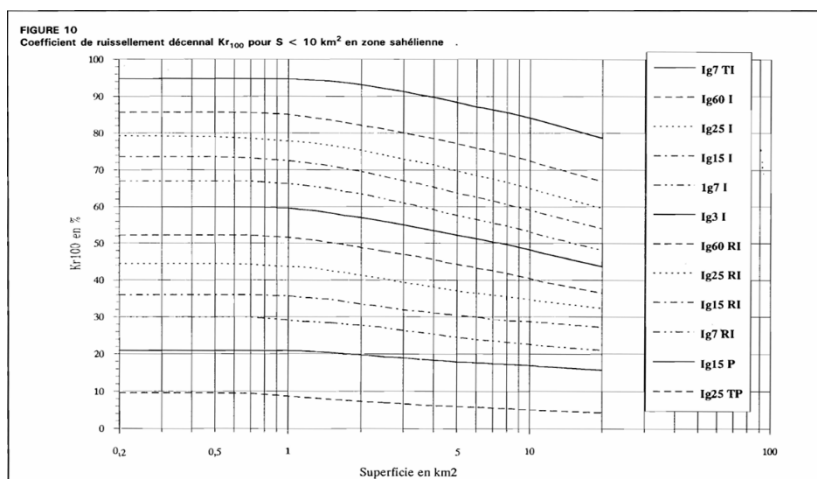


Figure 12: Abaque de détermination de Kr_{100}

Annexe 12: Temps de base

$$Tb_{10} = a \cdot S^{0,36} + b$$

Les paramètres a et b varient en fonction de la pente :

$Ig = 1$	$Tb_{10} = 560 \cdot S^{0,36} + 400$
$Ig = 3$	$Tb_{10} = 325 \cdot S^{0,36} + 315$
$Ig = 7$	$Tb_{10} = 163 \cdot S^{0,36} + 142$
$Ig = 10$	$Tb_{10} = 95 \cdot S^{0,36} + 80$
$Ig = 15$	$Tb_{10} = 75 \cdot S^{0,36} + 55$
$Ig = 25$	$Tb_{10} = 44 \cdot S^{0,36} + 28$
$Ig = 30$	$Tb_{10} = 35 \cdot S^{0,36} + 20$

Figure 13: Paramètres a et b du temps de base

Annexe 13: Méthode CIEH valeur des exposants des équations 39,40,42, et

44

N°	Description	Echantillon	Corrélation		Constante	Exposants des paramètres de l'équation 4.1					
		n	r ²	r		a	S	Ig	Pan	PM10	Kr10
DECOUPAGE CLIMATIQUE SANS KR10											
avec S et Ig											
1	0-400 mm	71	0.760	0.874	2.83	0.624	0.491				
2	400-800 mm	128	0.570	0.755	2.03	0.590	0.588				
3	1200-1600 mm	87	0.579	0.761	1.33	0.596	0.457				
avec S, Ig et Dd											
4	0-400 mm	33	0.629	0.793	2.43	0.583	0.506				0.320
5	400-800 mm	69	0.598	0.773	1.83	0.620	0.618				0.121
6	800-1200 mm	87	0.591	0.769	2.01	0.649	0.066				0.824
DECOUPAGE CLIMATIQUE AVEC KR10											
avec S et Kr10											
7	0-400 mm	66	0.758	0.870	0.553	0.655				0.802	
8	400-800 mm	116	0.736	0.858	0.461	0.540				0.941	
avec S, Ig et Kr10											
9	0-400 mm	65	0.847	0.920	0.167	0.745	0.731			0.475	
10	400-800 mm	116	0.806	0.898	0.0833	0.696	0.953			0.534	
DECOUPAGE POUR LA ZONE Pan < 1000 mm											
Tous les bassins											
11	S, Kr10	180	0.716	0.846	0.410	0.524				0.982	
12	S, Ig, Kr10	176	0.795	0.892	0.095	0.643	0.406			1.038	
Longitude < 10° Ouest (seulement au Sénégal et en Mauritanie)											
13	S, Ig	21	0.569	0.754	1.78	0.557	0.805				
14	S, Ig, PM10	21	0.581	0.762	55.0	0.462	0.667		-0.652		
15	S, Ig, Kr10	20	0.722	0.850	0.224	0.540	0.622			0.767	
16	S, Kr10	20	0.645	0.803	0.661	0.375				0.910	
Longitude comprise entre 10° Ouest et 10° Est											
17	S, Kr10, PM10	117	0.764	0.874	30.2	0.492			-0.972	0.948	
18	S, Ig, Kr10	117	0.788	0.888	0.0678	0.661	0.412			1.105	
Longitude supérieure à 10° Est (seulement au Tchad et au nord Cameroun)											
19	S, PM10	46	0.646	0.804	0.00372	0.605			1.778		
20	S, Ig	45	0.645	0.803	2.72	0.626	0.360				
21	S, Ig, PM10	45	0.679	0.824	0.00638	0.694	0.305		1.411		
22	S, Kr10	39	0.77	0.877	0.610	0.523				0.908	
23	S, Ig, Kr10	39	0.821	0.906	0.134	0.678	0.374			0.940	
24	S, PM10, Kr10	39	0.805	0.897	0.00243	0.608			1.263	0.882	
DECOUPAGE PAR PAYS OU GROUPES DE PAYS											
Afrique de l'Ouest (de 10°E à 10°W)											
25	S, KR10	295	0.628	0.792	1.41	0.542				0.511	
26	S, Kr10, PM10	295	0.654	0.809	146	0.479			-0.969	0.457	
27	S, Kr10, Ig	288	0.650	0.806	0.560	0.619	0.279			0.510	
Afrique centrale											
28	S, KR10	50	0.738	0.859	0.521	0.625				0.876	
29	S, Kr10, IG, PM10	49	0.815	0.903	893	0.773	0.567		-2.051	0.923	
30	S, Kr10, Ig	49	0.778	0.882	0.109	0.771	0.419			0.887	
Sénégal + Mauritanie											
31	S, PM10	40	0.563	0.750	5450000	0.215			-2.830		
32	S, Kr10	35	0.843	0.918	0.288	0.405				1.117	
33	S, Kr10, Ig	35	0.851	0.922	0.195	0.471	0.239			1.046	
Côte d'Ivoire											
34	S	37	0.713	0.844	4.83	0.562					
35	S, Ig	34	0.729	0.854	2.29	0.651	0.216				
36	S, PM10	36	0.706	0.840	0.000174	0.645			2.149		
37	S, Kr10	31	0.791	0.889	0.380	0.586				0.805	
38	S, Kr10, Ig	28	0.787	0.887	0.275	0.618	0.099			0.798	
Burkina Faso											
39	S, Kr10	61	0.818	0.904	0.410	0.425				0.923	
40	S, Kr10, Ig	60	0.824	0.908	0.254	0.462	0.101			0.976	
Burkina Faso + Mali + Niger											
41	S, Kr10	137	0.688	0.829	0.407	0.532				0.941	
42	S, Kr10, Ig	133	0.755	0.869	0.0912	0.643	0.399			1.019	
43	S, A*P10	133	0.589	0.767	35600	0.342			-1.808		
44	S, Kr10, PM10	133	0.757	0.870	203	0.459			-1.301	0.813	
45	S, Ig, PM10	130	0.592	0.769	22400	0.363	0.059		-1.748		
Tchad + Nord Cameroun (Pan <1000 mm)											
46	S, Ig	55	0.638	0.799	1.28	0.412	0.739				
47	S, Kr10	49	0.838	0.915	0.525	0.530				0.950	
48	S, Kr10, Ig	48	0.884	0.940	0.105	0.709	0.432			0.949	

Figure 14: Exposants des paramètres de l'équation

Annexe 14: Fonctionnement de dalots

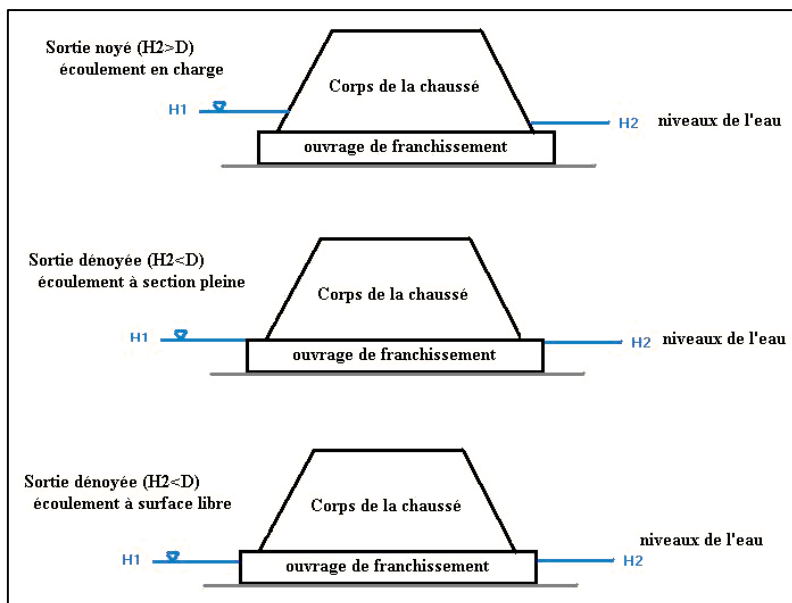


Figure 15: Conditions de fonctionnement des dalots selon le type d'écoulement

*Annexe 15: Abaque des dalots rectangulaires à sortie libre avec de murs de
tête, murs en ailes de 30° à 45° (courbe A et B)*

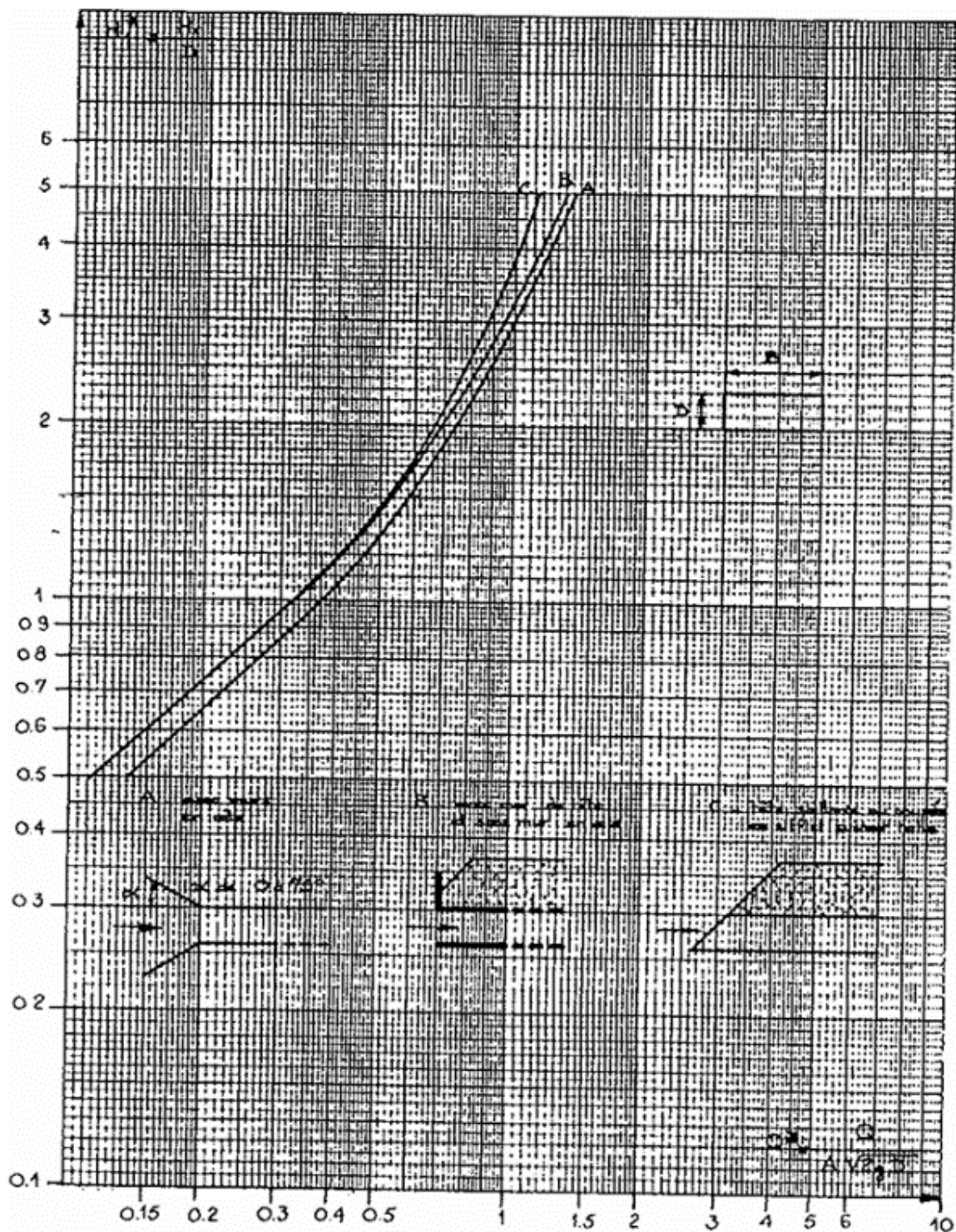


Figure 16: Abaque de la hauteur réduite en fonction du débit

*Annexe 16: Abaque des pentes critiques des dalots rectangulaires à sortie
libre*

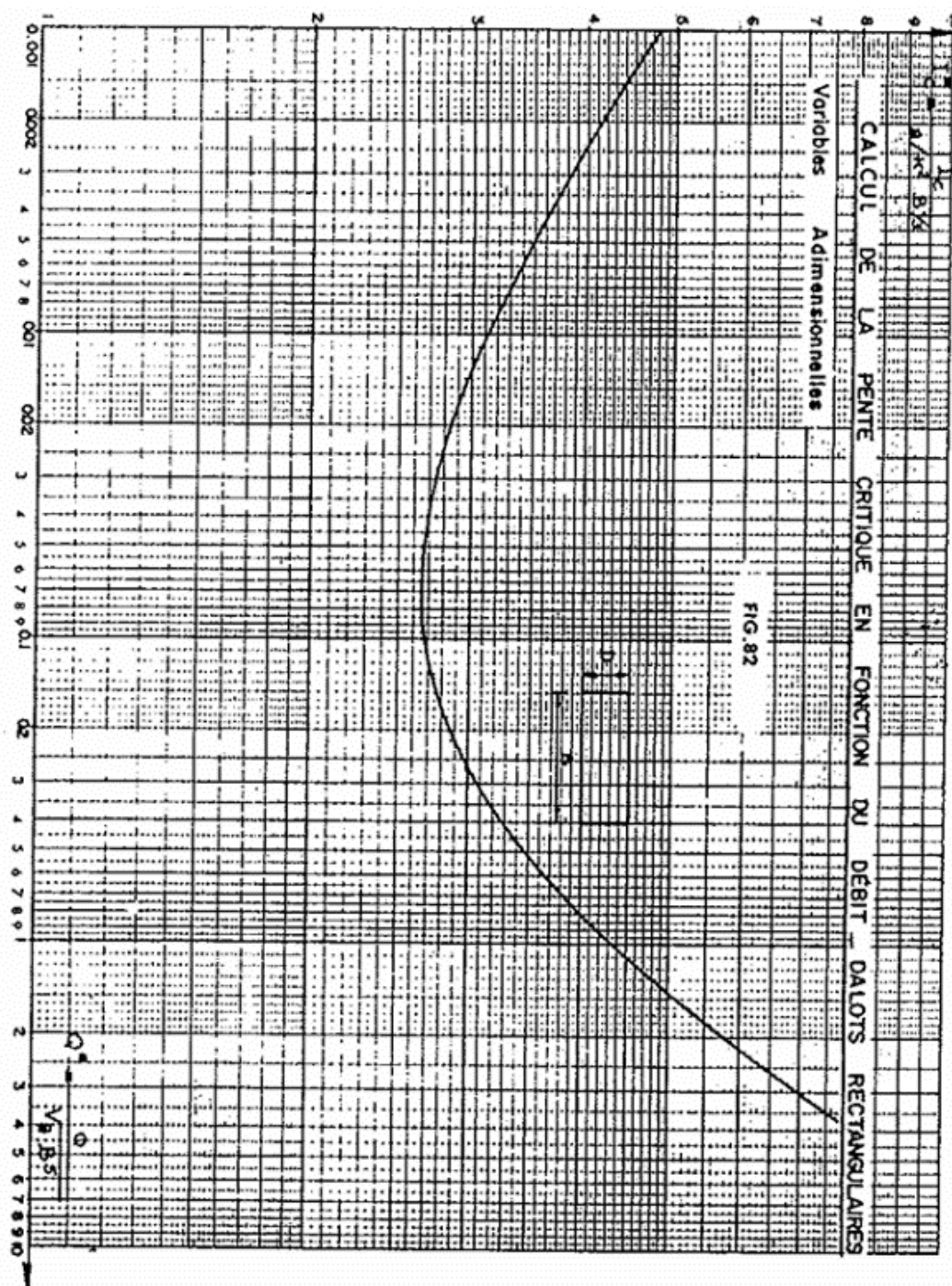


Figure 17: Abaque de la pente critique en fonction du débit

*Annexe 17: Abaque des vitesses critiques des dalots rectangulaires à sortie
libre*

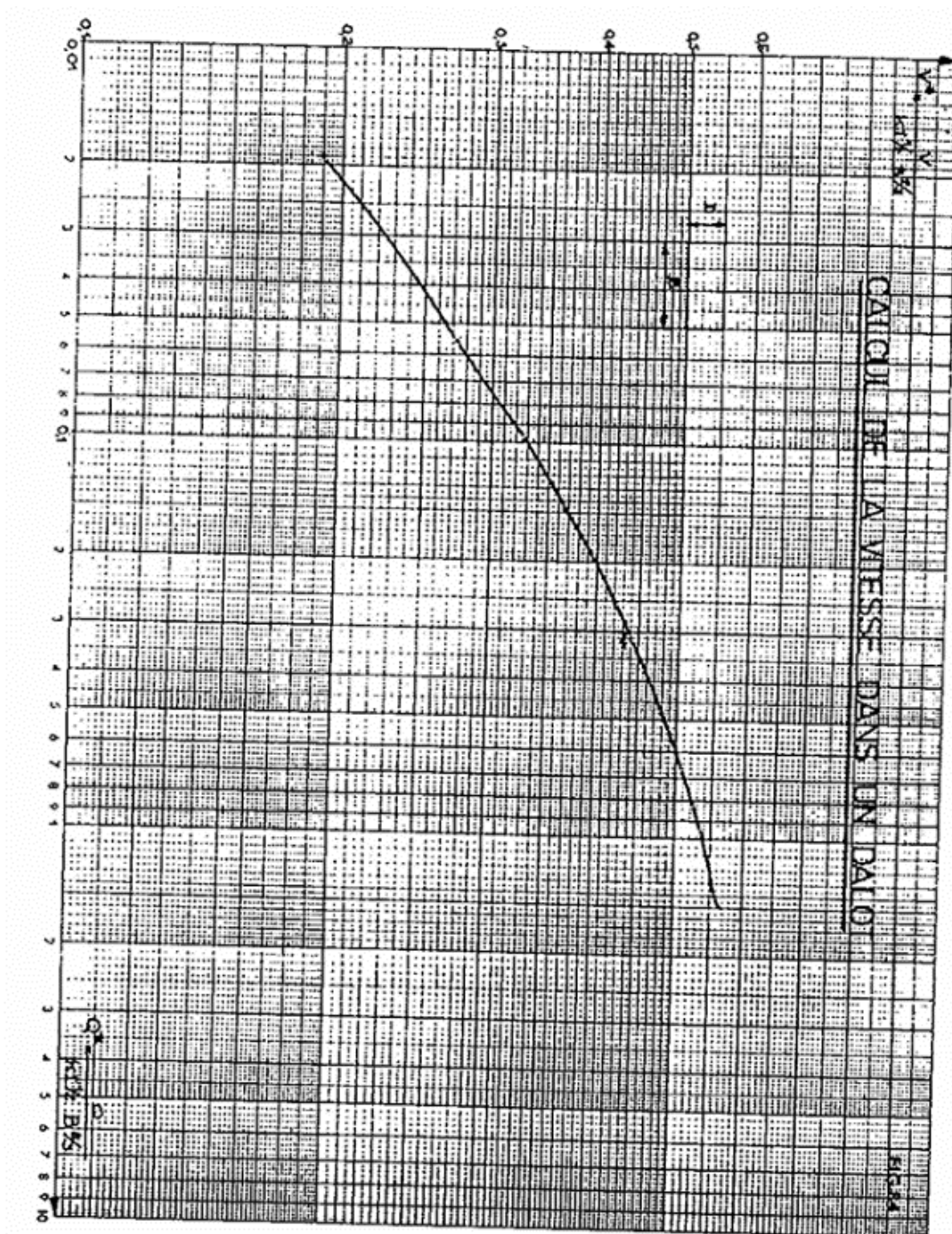


Figure 18: Abaque de détermination de la vitesse du dalot

Annexe 18: Abaque pour dimensionnement des chaussées en terre

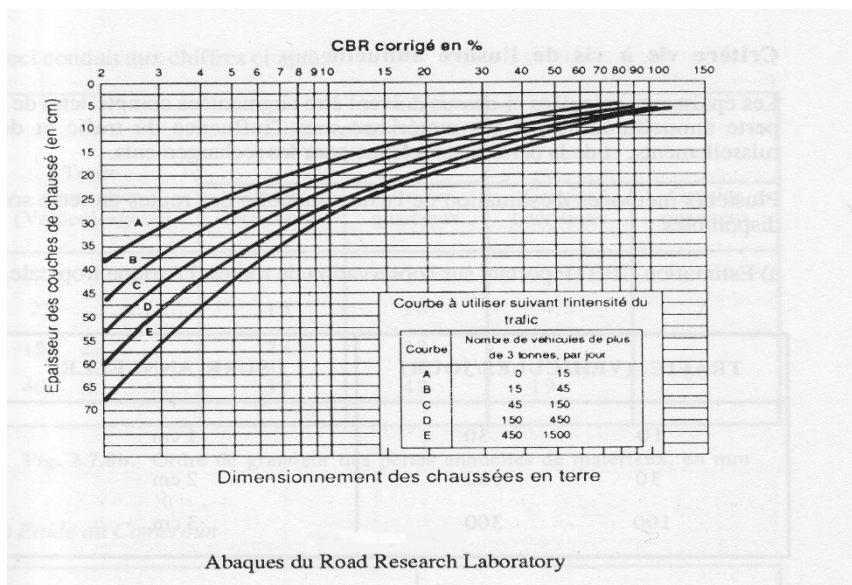


Figure 19: Abaque du Road Research Laboratory

Le dimensionnement de la chaussée tient également compte de l'estimation de l'usure annuelle des routes en terre.

L'estimation CEBTP portant sur l'observation de routes en Afrique tropicale donne :

Trafic (véhicules/jour)	Usure annuelle
10 – 30	1 cm
30 – 100	2 cm
100 – 300	3 cm

Annexe 19: Ajustement statistique de la pluie maximale journalière sous la méthode du maximum de vraisemblance corrigée

*Tableau 35: Ajustement statistique de la pluie maximale journalière sous la méthode du
maximum de vraisemblance corrigée*

Ajustement statistique de la pluie maximale journalière de la station de GOURCY (1982-2021)					
Résultats de l'ajustement					
Gumbel (Méthode du maximum de vraisemblance corrigée)					
Nombre d'observations: 33					
Paramètres					
u : 55.555047					
alpha : 16.07129					
Quantiles					
q = F(X) (probabilité au non-dépassement)					
T = 1/(1-q)					
T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
10000.0	0.9999	204	21.6	161	246
2000.0	0.9995	178	18.1	142	213
1000.0	0.9990	167	16.6	134	199
200.0	0.9950	141	13.0	115	166
100.0	0.9900	129	11.5	107	152
50.0	0.9800	118	10.00	98.7	138
20.0	0.9500	103	8.02	87.6	119
10.0	0.9000	91.7	6.54	78.9	105
5.0	0.8000	79.7	5.07	69.7	89.6
3.0	0.6667	70.1	4.03	62.2	78.0
2.0	0.5000	61.4	3.27	55.0	67.9
1.4286	0.3000	52.6	2.84	47.0	58.1
1.2500	0.2000	47.9	2.80	42.4	53.4
1.1111	0.1000	42.2	2.97	36.3	48.0
1.0526	0.0500	37.9	3.21	31.6	44.2
1.0204	0.0200	33.6	3.54	26.7	40.6
1.0101	0.0100	31.0	3.78	23.6	38.4
1.0050	0.0050	28.8	3.99	20.9	36.6
1.0010	0.0010	24.5	4.44	15.8	33.2
1.0005	0.0005	22.2	6.61	9.20	35.1
1.0001	0.0001	19.0	7.13	5.02	33.0

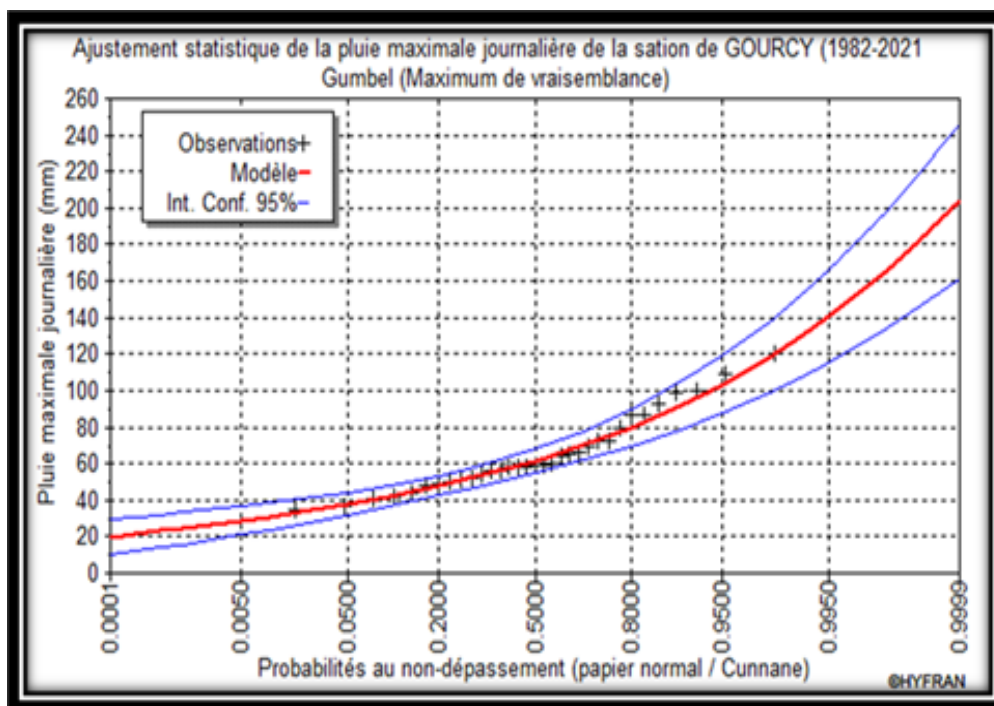


Figure 20: Ajustement statistique de la pluie maximale journalière sous la méthode du maximum de vraisemblance corrigée

Annexe 20: Ajustement statistique de la pluie maximale journalière sous la méthode des moments

Tableau 36: Ajustement statistique de la pluie maximale journalière sous la méthode des moments

Ajustement statistique de la pluie maximale journalière de la station de GOURCY (1982-2021)					
Résultats de l'ajustement					
Gumbel (Méthode des moments)					
Nombre d'observations: 33					
Paramètres					
u : 55.628927					
alpha : 16.497453					
Quantiles					
q = F(X) (probabilité au non-dépassement)					
T = 1/(1-q)					
T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
10000.0	0.9999	208	28.2	152	263
2000.0	0.9995	181	23.4	135	227

1000.0	0.9990	170	21.3	128	211
200.0	0.9950	143	16.5	111	175
100.0	0.9900	132	14.5	103	160
50.0	0.9800	120	12.4	95.7	144
20.0	0.9500	105	9.71	85.6	124
10.0	0.9000	92.8	7.69	77.7	108
5.0	0.8000	80.4	5.69	69.2	91.5
3.0	0.6667	70.5	4.30	62.1	78.9
2.0	0.5000	61.7	3.38	55.0	68.3
1.4286	0.3000	52.6	3.11	46.5	58.7
1.2500	0.2000	47.8	3.31	41.3	54.3
1.1111	0.1000	41.9	3.82	34.4	49.4
1.0526	0.0500	37.5	4.34	29.0	46.0
1.0204	0.0200	33.1	4.94	23.5	42.8
1.0101	0.0100	30.4	5.33	20.0	40.9
1.0050	0.0050	28.1	5.68	17.0	39.2
1.0010	0.0010	23.7	6.36	11.3	36.2
1.0005	0.0005	22.2	6.61	9.20	35.1
1.0001	0.0001	19.0	7.13	5.02	33.0

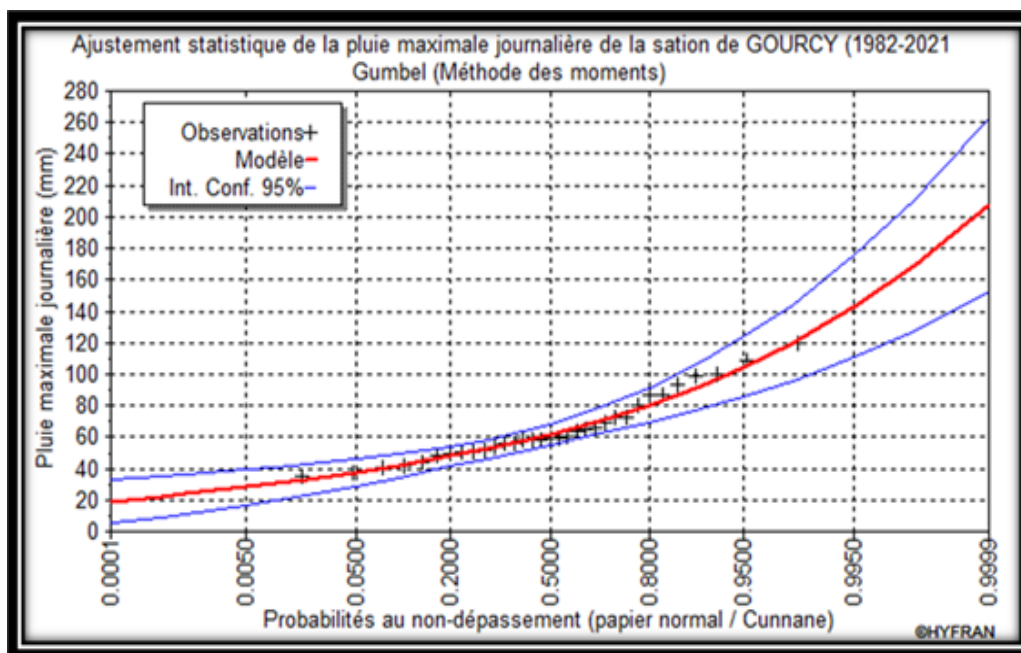


Figure 21: Ajustement statistique de la pluie maximale journalière sous la méthode des moments

Annexe 21: Evaluation des impacts

Tableau 37: Evaluations des impacts sur le milieu biophysique

Thématique	Phase	Impacts	Conclusion
Qualité de l'air	Travaux	Poussières et émissions diesel, problèmes respiratoires pour ouvriers et riverains	Négatif, importance moyenne
	Exploitation	Poussière soulevée par la circulation, nuisances pour la santé sans arrosage ni limitation de vitesse	Négatif, importance moyenne
Ambiance sonore	Travaux	Bruit des engins perturbant le sommeil, stress, troubles auditifs	Négatif, importance moyenne
	Exploitation	Bruit continu des véhicules près des habitations	Négatif, importance majeure
Eaux (surfaces et souterraines)	Travaux	Lessivage des sols, pollution par hydrocarbures, menace sur qualité de l'eau et écosystèmes	Négatif, importance majeure
	Exploitation	Érosion, sédimentation, pollution par ruissellement et hydrocarbures sans entretien	Négatif, importance majeure
Végétation	Travaux	Destruction du couvert végétal, érosion, perte de biodiversité sans inventaire ni compensation	Négatif, importance majeure
	Exploitation	Poussière, élargissement informel, réduction de photosynthèse, fragilisation des plantes	Négatif, importance majeure
Sols	Travaux	Décapage de la couche arable, compactage, réduction de fertilité, risques d'érosion et glissements	Négatif, importance moyenne
	Exploitation	Érosion continue, dégradation des talus sans revêtement ni entretien	Négatif, importance mineure
Faune	Travaux	Bruit, vibrations, destruction d'habitat, déplacement forcé, fragmentation des corridors écologiques	Négatif, importance majeure
	Exploitation	Risques accrus de collisions, fuite de la faune, nécessité de zones tampons et sensibilisation	Négatif, importance moyenne

Tableau 38: Evaluations des impacts sur le milieu humain

Thématique	Phase	Impacts	Conclusion
Santé publique et sécurité	Travaux	Poussière, bruit, vibrations, risques sanitaires et accidents sans mesures de gestion adéquates	Négatif, importance majeure
	Exploitation	Meilleur accès aux centres de santé, mais risque accru d'accidents sans sensibilisation et sécurité routière	Positif, importance majeure
Activités économiques	Travaux	Difficultés d'accès pour commerçants et artisans, pertes économiques, risque de tensions sans mesures compensatoires	Négatif, importance moyenne
	Exploitation	Amélioration des échanges agricoles, réduction des coûts de transport, émergence de nouvelles opportunités locales	Positif, importance majeure
Emploi	Travaux	Création d'emplois temporaires pour la main-d'œuvre locale, revenus immédiats, montée en compétences	Positif, importance moyenne
	Exploitation	Création d'emplois indirects par relance du commerce et services, amélioration des conditions de vie	Positif, importance moyenne
Circulation	Travaux	Mobilité compliquée pour les usagers (écoliers, agriculteurs, commerçants), nécessité de déviations sécurisées	Négatif, importance moyenne
	Exploitation	Facilitation des déplacements, meilleur accès aux services de base, stimulation des échanges et de l'intégration locale	Positif, importance majeure
Transport	Travaux	Sections impraticables, surcharge des itinéraires secondaires, retards, risque de rejet du projet	Négatif, importance mineure
	Exploitation	Réduction des coûts et risques de transport, valorisation des produits agricoles, soutien au développement rural	Positif, importance majeure

Conditions de vie des populations	Travaux	Nuisances sonores, poussières, perturbations de la mobilité, mécontentement en l'absence de dialogue et compensations	Négatif, importance moyenne
	Exploitation	Accès facilité à l'éducation, santé, eau et marchés ; amélioration de la résilience et du bien-être des communautés	Positif, importance majeure

Annexe 22: Mesures d'atténuation environnementales et sociales

Tableau 39: Mesures d'atténuation environnementales et sociales

Mesure proposée	Objectif visé
Délimitation stricte de l'emprise des travaux	Préserver la végétation alentour et limiter les impacts sur les milieux naturels
Reboisement avec des espèces locales en fin de travaux	Restaurer la couverture végétale et prévenir l'érosion
Arrosage régulier des pistes en réhabilitation	Réduire la poussière et améliorer la qualité de l'air, surtout en zones habitées
Utilisation de carburants propres et entretien régulier des engins	Réduire les émissions polluantes et les nuisances sonores
Installation de signalisation temporaire et permanente	Sécuriser la circulation durant les travaux
Formation des ouvriers (sécurité, environnement, cohabitation)	Renforcer les capacités et assurer un comportement responsable sur le chantier
Dialogue permanent avec les communautés + gestion des plaintes	Prévenir les conflits et favoriser l'adhésion des populations locales
Indemnisation juste et équitable des personnes affectées	Compenser les pertes subies (cultures, biens, terres) conformément aux enquêtes de terrain
Sensibilisation des populations riveraines	Réduire les risques liés aux travaux et faire comprendre les bénéfices du projet
Contrôle de la gestion des déchets solides et liquides	Éviter la pollution des sols et des eaux, préserver l'environnement

Sensibilisation du personnel de chantier	Réduire les risques sur les infections, les maladies sexuellement transmissibles et les grossesses indésirées
--	---

Annexe 23: Principales mesures environnementales, sociales et de suivi

Tableau 40: Principales mesures environnementales, sociales et de suivi

Catégorie	Mesures proposées	Objectif
Prévention et réduction	• Limitation de l'emprise des travaux • Gestion des déchets • Contrôle de la poussière • Protection des sols • Restauration de la végétation	Réduire les impacts environnementaux sur les sols, l'air et la biodiversité
Sécurité	• Sécurisation des zones de chantier • Signalisation adéquate • EPI pour les ouvriers • Sensibilisation à la sécurité routière	Protéger les travailleurs et les populations ; réduire les risques d'accidents
Mesures sociales	• Information et consultation des populations • Indemnisation équitable • Promotion de l'emploi local • Prise en compte des groupes vulnérables	Assurer l'acceptabilité sociale du projet et limiter les inégalités
Suivi et évaluation	• Comité de suivi multi-acteurs • Production de rapports réguliers	Suivre la mise en œuvre des mesures, ajuster si nécessaire
Responsabilisation	• Intégration des mesures dans les contrats • Supervision par un bureau d'ingénierie environnementale	Assurer la conformité et l'efficacité des engagements environnementaux et sociaux

Annexe 24: Sections d'armatures et plans des dalots

Tableau 41: Récapitulatif des moments $2 \times 1,5m \times 2m$

Travées	A1-A2	A2-A3	A3-A4	A4-A5	A5-A6	A6-A1
Moments mi-travée (KN.m)	8	21,71	21,71	8	22,88	22,88
Appuis	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Moments sur appuis (KN.m)	14,67	13,06	43,41	13,06	14,67	45,73

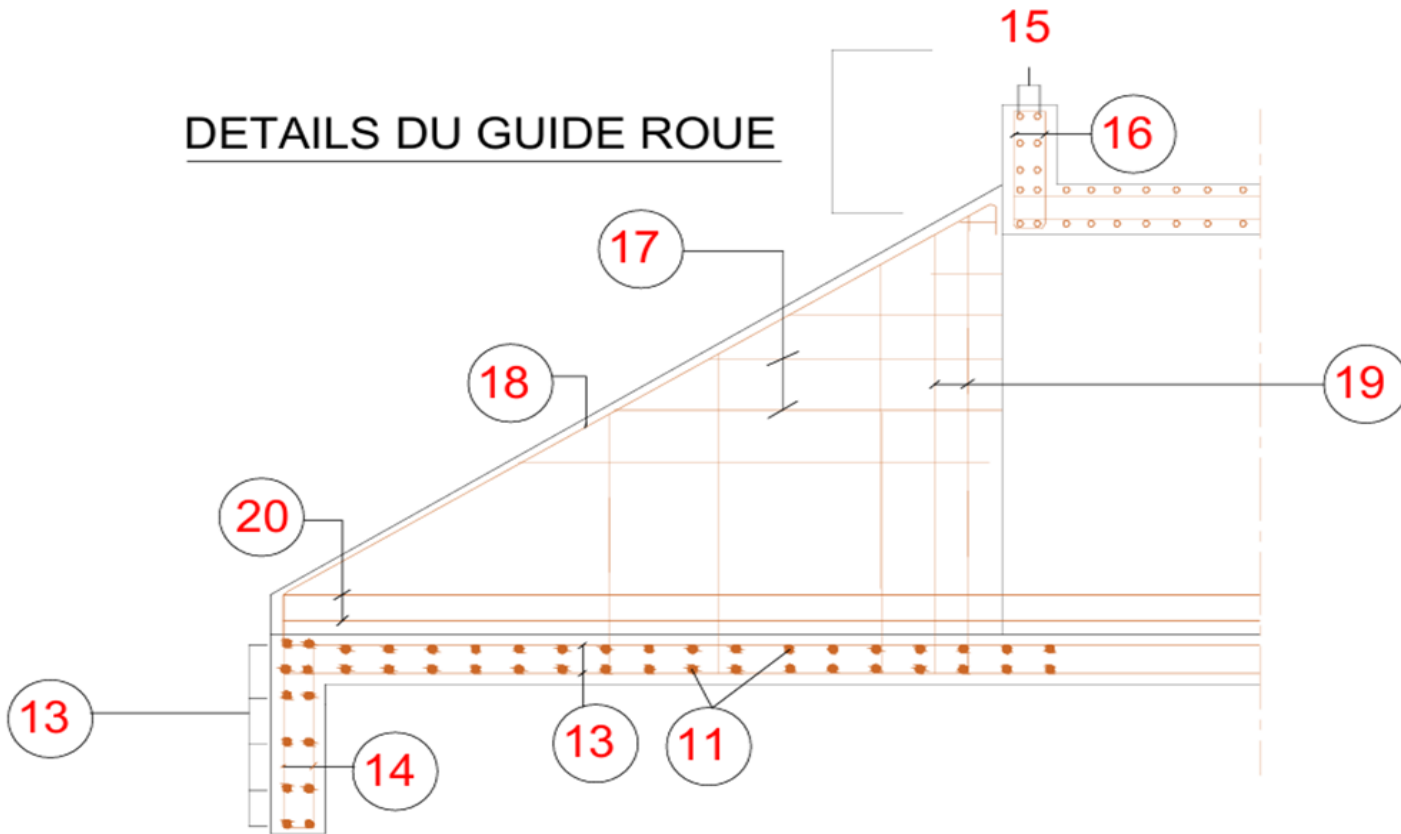
Tableau 42: Récapitulatif des aciers du dalot $2 \times 1,5m \times 2m$

Désignations	Sections	Choix aciers principales	Esp (cm)	Choix aciers de répartitions	Esp (cm)
TABLIER	Travées A2-A3 et A3-A4	5HA10/face	20	5HA8/face	20
	Appuis A2, A4	5HA10/face	20	-	-
	Appui centrale A3	5HA14	20	-	-
PIEDROITS	Piédroit central	5HA12/face	20	5HA8/face	20
	Piédroits de rives	5HA12/face	20	5HA8/face	20
RADIER	Travées A6-A5 et A1-A6	5HA10/face	20	5HA8/face	20
	Appuis A1, A5	5HA10/face	20	-	-
	Appui centrale A9	5HA14	20	-	-

Tableau 43: Récapitulatif des aciers du mur en aile 2×1,5m×2m

Désignations	Sections	Coté remblai				Coté non remblayé					
		Aciers principales	Esp (cm)	A _H	Esp (cm)	A _H	Esp (cm)	A _v	Esp (cm)	Aciers répartitions	Esp (cm)
Voile	S1	6HA14	15	5HA8	20	5HA8	20	5HA8	20	-	
	S4	6HA14	15	5HA8	20	5HA8	20	5HA8	20	-	
	S5	6HA14	15	5HA8	20	5HA8	20	5HA8	20	-	
	S6	6HA14	15	5HA8	20	5HA8	20	5HA8	20	-	
Patin	S2	5HA10	20	-	-					5HA8	20
Talon	S3	5HA10	20	-	-					5HA8	20

DETAILS DU GUIDE ROUE

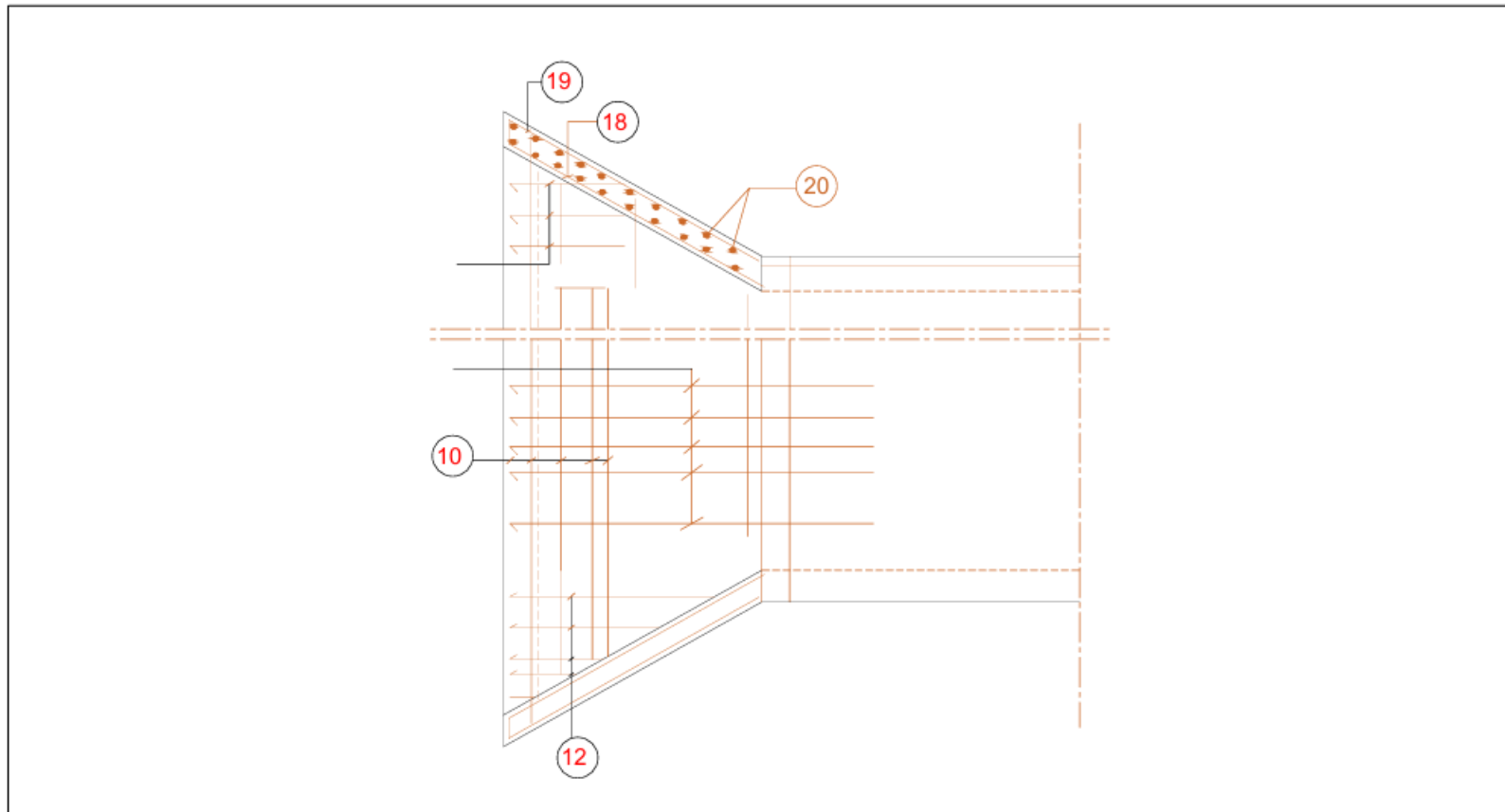


Ministère de l'Environnement de l'Eau et de l'Assainissement ***** Secrétariat Général	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 2iE *****	Mission de controle	ENTREPRISE: Groupement	Travaux de réhabilitation de la route Gourcy-Tougou 26 km	AUTEUR	
BURKINA FASO  Unité-Progress-Justice		 INGENIEURS CONSEILS Intersecton Route 21 - 13.34 Boulevard de l'Indépendance - Burkina Faso BP 1011 Ouagadougou 01 Tél: 00 226 91 11 74 75 E-mail: aie.ingenieur@orange.ci	 GROUPE  INTERNATIONAL	Coupe Longitudinale du mur en aile	Cheik Ahmed OUEDRAOGO	Date: Avril 2025 Echelle: 1/1

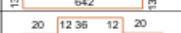
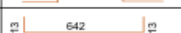
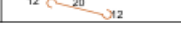
Mémoire de Master d'ingénierie
Présenté par Cheik Ahmed OUEDRAOGO

Promotion
2024-2025

XXX

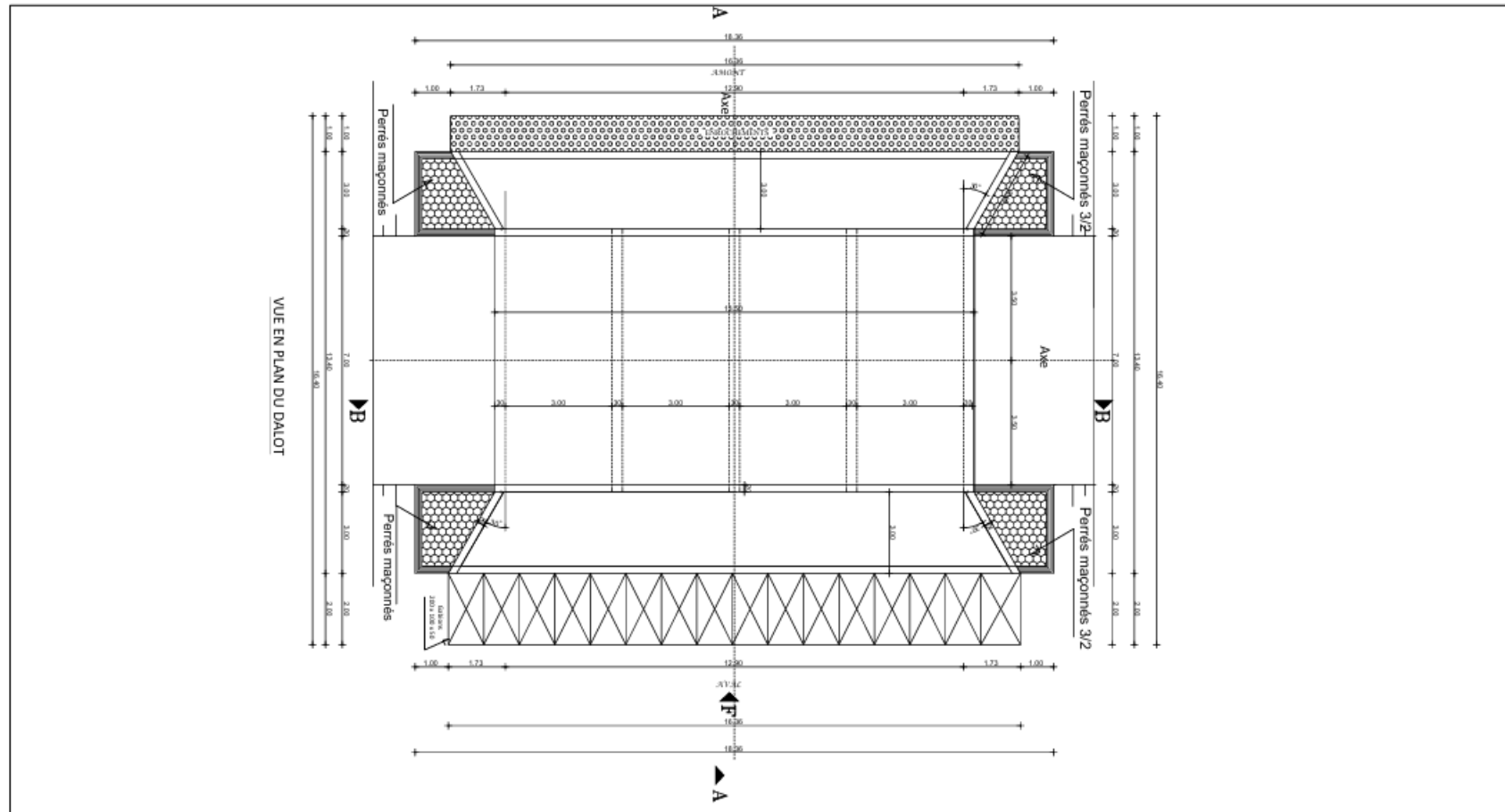


Ministère de l'Environnement de l'Eau et de l'Assainissement ***** Secrétariat Général	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 2iE *****	Mission de controle	ENTREPRISE:	Travaux de réhabilitation de la route Gourcy-Tougou 26 km	AUTEUR	
BURKINA FASO  Unité-Progress-Justice		 INGENIEURS CONSEILS Intersect Road 5.21 (E.3) Boulevard de l'Indépendance 24 BP 2001 Ouagadougou 01 Tél: 00 226 21 01 14 25 Email: ingenieursconseils@gmail.com	 GROUPE 	Détails du Radier de TETE	Cheik Ahmed OUEDRAOGO	Date: Avril 2025 Echelle: 1/1

	N°	Diamètre	Esp	Forme	Longueur unitaire	Nbre d'élément par ml	Longueur Total	Poids Total
Dalot	1	HA 16	20		13.68	37	506.16	799.73
	2	HA 16	20		13.68	37	506.16	799.73
	3	HA 16	20		13.68	37	506.16	799.73
	4	HA 16	20		13.68	37	506.16	799.73
	4a	HA 20	20		1.92	74	142.1	350.42
	5	HA 12	20		6.68	135	901.80	800.80
	5a	HA 12	1m2		1.00	197	197.00	192.43
	6	HA 12	20		6.68	135	901.80	800.80
	8	HA 12	20		2.04	370	754.80	670.30
	9	HA 10	15		6.70	120	804.00	496.10
Radier de tête	10	HA 12	15		14.03	68	954.04	931.91
	11	HA 12	15		2.10	344	722.40	705.64
	12	HA 10	15		1.30	56	72.80	49.33
Bêche	13	HA 10	15		15.35	20	307.00	208.02
	14	HA 8	20		2.30	152	349.60	151.52
Guide roue	15	HA 12	15		13.10	8	104.80	102.37
	16	HA 10	15		1.20	172	206.40	139.86
Mur en aile	17	HA 10	20		1.70	80	136.00	83.91
	18	HA 14	15		2.60	8	20.80	20.32
	19	HA 14	15		1.15	120	138.00	166.98
	20	HA 10	15		2.40	16	38.40	26.02
							6620.32	
							2 585.88	

N°	Poids total par type d'armatures kg	
1	HA 16	3198.92
2	HA 14	187.30
3	HA 12	4204.3
4	HA 10	1003.42
Poids total		9206.20

Ministère de l'Environnement de l'Eau et de l'Assainissement ***** Secrétariat Général	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 2iE ***** 	Mission de controle	ENTREPRISE: Groupement	Travaux de réhabilitation de la route Gourcy-Tougou 26 km	AUTEUR	Date: Avril 2025 Echelle: 1/1
BURKINA FASO  Unité-Progress-Justice			 	Carnet de Ferrailage	Cheik Ahmed OUEDRAOGO	

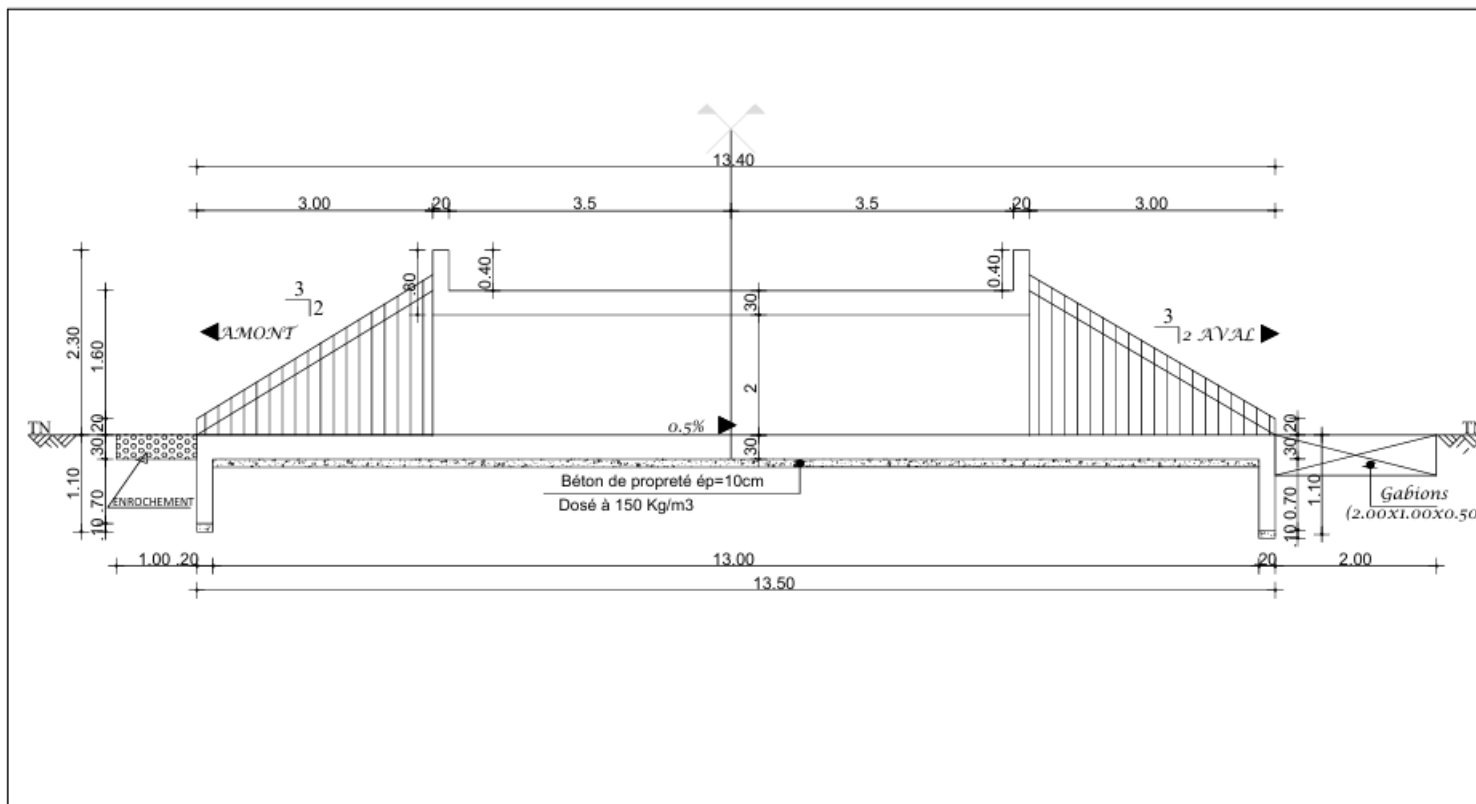


Ministère de l'Environnement et de l'Eau et de l'Assainissement ***** Secrétariat Général	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 2iE *****	Mission de controle	ENTREPRISE:	Travaux de réhabilitation de la route Gourcy-Tougou 26 km	AUTEUR	
BURKINA FASO  Unité-Progress-Justice			 GROUPE 	Vue en plan du dalot	Cheik Ahmed OUEDRAOGO	Date: Avril 2025 Echelle: 1/1

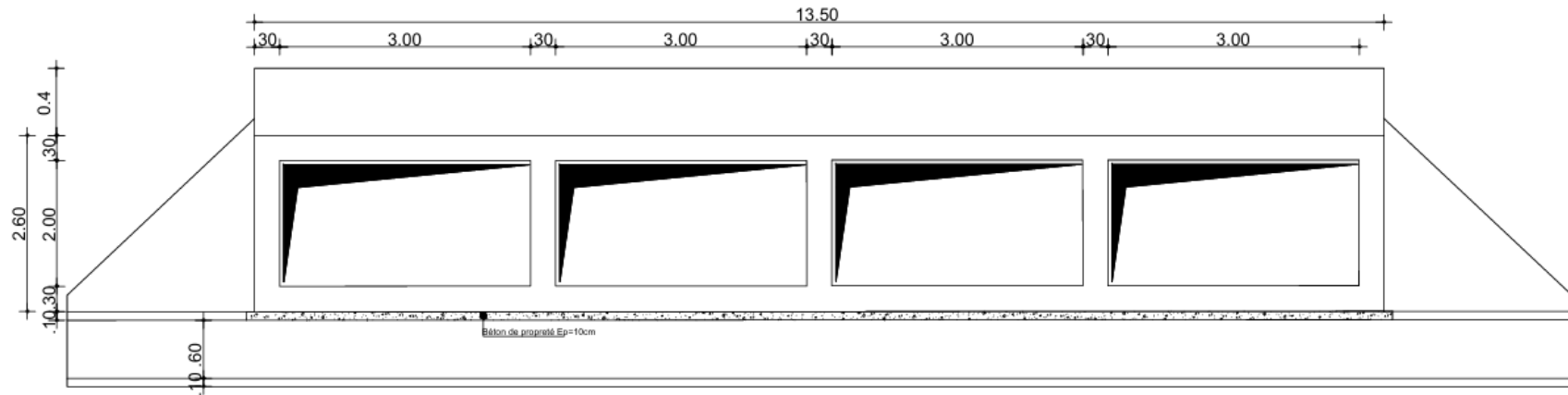
*Mémoire de Master d'ingénierie
Présenté par Cheik Ahmed OUEDRAOGO*

*Promotion
2024-2025*

XXXIII



Ministère de l'Environnement de l'Eau et de l'Assainissement ***** Secrétariat Général BURKINA FASO  Unité-Progress-Justice	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 2iE ***** 	Mission de controle	ENTREPRISE: Groupement	Travaux de réhabilitation de la route Gourcy-Tougou 26 km	AUTEUR	Date: Avril 2025 Echelle: 1/1
		 INGENIEURS CONSEILS Hervé Ruel 01 71 15 24 Boulevard de l'Industrie - Bourges 45000 Bourges Tel: 01 38 01 71 15 Email: herve.ruel@ae.fr	 	Coupe Transversale A-A	Cheik Ahmed OUEDRAOGO	

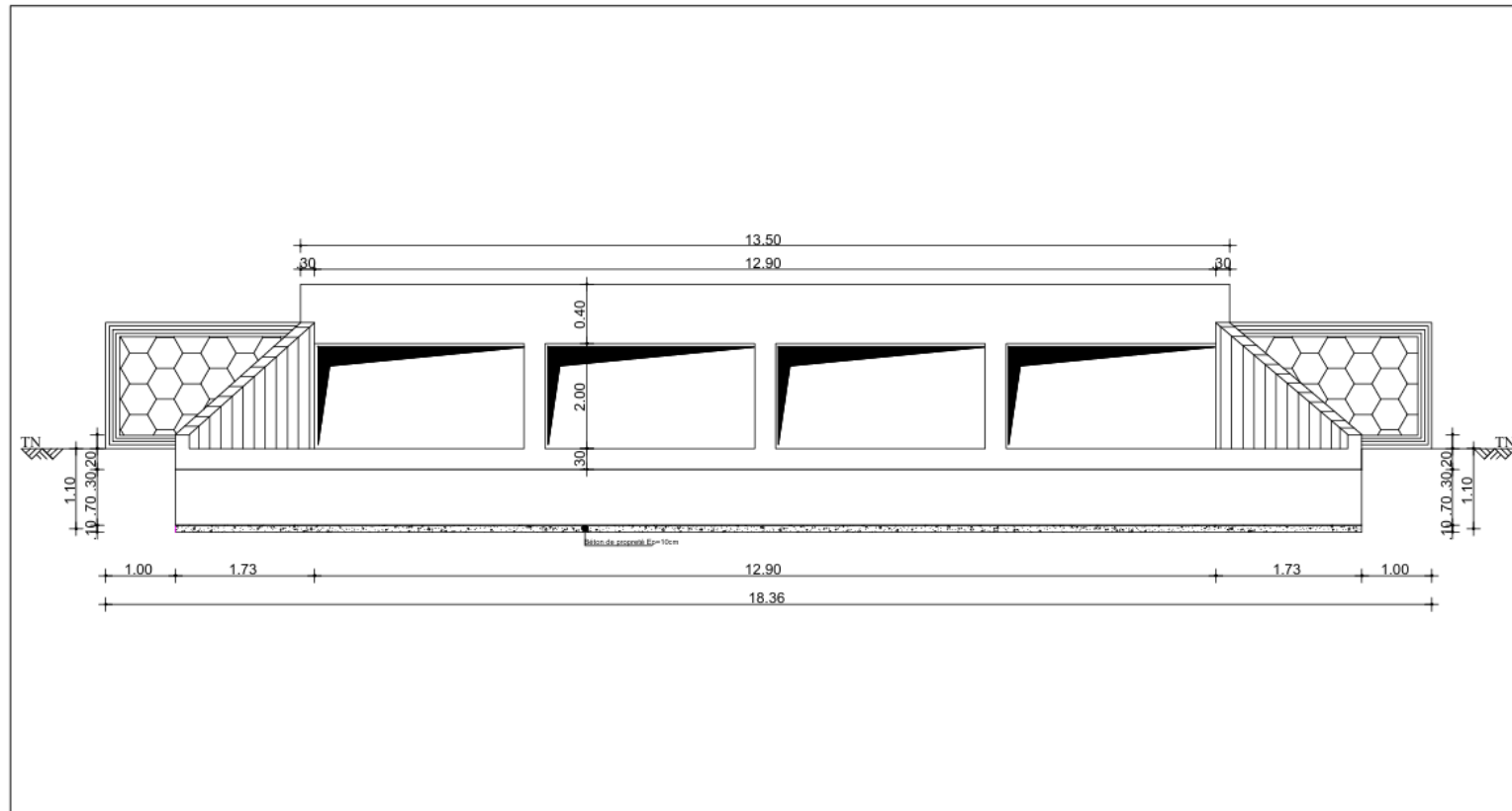


Ministère de l'Environnement de l'Eau et de l'Assainissement ***** Secrétariat Général	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 2iE *****	Mission de controle	ENTREPRISE:		Travaux de réhabilitation de la route Gourcy-Tougou 26 km	AUTEUR	Date: Avril 2025 Echelle: 1/1
			Groupement  		Coupe Longitudinale B-B	Cheik Ahmed OUEDRAOGO	

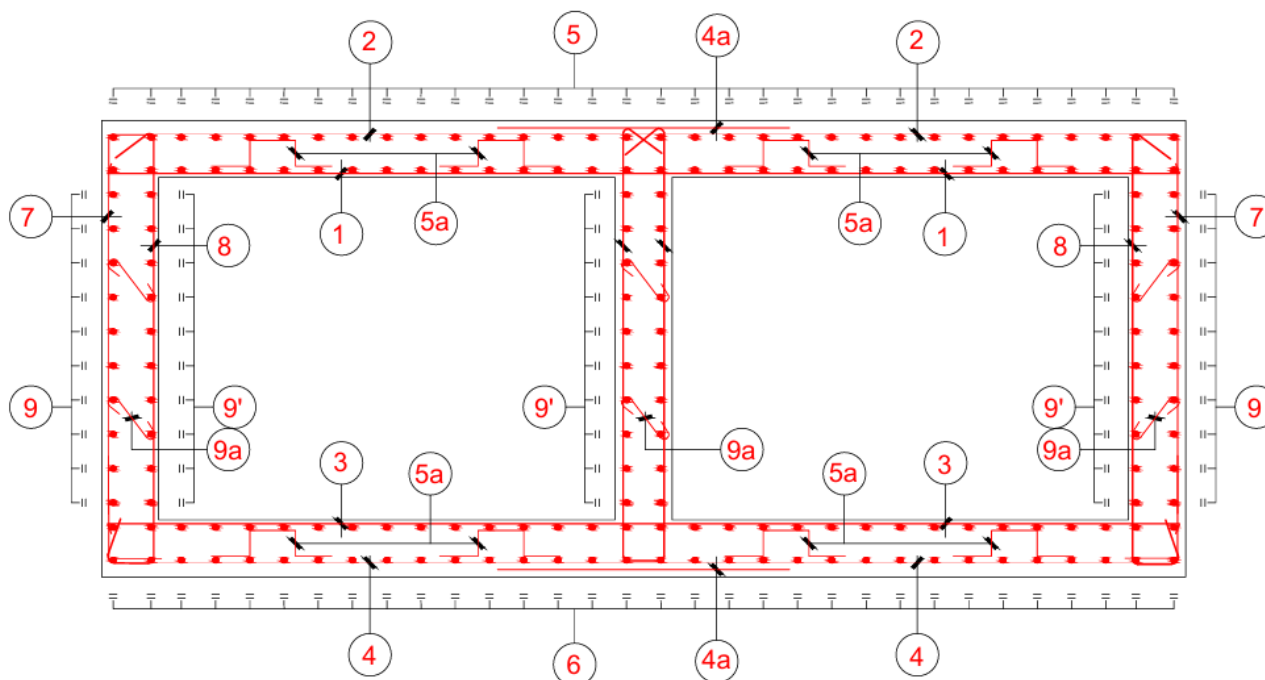
*Memoire de Master a ingenierie
Présenté par Cheik Ahmed OUEDRAOGO*

*Promotion
2024-2025*

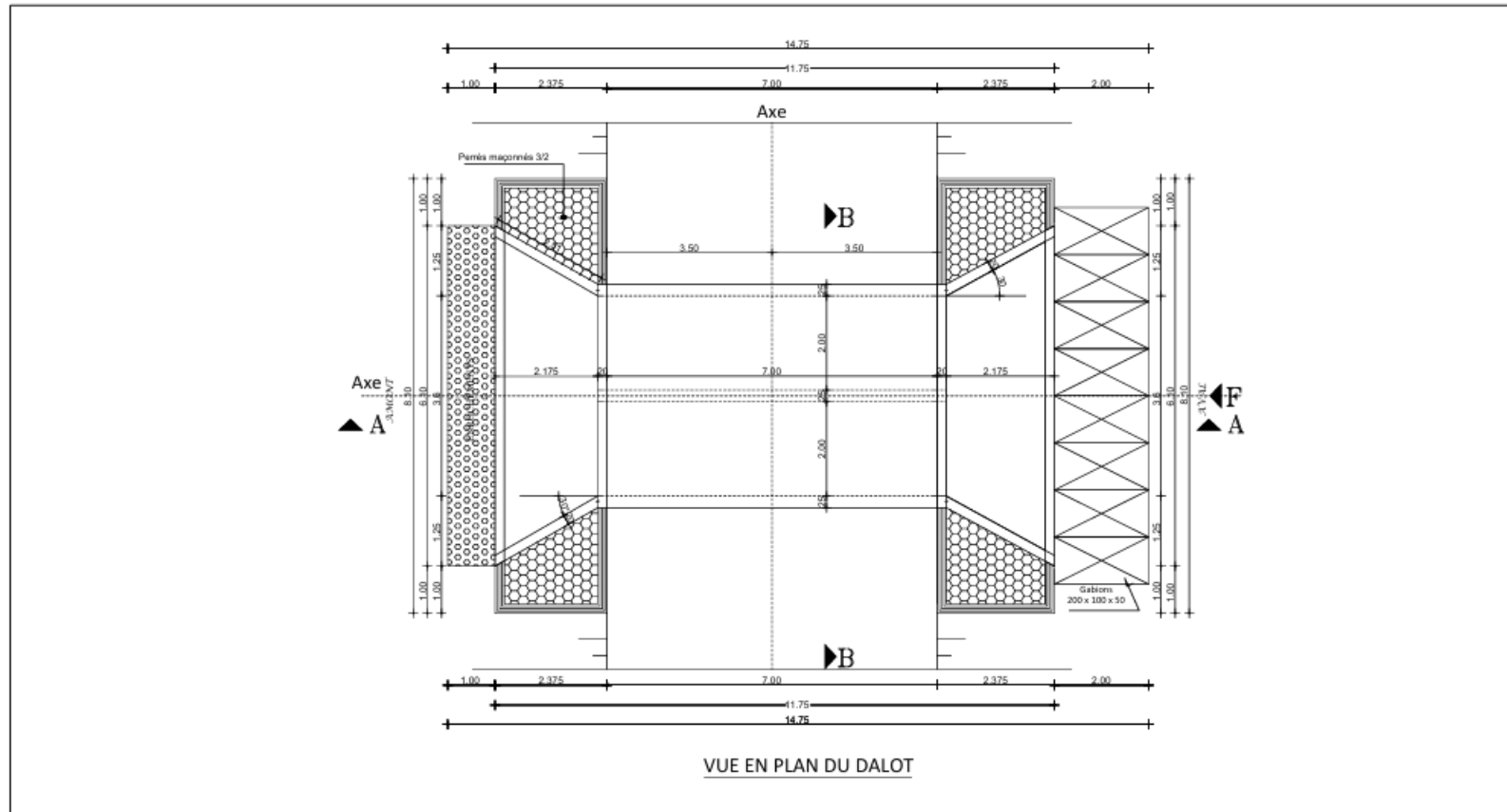
XXXV



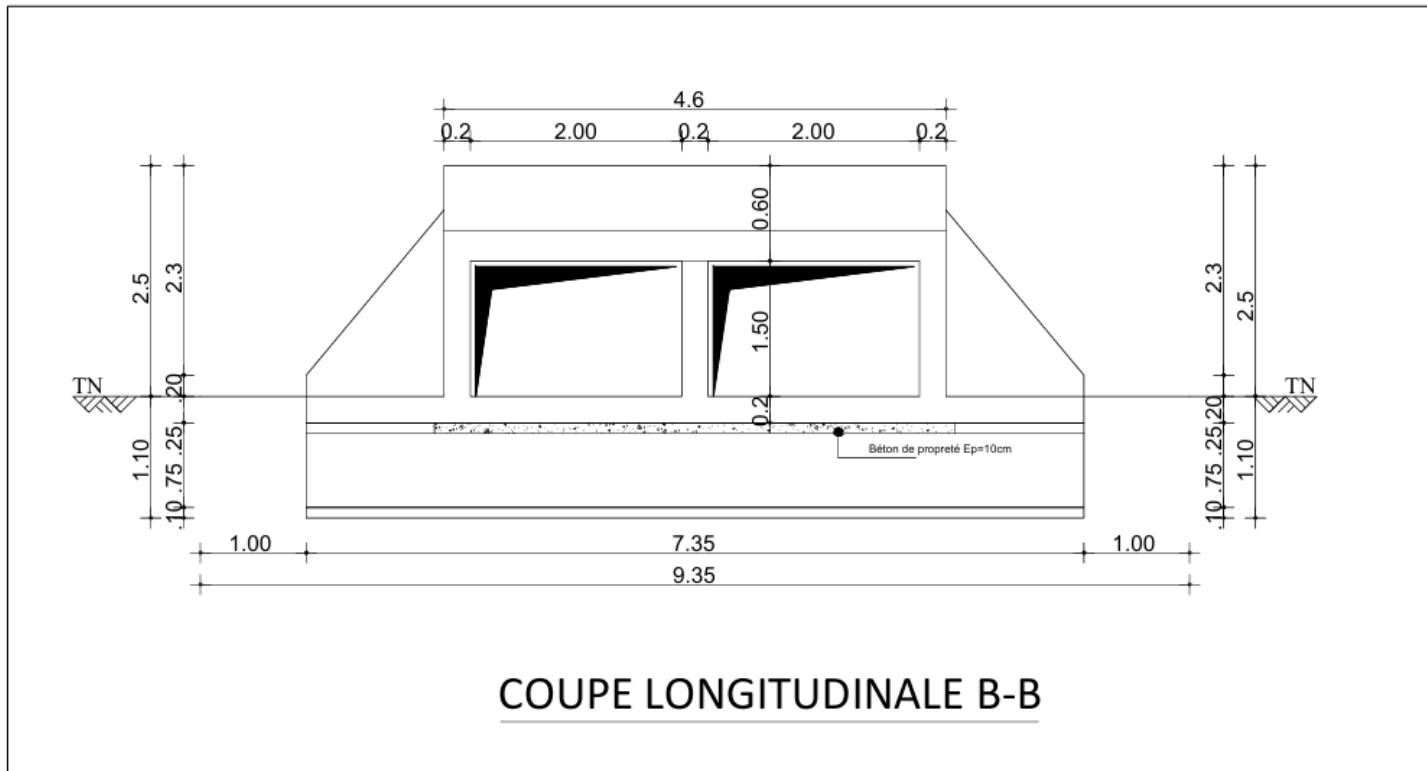
Ministère de l'Environnement de l'Eau et de l'Assainissement ***** Secrétariat Général	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 2iE *****	Mission de controle	ENTREPRISE:		Travaux de réhabilitation de la route Gourcy-Tougou 26 km	AUTEUR	
BURKINA FASO					Vue transversale suivant F	Cheik Ahmed OUEDRAOGO	
							Date: Avril 2025 Echelle: 1/1
Unité-Progress-Justice							



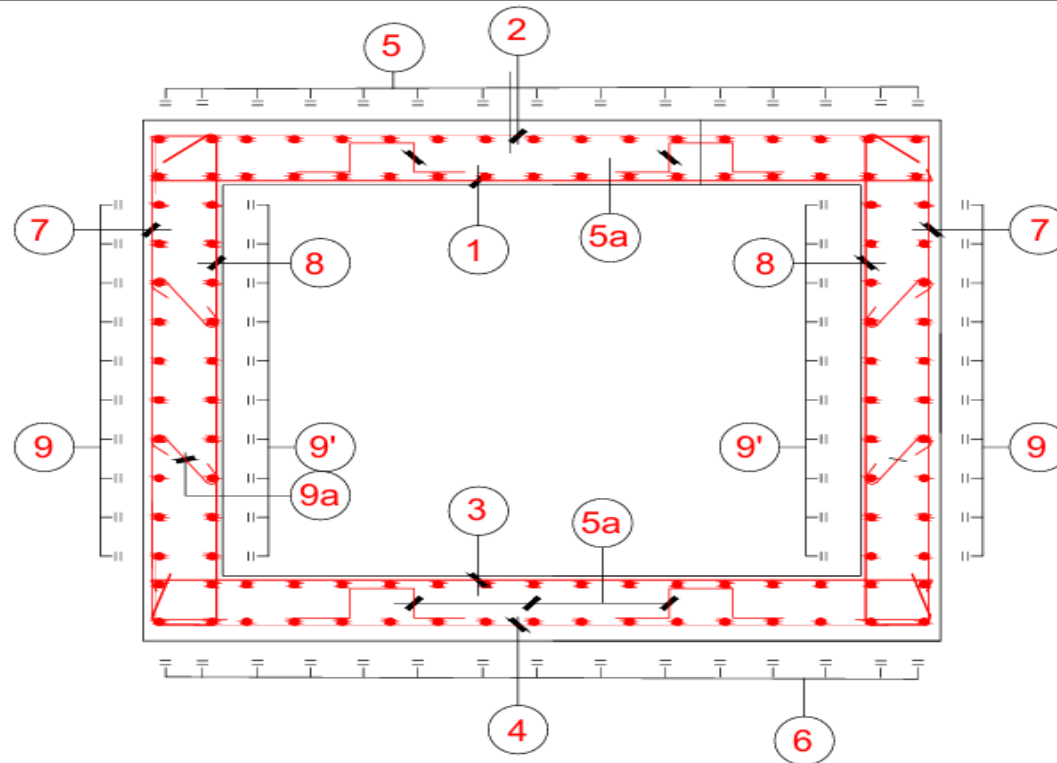
Ministère de l'Environnement de l'Eau et de l'Assainissement ***** Secrétariat Général	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 2iE *****	Mission de controle	ENTREPRISE: Groupement		Travaux de réhabilitation de la route Gourcy-Tougou 26 km	AUTEUR	
BURKINA FASO 					Corps du Dalot 2*1.5*2	Cheik Ahmed OUEDRAOGO	Date: Avril 2025 Echelle: 1/1
Unité-Progrès-Justice							



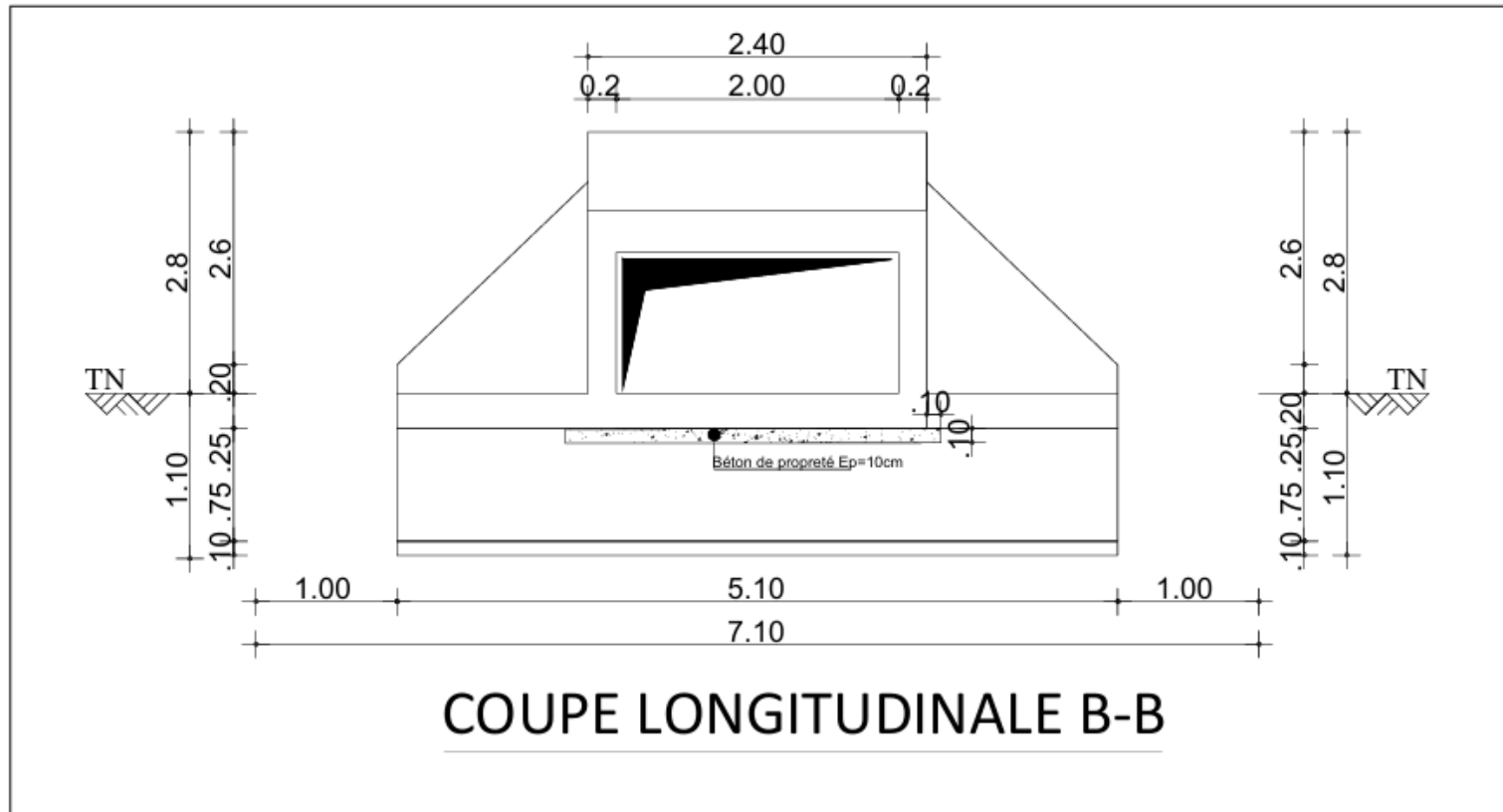
Ministère de l'Environnement de l'Eau et de l'Assainissement ***** Secrétariat Général	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 2iE *****	Mission de controle	ENTREPRISE: Groupement	Travaux de réhabilitation de la route Gourcy-Tougou 26 km	AUTEUR	
BURKINA FASO 		 INGENIEURS CONSEILS N° d'inscription: 121-133 N° d'ordre: 08-09-010-01-01-01 N° d'ordre: 08-09-010-01-01-01 N° d'ordre: 08-09-010-01-01-01 N° d'ordre: 08-09-010-01-01-01	 GROUPE  INTERNATIONAL	Vue en Plan du Dalot 2*1.5*2	Cheik Ahmed OUEDRAOGO	Date: Avril 2025 Echelle: 1/1
Unité-Progress-Justice						



Ministère de l'Environnement de l'Eau et de l'Assainissement ***** Secrétariat Général BURKINA FASO  Unité-Progress-Justice	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 2iE ***** 	Mission de controle 	ENTREPRISE: Groupement  	Travaux de réhabilitation de la route Gourcy-Tougou 26 km Coupe Longitudinale B-B 2*1.5*2	AUTEUR Cheik Ahmed OUEDRAOGO	Date: Avril 2025 Echelle: 1/1
---	--	--	---	--	-------------------------------------	----------------------------------



Ministère de l'Environnement de l'Eau et de l'Assainissement ***** Secrétariat Général	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 2iE *****	Mission de controle	ENTREPRISE: Groupement	Travaux de réhabilitation de la route Gourcy-Tougou 26 km	AUTEUR	
BURKINA FASO  Unité-Progress-Justice		 INGENIEURS CONSEILS Intersecteur: Route 221 - 0334 Boulevard 95 - Ouagadougou - Burkina Faso Tel: 00 229 21 12 74 75 E-mail: www.ingenieursconseils.org	 	Corps du Dalot 1*2*2	Cheik Ahmed OUEDRAOGO	Date: Avril 2025 Echelle: 1/1



Ministère de l'Environnement de l'Eau et de l'Assainissement ***** Secrétariat Général	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 2iE *****	Mission de controle	ENTREPRISE:		Travaux de réhabilitation de la route Gourcy-Tougou 26 km	AUTEUR	
			Groupement				
BURKINA FASO					Coupe Longitudinale B-B du dalot 1*2*2	Cheik Ahmed OUEDRAOGO	Date: Avril 2025 Echelle: 1/1
Unité-Progrès-Justice							

Annexe 25: Note de calcul dalot 1*2m*2m

DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

Note de calcul du dalot 1 × 2m × 2m

❖ Evaluations des charges

Charges permanentes

➤ Au niveau du tablier

Poids propre tablier : $P_{\text{tablier}} = \gamma_{\text{béton}} \times e$

$$P_{\text{tablier}} = 0,20 \times 25$$

$$P_{\text{tablier}} = 5 \text{ KN/m}^2$$

Poids propre des guides roues : $P_{gr} = \gamma_{\text{béton}} \times e = 25 \times 0,2 \times 2$

$$P_{gr} = 10 \text{ KN/m}^2$$

Poids du remblai : $P_r = e \times \gamma_d = 0,15 \times 20$

$$P_r = 3 \text{ KN/m}^2$$

Charge permanente totale sur le tablier : $P_1 = P_{\text{tablier}} + P_{gr} + P_r = 5 + 10 + 3$

$$P_1 = 19 \text{ KN/m}^2$$

➤ Au niveau du radier

Poids propre radier : $P_{\text{radier}} = \gamma_{\text{béton}} \times e$

$$P_{\text{radier}} = 0,20 \times 25$$

$$P_{\text{radier}} = 5 \text{ KN/m}^2$$

Poids propre des piédroits : $P_{\text{piédroits}} = n \times \frac{\gamma_{\text{béton}} \times e \times h}{(n-1)L_{\text{hydro}}}$

$$P_{\text{piédroits}} = 2 \times \frac{25 \times 0,2 \times 2}{1 \times 2}$$

$$P_{\text{piédroits}} = 10 \text{ KN/m}^2$$

Charge permanente totale sur le tablier : $P_2 = P_{\text{radier}} + P_{\text{piédroits}} + P_1 = 5 + 10 + 19$

$$P_2 = 34 \text{ KN/m}^2$$

Poussée latérale du remblai sur un piédroit

$$P_t = K_a \times \gamma_d \times h$$

Avec

- le poids volumique des terres $\gamma_d = 2.0 \text{ t/m}^3$;
- hauteur moyenne de remblai $H_r = 15 \text{ cm}$
- le coefficient de poussée des terres : $K = 0.333$

h = hauteur du remblai par rapport au point considéré

$$P_3 = K_a \times \gamma_d \times h_1$$

$$P_3 = 0,33 \times 20 \times (0,45 + 0,2)$$

$$P_3 = 4,29 \text{ KN/m}^2$$

$$P_4 = K_a \times \gamma_d \times h_2$$

$$P_4 = 0,333 \times 20 \times (2 + 0,45 + 0,2)$$

$$P_4 = 17,65 \text{ KN/m}^2$$

Charges d'exploitation (Charges routières)

➤ Système de charge A (L)

Conformément aux dispositions du titre 2 du fascicule 61, une charge uniforme sera appliquée sur les chaussées des ouvrages. L'intensité de cette charge, les coefficients a_1 et a_2 seront déterminés conformément audit fascicule.

$$q(L) = \max [a_1 \times A(L); 4 - 0,002L]$$

$$L = \max \left\{ \frac{L_r}{a} \right\} \text{ on a donc } L = \max \left\{ \begin{matrix} 7m \\ 3m \end{matrix} \right.$$

$$L = 7 \text{ m}$$

$$A(L) = 2,30 + \frac{360}{L+12} (kN/m^2) \text{ Avec } L : \text{largeur chargée, } L=7 \text{ m}$$

$$A(L) = 2,30 + \frac{360}{7+12} = 21,25 \text{ kN/m}^2$$

a_1 : coefficient qui dépend de la classe du pont et du nombre de voies chargées.

- Calcul du nombre de voies chargées :

$$n = \text{entier}\left(\frac{L_c}{3}\right)$$

$$L_c = L_r = 7 \text{ m}$$

$$n = \text{entier}\left(\frac{7}{3}\right) = 2 \text{ voies}$$

Classe	Largeur roulable
I	$\geq 7\text{m}$
II	$5.5\text{m} < L_r < 7\text{m}$
III	$\leq 5.5\text{m}$

Tableau de calcul de a_1

Classe de Dalot	Nombre de voies chargées				
	1	2	3	4	5
I	1	1	0,9	0,75	0,75
II	1	0,9	-	-	-
III	0,9	0,8			

Pour un dalot de classe I avec 2 voies chargées, on a $a_1 = 1$

Classe du pont	V_0
I	3,5 m
II	3,0 m
III	2,75 m

$$a_2 = \frac{V_0}{V} \text{ Avec } V_0 = 3,5 \text{ m (classe I)}$$

$$\text{Et } V = \frac{Lr}{3} = \frac{7}{3} = 2,33$$

$$a_2 = \frac{3,5}{2,33} = 1,5$$

$$q(L) = \max [a_1 \times A(L); 400 - 0,002L]$$

$$q(L) = \max [1 \times 21,25 ; 4 - 0,002 \times 7]$$

$$q(L) = \max [21,25 ; 3,99]$$

$$q(L) = 21,25 \text{ kN/m}^2$$

Calcul de la surcharge A

$$Q = \gamma_q \times a_2 \times q(L)$$

$$\gamma_q = 1,2 \text{ à l'état limite de service (ELS)}$$

$$Q = 1,2 \times 1,5 \times 21,25$$

$$Q = 38,25 \text{ KN/m}^2$$

$$\gamma_q = 1,61 \text{ à l'état limite ultime (ELU)}$$

$$Q = 1,61 \times 1,5 \times 21,25$$

$$Q = 51,32 \text{ KN/m}^2$$

➤ Système B

Le système B est composé de trois sous-systèmes Bc, Bt, B

• Système Bc

$$Q_{bc} = \gamma q \cdot bc \cdot \delta \cdot Bc$$

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

L'ouvrage étant de classe I avec 2 voies de circulation, le coefficient vaut =1,1

Surface d'encombrement

$$S_{xy} = L_x \times L_y$$

$$S_{xy} = (4,5 + 0,25) \times (1,5 + 0,25)$$

$$S_{xy} = 8,31\text{m}^2$$

La charge la plus défavorable

$$P = 60 \times 8$$

$$P = 480 \text{ KN}$$

La densité de charge surfacique devient :

$$Bc = \frac{P}{S_{xy}}$$

$$B_c = \frac{480}{8,31}$$

$$B_c = 57,76 \text{ KN/m}^2$$

Coefficient de majoration dynamique :

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

Avec L=Max (Largeur roulable ; portée de la travée)

G=Poids total d'une section de couverture de longueur L et toute la largeur relative à cette couverture et aux éléments reposant sur elle.

Q=Poids total maximum des essieux du système (B_c ou B_t) qu'il est possible de placer sur la longueur L.

$$L = \max \begin{cases} 7m \\ 3m \end{cases} \quad \text{donc } L = 7 \text{ m}$$

$$G = P_1 \times S_{\text{tablier}}$$

$$G = 19 \times 7,4 \times 2,4$$

$$G = 337,44 \text{ KN}$$

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 7} + \frac{0,6}{1 + 4 \times \frac{337,44}{480}}$$

$$\delta = 1,324$$

Au niveau du tablier

$$Q_{bc} = \gamma q \cdot bc \cdot \delta \cdot Bc$$

$$\text{A l'ELS : } Q_{bc} = 1,2 \times 1,1 \times 1,324 \times 57,76 = 100,92 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{A l'ELU : } Q_{bc} = 1,61 \times 1,1 \times 1,324 \times 57,76 = 135,41 \text{ KN/m}^2$$

Au niveau du radier

$$G = P_2 \times L \times l = 34 \times 7,4 \times 2,4 = 603,84 \text{ KN}$$

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 7} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 603,84}{480}} = 1,266$$

$$A \text{ l'ELS} : Q_{bc} = 1,2 \times 1,1 \times 1,266 \times 57,76 = 96,51 \text{ KN/m}^2$$

$$A \text{ l'ELU} : Q_{bc} = 1,61 \times 1,1 \times 1,266 \times 57,76 = 129,48 \text{ KN/m}^2$$

- **Système Bc-Niger**

La charge la plus défavorable

$$P = 130 \times 4$$

$$P = 520 \text{ KN}$$

Calcul de la surface d'encombrement

$$S_{xy} = L_x \times L_y$$

$$S_{xy} = (0,15 + 1,5 + 0,15) + (0,15 + 2 + 0,5 + 2 + 0,15)$$

$$S_{xy} = 8,64 \text{ m}^2$$

La densité de charge surfacique devient :

$$B_c = \frac{P}{S_{xy}}$$

$$B_{c \text{ niger}} = \frac{520}{8,64}$$

$$B_{c \text{ niger}} = 60,19 \text{ KN/m}^2$$

$$Q_{bc \text{ niger}} = \gamma_q \cdot b_c \cdot \delta \cdot B_{c \text{ niger}}$$

$b_c = 1.1$ pour un dalot de classe I avec 2 voies chargées

Coefficient de majoration dynamique

$$\delta_{bc \text{ niger}} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times l_c} + \frac{0,6}{1 + \frac{4G}{S}}$$

Avec :

G : le poids de l'élément considéré ;

L_c : la longueur de l'élément en m

$$G = P_1 \times S_{tablier}$$

$$G = 19 \times 7,4 \times 2,4$$

$$G = 337,44 \text{ KN}$$

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 7} + \frac{0,6}{1 + 4 \times \frac{337,44}{520}} = 1,334$$

Au niveau du tablier

$$A'ELS : Q_{bc \text{ niger}} = 1,2 \times 1,334 \times 1,1 \times 60,19 = 105,94 \text{ KN/m}^2$$

$$A'ELU : Q_{bc \text{ niger}} = 1,61 \times 1,334 \times 1,1 \times 60,19 = 142,14 \text{ KN/m}^2$$

Au niveau du radier

$$G = P_2 \times L \times l = 34 \times 7,4 \times 2,4 = 603,84 \text{ KN}$$

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 7} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 603,84}{520}} = 1,3$$

$$A'ELS : Q_{bc \text{ niger}} = 1,2 \times 1,273 \times 1,1 \times 60,19 = 101,13 \text{ KN/m}^2$$

$$A'ELU : Q_{bc \text{ niger}} = 1,61 \times 1,273 \times 1,1 \times 60,19 = 135,68 \text{ KN/m}^2$$

- **Système Br**

$$S_{xy} = L_x \times L_y$$

$$S_{xy} = \left(0,3 + 2 \times Hr + \frac{e_1}{2}\right) + \left(0,6 + 2 \times Hr + \frac{e_1}{2}\right)$$

$$S_{xy} = \left(0,3 + 2 \times 0,45 + \frac{0,2}{2}\right) + \left(0,6 + 2 \times 0,45 + \frac{0,2}{2}\right)$$

$$S_{xy} = 1,30 \times 1,60$$

$$S_{xy} = 2,08 \text{ m}^2$$

La charge la plus défavorable

$$P = 100 \text{ KN}$$

La densité de charge surfacique devient :

$$B_r = \frac{P}{S_{xy}}$$

$$B_r = \frac{100}{2,08}$$

$$B_r = 48,08 \text{ KN/m}^2$$

$$Q_{Br} = \gamma_q \cdot \delta \cdot B_r$$

Coefficient de majoration dynamique

$$\delta_{bcniger} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times l_c} + \frac{0,6}{1 + \frac{4G}{S}}$$

Avec :

G : le poids de l'élément considéré ;

Lc : la longueur de l'élément en m

$$G = P_1 \times S_{tablier}$$

$$G = 19 \times 7,4 \times 2,4$$

$$G = 337,44 \text{ KN}$$

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 7} + \frac{0,6}{1 + 4 \times \frac{337,44}{100}} = 1,334$$

Au niveau du tablier

$$\text{A l'ELS : } Q_{Br} = 1,2 \times 1,334 \times 48,08 = 76,93 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{A l'ELU : } Q_{Br} = 1,61 \times 1,334 \times 48,08 = 103,26 \text{ KN/m}^2$$

Au niveau du radier

$$G = P_2 \times L \times l = 34 \times 7,4 \times 2,4 = 603,84 \text{ KN}$$

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 7} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 603,84}{100}} = 1,273$$

$$A'ELS : Q_{Br} = 1,2 \times 1,273 \times 48,08 = 73,44 \text{ KN/m}^2$$

$$A'ELU : Q_{Br} = 1,61 \times 1,273 \times 48,08 = 98,53 \text{ KN/m}^2$$

- **Système Bt**

La charge la plus défavorable

$$P = 160 \times 4$$

$$P = 640 \text{ KN}$$

Calcul de la surface d'encombrement

$$S_c = L_x \times L_y$$

Avec : L_x : sens longitudinal ;

L_y : sens transversal (deux files de camions,)

$$L_x = 1,35 + \frac{0,25}{2} + \frac{0,25}{2} = 1,6 \text{ m}$$

$$L_y = 2 + 1 + 2 + \frac{0,6}{2} + \frac{0,6}{2} = 5,6 \text{ m}$$

$$S_{xy} = 1,6 \times 5,6 = 8,96 \text{ m}^2$$

$$\text{La charge surfacique devient : } B_t = \frac{640}{8,96} = 71,43 \text{ kN/m}^2$$

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

Choix du coefficient b_t en fonction de la classe

Classe de pont	I	II
Coefficient de pondération bt	1	0,9

Coefficient de majoration dynamique

$$\delta_{Bt} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times lc} + \frac{0,6}{1 + \frac{4G}{S}}$$

Avec :

G : le poids de l'élément considéré ;

Lc : la longueur de l'élément en m

Sur le tablier

$$G = P_1 \times S_{tablier}$$

$$G = 19 \times 7,4 \times 2,4$$

$$G = 337,44 \text{ KN}$$

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 7} + \frac{0,6}{1 + 4 \times \frac{337,44}{640}} = 1,360$$

$$A'ELS : Q_{bc} = 1,2 \times 1 \times 1,360 \times 71,43 = 116,54 \text{ KN/m}^2$$

$$A'ELU : Q_{bc} = 1,61 \times 1 \times 1,360 \times 71,43 = 156,36 \text{ KN/m}^2$$

Sur le radier

$$G = P_2 \times L \times l = 34 \times 7,4 \times 2,4 = 603,84 \text{ KN}$$

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 7} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 603,84}{640}} = 1,292$$

$$A'ELS : Q_{bc} = 1,2 \times 1 \times 1,292 \times 71,43 = 110,77 \text{ KN/m}^2$$

$$A'ELU : Q_{bc} = 1,61 \times 1 \times 1,292 \times 71,43 = 148,62 \text{ KN/m}^2$$

- **Charges militaires**

La charge la plus défavorable

$$P = 1100 \text{ KN}$$

Calcul de la surface d'encombrement

$$S_{xy} = L_x \times L_y$$

$$S_{xy} = (6,10) + (2,30 + 1)$$

$$S_{xy} = 20,13 \text{ m}^2$$

La densité de charge surfacique devient :

$$q = \frac{P}{S_{xy}}$$

$$q = \frac{1100}{20,13}$$

$$q = 54,64 \text{ KN/m}^2$$

Sur le tablier

$$G = P_1 \times S_{\text{tablier}}$$

$$G = 19 \times 7,4 \times 2,4$$

$$G = 337,44 \text{ KN}$$

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 7} + \frac{0,6}{1 + 4 \times \frac{337,44}{1100}} = 1,436$$

$$\text{A l'ELS : } Q_{bc} = 1,2 \times 1,436 \times 54,64 = 94,17 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{A l'ELU : } Q_{bc} = 1,61 \times 1,436 \times 54,64 = 126,34 \text{ KN/m}^2$$

Sur le radier

$$G = P_2 \times L \times l = 34 \times 7,4 \times 2,4 = 603,84 \text{ KN}$$

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 7} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 603,84}{1100}} = 1,354$$

$$A'_{ELS} : Q_{bc} = 1,2 \times 1,354 \times 54,64 = 88,81 \text{ KN/m}^2$$

$$A'_{ELU} : Q_{bc} = 1,61 \times 1,354 \times 54,64 = 119,16 \text{ KN/m}^2$$

Calcul de la surface chargée

$$S_{xy} = L_x \times L_y$$

$$S_{xy} = (2,40) + (7)$$

$$S_{xy} = 16,8m^2$$

Efforts de freinage

- freinage dû à A (l) : La fraction de la charge A (l) qui sera prise en compte comme effort horizontal de freinage est $1 / (20 + 0,0035S)$, S étant la surface chargée en mètre carré.
- freinage dû aux charges du système B : La force de freinage sera prise égale au poids total d'un camion Bc (30 tonnes) sans application du coefficient bc et sans majoration pour effet dynamique conformément aux règlements

Calcul de la surface chargée

$$S_{xy} = L_x \times L_y$$

$$S_{xy} = (2,40) + (7)$$

$$S_{xy} = 16,8m^2$$

L'effort de freinage est :

$$F = \frac{1}{20 + 0,0035 \times S_{xy}}$$

$$F = \frac{1}{20 + 0,0035 \times 16,8}$$

$$F = 0,0498 \text{ KN/m}^2$$

Surcharge de remblai

La surcharge verticale de chaussée derrière les piédroits de plate-forme routière sera prise égale à 1 t/m^2 ,

$$q = \gamma_s \times k_a \times p$$

$$q = 1,2 \times 0,33 \times 10 = 3,96 \text{ kN/m}^2$$

Tableau récapitulatif des charges d'exploitations sous l'ELU et l'ELS

Désignations	Tablier		Radier	
	ELS	ELU	ELS	ELU
Système A(L)	38,25	51,32	38,25	51,32
Sous-système Bc	100,92	135,41	96,51	129,48
Sous-système Bc-Niger	105,94	142,14	101,13	135,68
Sous-système Br	76,93	103,26	73,44	98,53
Sous-système Bt	116,54	156,36	110,77	148,62
Sous charges militaires MC120	94,17	126,34	88,81	119,16
Max (surcharge) (KN/m ²)	116,54	156,36	110,77	148,62

NB : On remarque que toutes les charges maximales proviennent du sous-système Bt et nous allons considérer les charges maximales à L'ELS pour le dimensionnement du dalot

Sous les charges permanentes

Tableau récapitulatif des charges permanentes

Désignation	Chargement en KN/m ²
Charge permanente Tablier	$P_1 = 19 \text{ KN/m}^2$
Charge permanente Radier	$P_2 = 34 \text{ KN/m}^2$
Charge permanente Piédroits	$P_3 = 4,29 \text{ KN/m}^2$
	$P_4 = 17,65 \text{ KN/m}^2$

Calcul des sollicitations

Moment sur appuis

Pour la détermination des différents moments nous allons appliquer le théorème des trois (03) moments.

$$l_i M_{i-1} + 2(l_i + l_{i+1})M_i + l_{i+1}M_{i+1} = 6EI[\varphi'_{i0} - \varphi''_{i0}]$$

Travée A1A2A3

Sur l'appui A₂ avec (i=2)

$$l_2 M_1 + 2(l_2 + l_3)M_2 + l_3 M_3 = 6EI[\varphi'_{20} - \varphi''_{20}]$$

Calcul de φ'_{20} et de φ''_{20}

Calcul de φ'_{20}

$$\varphi'_{20} = \frac{7(P_4 - P_3)l_2^3}{360EI} + \frac{P_3 \times l_2^3}{24EI}$$

$$\varphi'_{20} = \frac{(8P_3 + 7P_4)l_2^3}{360EI}$$

$$\varphi'_{20} = \frac{(8 \times 4,29 + 7 \times 17,65) \times 2,2^3}{360EI}$$

$$\varphi'_{20} = \frac{4,67}{EI}$$

Calcul de φ''_{20}

$$\varphi''_{20} = \frac{-P_1 \times l_3^3}{24EI}$$

$$\varphi''_{20} = \frac{-19 \times 2,2^3}{24EI}$$

$$\varphi''_{20} = \frac{-8,43}{EI}$$

On obtient donc :

$$l_2 M_1 + 2(l_2 + l_3)M_2 + l_3 M_3 = 6EI\left[\frac{4,67}{EI} - \left(\frac{-8,43}{EI}\right)\right]$$

Mémoire de Master d'ingénierie Présenté par Cheik Ahmed OUEDRAOGO	Promotion 2024-2025	LVI
--	------------------------	-----

$$l_2 M_1 + 2(l_2 + l_3) M_2 + l_3 M_3 = 6[4,67 + 8,43]$$

$$2,2 M_1 + 2(2,2 + 2,2) M_2 + 2 M_3 = 6[4,67 + 8,43]$$

$$\boxed{2,2 M_1 + 8,8 M_2 + 2,2 M_3 = 78,60} \quad (1)$$

Travée A2A3A4

Sur l'appui A₃ avec (i=3)

$$l_3 M_2 + 2(l_3 + l_4) M_3 + l_4 M_4 = 6EI[\varphi'_{30} - \varphi''_{30}]$$

Calcul de φ'_{30} et de φ''_{30}

Calcul de φ'_{30}

$$\varphi'_{30} = \frac{P_1 \times l_3^3}{24EI} = \frac{19 \times 2,2^3}{24EI}$$

$$\varphi'_{30} = \frac{8,43}{EI}$$

Calcul de φ''_{30}

$$\varphi''_{30} = \frac{-P_3 \times l_5^3}{24EI} - \frac{7(P_4 - P_3) \times l_5^3}{360EI}$$

$$\varphi''_{30} = \frac{-(8P_3 + 7P_4) \times l_7^3}{360EI}$$

$$\varphi''_{30} = \frac{-(8 \times 4,29 + 7 \times 17,65) \times 2,2^3}{360EI}$$

$$\varphi''_{30} = \frac{-4,67}{EI}$$

On obtient donc :

$$2,2 M_2 + 2(2,2 + 2,2) M_3 + 2,2 M_4 = 6[8,43 + 4,67]$$

$$\boxed{2,2 M_2 + 8,8 M_3 + 2,2 M_4 = 78,60} \quad (2)$$

Travée A3A4A1

Sur l'appui A₆ avec (i=4)

$$l_4 M_3 + 2(l_4 + l_1) M_4 + l_1 M_1 = 6EI[\varphi'_{40} - \varphi''_{40}]$$

Calcul de φ'_{40} et de φ''_{40}

Calcul de φ'_{40}

$$\varphi'_{40} = \frac{P_3 \times l_5^3}{24EI} + \frac{(P_4 - P_3) \times l_5^3}{45EI} = \frac{(7P_3 + 8P_4) \times l_5^3}{360EI} = \frac{(7 \times 4,29 + 8 \times 17,65) \times 2,2^3}{360EI}$$

$$\varphi'_{40} = \frac{5,06}{EI}$$

Calcul de φ''_{40}

$$\varphi''_{40} = \frac{-P_2 \times l_6^3}{24EI}$$

$$\varphi''_{40} = \frac{-34 \times 2,2^3}{24EI} = \frac{-15,08}{EI}$$

On obtient donc :

$$2,2M_3 + 2(2,2 + 2,2)M_4 + 2,2M_1 = 6EI \left[\frac{5,06}{EI} + \frac{15,08}{EI} \right]$$

$$2,2M_3 + 8,8M_4 + 2,2M_1 = 120,84 \quad (3)$$

Travée A4A1A2

Sur l'appui A₁ avec (i=1)

$$l_1M_4 + 2(l_1 + l_2)M_1 + l_2M_2 = 6EI[\varphi'_{10} - \varphi''_{10}]$$

Calcul de φ'_{10} et de φ''_{10}

Calcul de φ'_{10}

$$\varphi'_{10} = \frac{P_2 \times l_1^3}{24EI} = \frac{34 \times 2,2^3}{24EI}$$

$$\varphi'_{10} = \frac{15,08}{EI}$$

Calcul de φ''_{10}

$$\varphi''_{10} = -\frac{P_3 \times l_2^3}{24EI} - \frac{(P_4 - P_3) \times l_2^3}{45EI} = \frac{-(7P_3 + 8P_4) \times l_2^3}{360EI} = \frac{-(7 \times 4,29 + 8 \times 17,65) \times 2,2^3}{360EI}$$

$$\varphi''_{10} = \frac{-5,06}{EI}$$

On obtient donc :

$$l_1 M_6 + 2(l_1 + l_2)M_1 + l_2 M_2 = 6[15,08 + 5,06]$$

$$2,2M_4 + 8,8M_1 + 2,2M_2 = 120,84 \quad (4)$$

Nous obtenons donc le système d'équation suivant :

$$\begin{cases} 2,2M_1 + 8,8M_2 + 2,2M_3 = 78,60 & (1) \\ 2,2M_2 + 8,8M_3 + 2,2M_4 = 78,60 & (2) \\ 2,2M_3 + 8,8M_4 + 2,2M_1 = 120,84 & (3) \\ 2,2M_4 + 8,8M_1 + 2,2M_2 = 120,84 & (4) \end{cases}$$

Après résolution des différentes équations on obtient les moments suivants :

Récapitulatif des moments d'appuis sous les charges permanentes

Sollicitations des moments sur appuis en kN.m			
M_1	M_2	M_3	M_4
9,95	5,15	5,15	9,95

Moment en travée

Travée A1A2 (Chargement trapézoïdale)

$$M(x) = M_0(x) + M_1 + \frac{M_2 - M_1}{l_2} x$$

$$M_0(x) = -R_{A2}x + P_3 \times \frac{x^2}{2} + \left(\frac{P_4 - P_3}{6 \times l_2} \right) x^3$$

$$\sum M_{/A1} = 0 - P_3 \times l_2 \times \frac{l_2}{2} - \left(\frac{P_4 - P_3}{2} \right) l_2 \times \left(\frac{1}{3} \right) l_2 + R_{A2} l_2 = 0$$

$$R_{A2} = \frac{(2P_3 + P_4)}{6} \times l_2$$

$$R_{A2} + R_{A1} - P' = 0$$

$$R_{A2} + R_{A1} = \frac{(P_4 + P_3)}{2} \times l_2$$

$$R_{A1} = \frac{(P_4 + P_3)}{2} \times l_2 - R_{A2}$$

$$R_{A1} = \frac{(2P_4 + P_3)}{6} \times l_2$$

$$\begin{cases} R_{A2} = \frac{(2P_3 + P_4)}{6} \times l_2 \\ R_{A1} = \frac{(2P_4 + P_3)}{6} \times l_2 \end{cases}$$

$$R_{A2} = \frac{(2P_3 + P_4)}{6} \times l_2$$

On a donc :

$$R_{A2} = \frac{(2 \times 4,29 + 17,65)}{6} \times 2,2$$

$$R_{A2} = 9,62 \text{ kN}$$

$$M_0(x) = -9,62x + 4,29 \times \frac{x^2}{2} + \left(\frac{17,65 - 4,29}{6 \times 2,2} \right) x^3$$

$$M_0(x) = -9,62x + 2,15x^2 + 1,01x^3$$

$$M(x) = -9,62x + 2,15x^2 + 1,01x^3 + 9,95 + \frac{5,15-9,95}{2,2} x$$

$$M(x) = -9,62x + 2,15x^2 + 1,01x^3 + 9,95 - 2,18x$$

$$M(x) = -11,80x + 2,15x^2 + 1,01x^3 + 9,95$$

$$M(x) = 1,01x^3 + 2,15x^2 - 11,80x + 9,95$$

Travée A3A4(Chargement trapézoïdale)

$$M(x) = M_0(x) + M_3 + \frac{M_4 - M_3}{l_4} x$$

$$M_0(x) = -R_{A4}x + P_3 \times \frac{x^2}{2} + \left(\frac{P_4 - P_3}{6 \times l_5} \right) x^3$$

$$\sum M_{/A6} = 0$$

$$\text{On a donc: } \begin{cases} R_{A5} = \frac{(P_3 + 2P_4)}{6} \times l_5 \\ R_{A4} = \frac{(P_4 + 2P_3)}{6} \times l_5 \end{cases}$$

$$R_{A4} = \frac{(2P_3 + P_4)}{6} \times l_5$$

On a donc :

$$R_{A4} = \frac{(2 \times 4,29 + 17,65)}{6} \times 2,2$$

$$R_{A6} = 9,62 \text{ kN}$$

$$M_0(x) = -9,62x + 4,29 \times \frac{x^2}{2} + \left(\frac{17,65 - 4,29}{6 \times 2,2} \right) x^3$$

$$M_0(x) = -9,62x + 2,15x^2 + 1,01x^3$$

$$M(x) = -9,62x + 2,15x^2 + 1,01x^3 + 5,15 + \frac{9,95-5,15}{2,2} x$$

$$M(x) = -9,62x + 2,15x^2 + 1,01x^3 + 5,15 + 2,18x$$

$$M(x) = -7,44x + 2,15x^2 + 1,01x^3 + 5,15$$

$$M(x) = 1,01x^3 + 2,15x^2 - 7,44x + 5,15$$

Moments en travées au niveau des pérodroits

Travées	A1-A2	A4-A5
Moments mi-travée (KN.m)	0,92	0.92

▪ **Calcul des réactions d'appuis et efforts normaux**

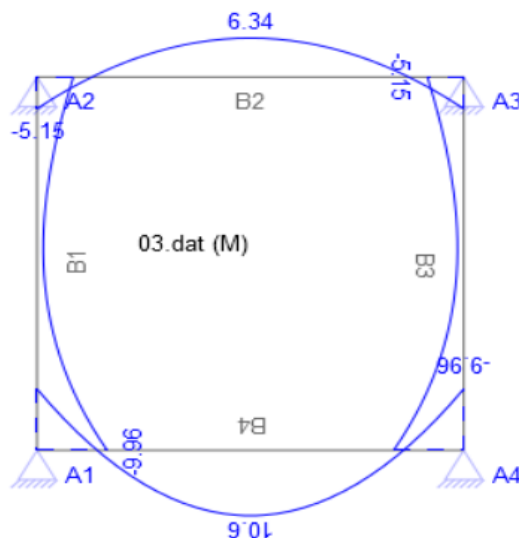
Sur le tablier

$$R_{A2} = R_{A2} = \frac{P_1 \times l_3}{2} - \frac{M_3 - M_2}{L_3} = \frac{19 \times 2,2}{2} - \frac{5,15 - 5,15}{2,2} = 20,90 \text{ kN}$$

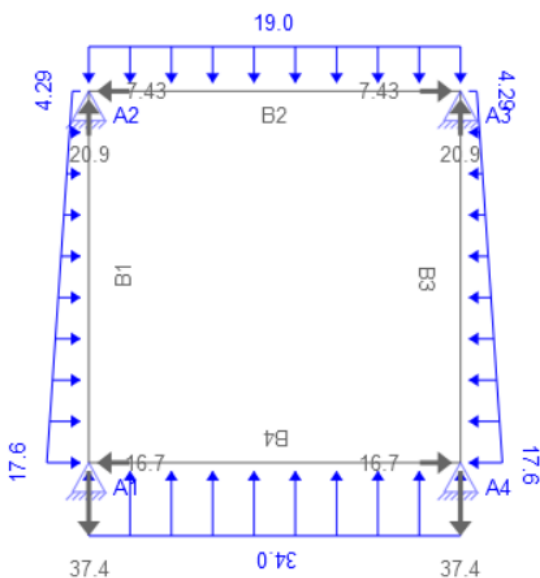
Sur le radier

$$R_{A2} = R_{A3} = 20,90 \text{ kN}$$

$$R_{A4} = R_{A1} = \frac{P_2 \times l_1}{2} = \frac{34 \times 2,2}{2} = 37,40 \text{ kN}$$



Résultats des moments obtenus en appliquant les charges permanentes



Résultats des réactions d'appuis sous les charges permanentes

Sous les charges d'exploitation hors états limites

Désignation	Tablier	Radier	Piédroits
Système A(L)	31,88	31,88	-
Sous-système Bc	84,10	80,42	-
Sous-système Bc-Niger	88,32	84,28	-
Sous-système Br	64,14	61,21	-
Sous-système Bt	97,14	92,29	-
Sous charges militaires MC120	78,46	73,98	-
Surcharge q	-	-	3,96
Max (surcharge) (KN/m²)	97,14	92,29	3,96

Soit Q_1 la charge sur le tablier, Q_2 la charge sur le radier, et $Q_3=Q_4$ la charge sur les piédroits externes.

Moment sur appuis

Pour la détermination des différents moments nous allons appliquer le théorème des trois (03) moments.

$$l_i M_{i-1} + 2(l_i + l_{i+1})M_i + l_{i+1}M_{i+1} = 6EI[\varphi'_{i0} - \varphi''_{i0}]$$

Travée A1A2A3

Sur l'appui A₂ avec (i=2)

$$l_2 M_1 + 2(l_2 + l_3)M_2 + l_3 M_3 = 6EI[\varphi'_{20} - \varphi''_{20}]$$

Calcul de φ'_{20} et de φ''_{20}

Calcul de φ'_{20}

$$\varphi'_{20} = \frac{Q_3 \times l_2^3}{24EI}$$

$$\varphi'_{20} = \frac{3,96 \times 2,2^3}{24EI}$$

$$\varphi'_{20} = \frac{1,76}{EI}$$

Calcul de φ''_{20}

$$\varphi''_{20} = \frac{-Q_1 \times l_3^3}{24EI}$$

$$\varphi''_{20} = \frac{-97,14 \times 2,2^3}{24EI}$$

$$\varphi''_{20} = \frac{-43,10}{EI}$$

On obtient donc :

$$l_2 M_1 + 2(l_2 + l_3)M_2 + l_3 M_3 = 6EI \left[\frac{1,76}{EI} - \left(\frac{-43,10}{EI} \right) \right]$$

$$l_2 M_1 + 2(l_2 + l_3)M_2 + l_3 M_3 = 6[1,76 + 43,10]$$

$$2,2M_1 + 2(2,2 + 2,2)M_2 + 2,2M_3 = 6[1,76 + 43,10]$$

$$\boxed{2,2M_1 + 8,8M_2 + 2,2M_3 = 269,16} \quad (1)$$

Travée A2A3A4

Sur l'appui A₃ avec (i=3)

$$l_3 M_2 + 2(l_3 + l_4)M_3 + l_4 M_4 = 6EI[\varphi'_{30} - \varphi''_{30}]$$

Calcul de φ'_{30} et de φ''_{30}

Calcul de φ'_{30}

$$\varphi'_{30} = \frac{Q_1 \times l_3^3}{24EI} = \frac{97,14 \times 2,2^3}{24EI}$$

$$\varphi'_{30} = \frac{43,10}{EI}$$

Calcul de φ''_{30}

$$\varphi''_{30} = -\frac{Q_3 \times l_2^3}{24EI} = \frac{-(3,96) \times 2,2^3}{24EI}$$

$$\varphi''_{40} = \frac{-1,76}{EI}$$

On obtient donc :

$$2,2M_2 + 2(2,2 + 2,2)M_3 + 2,2M_4 = 6[43,10 + 1,76]$$

$$\boxed{2,2M_2 + 8,8M_3 + 2,2M_4 = 269,16} \quad (2)$$

Travée A3A4A1

Sur l'appui A₆ avec (i=4)

$$l_4M_3 + 2(l_4 + l_1)M_4 + l_1M_1 = 6EI[\varphi'_{40} - \varphi''_{40}]$$

Calcul de φ'_{40} et de φ''_{40}

Calcul de φ'_{40}

$$\varphi'_{40} = \frac{Q_3 \times l_4^3}{24EI} = \frac{(3,96) \times 2,2^3}{24EI}$$

$$\varphi'_{40} = \frac{1,76}{EI}$$

Calcul de φ''_{40}

$$\varphi''_{40} = \frac{-P_2 \times l_1^3}{24EI}$$

$$\varphi''_{40} = \frac{-92,29 \times 2,2^3}{24EI} = \frac{-40,95}{EI}$$

On obtient donc :

$$2,2M_3 + 2(2,2 + 2,2)M_4 + 2,2M_1 = 6EI\left[\frac{1,76}{EI} + \frac{40,95}{EI}\right]$$

$$\boxed{2,2M_3 + 8,8M_4 + 2,2M_1 = 256,26} \quad (3)$$

Travée A4A1A2

Sur l'appui A₁ avec (i=1)

$$l_1M_4 + 2(l_1 + l_2)M_1 + l_2M_2 = 6EI[\varphi'_{10} - \varphi''_{10}]$$

Calcul de φ'_{10} et de φ''_{10}

Calcul de φ'_{10}

$$\varphi'_{10} = \frac{Q_2 \times l_1^3}{24EI} = \frac{92,29 \times 2,2^3}{24EI}$$

$$\varphi'_{10} = \frac{40,95}{EI}$$

Calcul de φ''_{10}

$$\varphi''_{10} = -\frac{Q_3 \times l_2^3}{24EI} = \frac{-(3,96) \times 2,2^3}{24EI}$$

$$\varphi''_{10} = \frac{-1,76}{EI}$$

On obtient donc :

$$l_1 M_6 + 2(l_1 + l_2)M_1 + l_2 M_2 = 6[40,95 + 1,76]$$

$$2,2M_4 + 8,8M_1 + 2,2M_2 = 256,26 \quad (4)$$

Nous obtenons donc le système d'équation suivant :

$$\begin{cases} 2,2M_1 + 8,8M_2 + 2,2M_3 = 269,16 & (1) \\ 2,2M_2 + 8,8M_3 + 2,2M_4 = 269,16 & (2) \\ 2,2M_3 + 8,8M_4 + 2,2M_1 = 256,26 & (3) \\ 2,2M_4 + 8,8M_1 + 2,2M_2 = 256,26 & (4) \end{cases}$$

Après résolution des différentes équations on obtient les moments suivants :

Récapitulatif des moments d'appuis sous les charges d'exploitations hors états limites

Sollicitations des moments sur appuis en kN.m			
M_1	M_2	M_3	M_4
19,17	20,64	20,64	19,17

Moment en travée

Travée A1A2 (Chargement uniformément réparti)

$$M(x) = M_0(x) + M_1 + \frac{M_2 - M_1}{l_2} x$$

$$M_0(x) = -R_{A2}x + Q_3 \times \frac{x^2}{2}$$

$$R_{A2} = \frac{(Q_3)}{2} \times l_2$$

On a donc :

$$R_{A2} = \frac{(3,96)}{2} \times 2,2$$

$$R_{A2} = 4,36 \text{ KN}$$

$$M_0(x) = -4,36x + 3,96 \times \frac{x^2}{2}$$

$$M_0(x) = -4,36x + 1,98x^2$$

$$M(x) = -4,36x + 1,98x^2 + 19,17 + \frac{20,64 - 19,17}{2,2} x$$

$$M(x) = -4,36x + 1,98x^2 + 19,17 + 0,67x$$

$$M(x) = -3,69x + 1,98x^2 + 19,17$$

$$M(x) = 1,98x^2 - 3,69x + 19,17$$

Travée A3A4(Chargement uniformément réparti)

$$M(x) = M_0(x) + M_3 + \frac{M_4 - M_3}{l_4} x$$

$$M_0(x) = -R_{A3}x + Q_3 \times \frac{x^2}{2}$$

$$R_{A3} = \frac{(Q_3)}{2} \times l_2$$

On a donc :

$$R_{A6} = \frac{(3,96)}{2} \times 2,$$

$$R_{A6} = 4,36 \text{ KN}$$

$$M_0(x) = -4,36x + 3,96 \times \frac{x^2}{2}$$

$$M_0(x) = -4,36x + 1,98x^2$$

$$M(x) = -4,36x + 1,98x^2 + 20,64 + \frac{19,17-20,64}{2,2} x$$

$$M(x) = -4,36x + 1,98x^2 + 20,64 - 0,67x$$

$$M(x) = -5,03x + 1,98x^2 + 20,64$$

$$M(x) = 1,98x^2 - 5,03x + 20,64$$

Moment en travées au niveau des pîdroits sous les charges d'exploitations hors états limites

Travées	A1-A2	A4-A5
Moments mi-travée (KN.m)	17,50	17,50

▪ **Calcul des réactions d'appuis et efforts normaux**

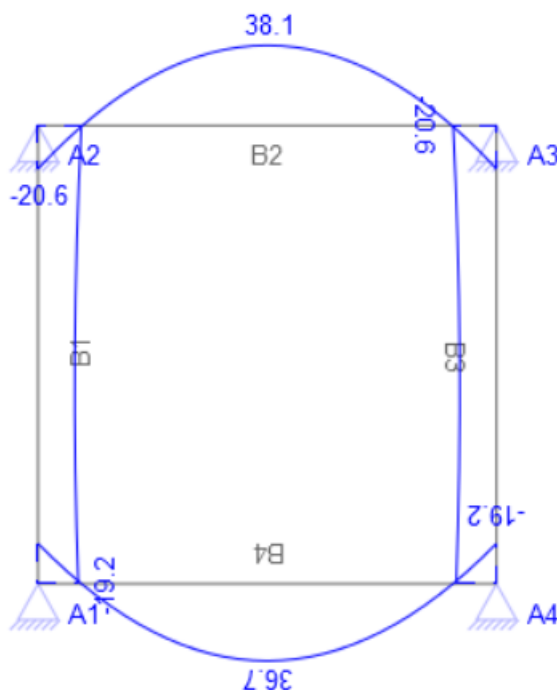
Sur le tablier

$$R_{A2} = \frac{Q_1 \times l_3}{2} = \frac{97,14 \times 2,2}{2} = 106,85 \text{ kN}$$

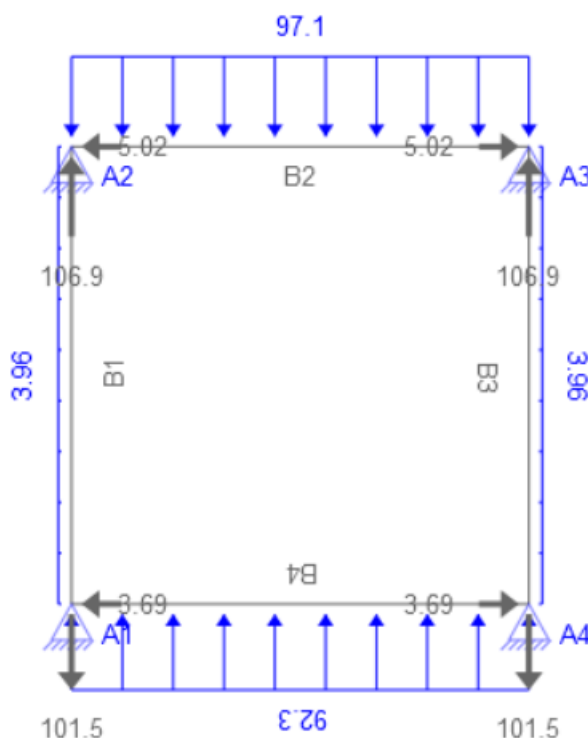
$$R_{A2} = R_{A3} = 106,85 \text{ kN}$$

Sur le radier

$$R_{A4} = R_{A1} = \frac{Q_2 \times l_1}{2} = \frac{92,29 \times 2,2}{2} = 101,52 \text{ kN}$$



Résultats des moments sous les charges d'exploitations hors états limites



Résultat des réactions d'appuis sous les charges d'exploitations hors états limites

Sous la combinaison des charges à l'ELS

Charges totales :

Soit P'_1 la charge totale sur le tablier

$$P'_1 = P_1 + Q_{max \text{ tablier}}$$

$$P'_1 = 19 + 116,54$$

$$P'_1 = 135,54 \text{ KN/m}^2$$

Soit P'_2 la charge totale sur le radier

$$P'_2 = P_2 + Q_{max \text{ radier}}$$

$$P'_2 = 34 + 110,77$$

$$P'_2 = 144,77 \text{ KN/m}^2$$

Soit P'_3 et P'_4 la charge totale sur les piédroits

$$P'_3 = P_3 + q_{\text{surchage remblai}}$$

$$P'_3 = 4,29 + 3,96$$

$$P'_3 = 8,25 \text{ KN/m}^2$$

$$P'_4 = P_4 + q_{\text{surchage remblai}}$$

$$P'_4 = 17,65 + 3,96$$

$$P'_4 = 21,26 \text{ KN/m}^2$$

Calcul des sollicitations

Moment sur appuis

Pour la détermination des différents moments nous allons appliquer le théorème des trois (03) moments.

$$l_i M_{i-1} + 2(l_i + l_{i+1})M_i + l_{i+1}M_{i+1} = 6EI[\varphi'_{i0} - \varphi''_{i0}]$$

Travée A1A2A3

Sur l'appui A₂ avec (i=2)

$$l_2 M_1 + 2(l_2 + l_3)M_2 + l_3 M_3 = 6EI[\varphi'_{20} - \varphi''_{20}]$$

Calcul de φ'_{20} et de φ''_{20}

Calcul de φ'_{20}

$$\varphi'_{20} = \frac{7(P'_4 - P'_3)l_2^3}{360EI} + \frac{P'_3 \times l_2^3}{24EI}$$

$$\varphi'_{20} = \frac{(8P'_3 + 7P'_4)l_2^3}{360EI}$$

$$\varphi'_{20} = \frac{(8 \times 8,25 + 7 \times 21,26) \times 2,2^3}{360EI}$$

$$\varphi'_{20} = \frac{6,35}{EI}$$

Calcul de φ''_{20}

$$\varphi''_{20} = \frac{-P'_1 \times l_3^3}{24EI}$$

$$\varphi''_{20} = \frac{-135,54 \times 2,2^3}{24EI}$$

$$\varphi''_{20} = \frac{-60,14}{EI}$$

On obtient donc :

$$l_2 M_1 + 2(l_2 + l_3)M_2 + l_3 M_3 = 6EI \left[\frac{6,35}{EI} - \left(\frac{-60,14}{EI} \right) \right]$$

$$l_2 M_1 + 2(l_2 + l_3)M_2 + l_3 M_3 = 6[6,35 + 60,14]$$

$$2,2M_1 + 2(2,2 + 2,2)M_2 + 2M_3 = 6[6,35 + 60,14]$$

$$\boxed{2,2M_1 + 8,8M_2 + 2,2M_3 = 398,94} \quad (1)$$

Travée A2A3A4

Sur l'appui A₃ avec (i=3)

$$l_3 M_2 + 2(l_3 + l_4)M_3 + l_4 M_4 = 6EI[\varphi'_{30} - \varphi''_{30}]$$

Calcul de φ'_{30} et de φ''_{30}

Calcul de φ'_{30}

$$\varphi'_{30} = \frac{P'_1 \times l_3^3}{24EI} = \frac{135,54 \times 2,2^3}{24EI}$$

$$\varphi'_{30} = \frac{60,14}{EI}$$

Calcul de φ''_{30}

$$\varphi''_{30} = \frac{-P'_3 \times l_5^3}{24EI} - \frac{7(P'_4 - P'_3) \times l_4^3}{360EI}$$

$$\varphi''_{30} = \frac{-(8P'_3 + 7P'_4) \times l_4^3}{360EI}$$

$$\varphi''_{30} = \frac{-(8 \times 8,25 + 7 \times 21,26) \times 2,2^3}{360EI}$$

$$\varphi''_{30} = \frac{-6,35}{EI}$$

On obtient donc :

$$2,2M_2 + 2(2,2 + 2,2)M_3 + 2,2M_4 = 6[60,14 + 6,35]$$

$$\boxed{2,2M_2 + 8,8M_3 + 2,2M_4 = 398,94} \quad (2)$$

Travée A3A4A1

Sur l'appui A₆ avec (i=4)

$$l_4M_3 + 2(l_4 + l_1)M_4 + l_1M_1 = 6EI[\varphi'_{40} - \varphi''_{40}]$$

Calcul de φ'_{40} et de φ''_{40}

Calcul de φ'_{40}

$$\varphi'_{40} = \frac{P'_3 \times l_4^3}{24EI} + \frac{(P'_4 - P'_3) \times l_4^3}{45EI} = \frac{(7P'_3 + 8P'_4) \times l_4^3}{360EI} = \frac{(7 \times 8,25 + 8 \times 21,26) \times 2,2^3}{360EI}$$

$$\varphi'_{40} = \frac{6,74}{EI}$$

Calcul de φ''_{40}

$$\varphi''_{40} = \frac{-P'_2 \times l_1^3}{24EI}$$

$$\varphi''_{40} = \frac{-144,77 \times 2,2^3}{24EI} = \frac{-64,23}{EI}$$

On obtient donc :

$$2,2M_3 + 2(2,2 + 2,2)M_4 + 2,2M_1 = 6EI\left[\frac{6,74}{EI} + \frac{64,23}{EI}\right]$$

$$\boxed{2,2M_3 + 8,8M_4 + 2,2M_1 = 425,82} \quad (3)$$

Travée A4A1A2

Sur l'appui A₁ avec (i=1)

$$l_1M_4 + 2(l_1 + l_2)M_1 + l_2M_2 = 6EI[\varphi'_{10} - \varphi''_{10}]$$

Calcul de φ'_{10} et de φ''_{10}

Calcul de φ'_{10}

$$\varphi'_{10} = \frac{P'_2 \times l_1^3}{24EI} = \frac{144,77 \times 2,2^3}{24EI}$$

$$\varphi'_{10} = \frac{64,23}{EI}$$

Calcul de φ''_{10}

$$\varphi''_{10} = -\frac{P'_3 \times l_2^3}{24EI} - \frac{(P'_4 - P'_3) \times l_2^3}{45EI} = \frac{-(7P'_3 + 8P'_4) \times l_2^3}{360EI} = \frac{-(7 \times 8,25 + 8 \times 21,26) \times 2,2^3}{360EI}$$

$$\varphi''_{10} = \frac{-6,74}{EI}$$

On obtient donc :

$$l_1 M_6 + 2(l_1 + l_2)M_1 + l_2 M_2 = 6[64,23 + 6,74]$$

$$\boxed{2,2M_4 + 8,8M_1 + 2,2M_2 = 425,82} \quad (4)$$

Nous obtenons donc le système d'équation suivant :

$$\begin{cases} 2,2M_1 + 8,8M_2 + 2,2M_3 = 398,94 & (1) \\ 2,2M_2 + 8,8M_3 + 2,2M_4 = 398,94 & (2) \\ 2,2M_3 + 8,8M_4 + 2,2M_1 = 425,82 & (3) \\ 2,2M_4 + 8,8M_1 + 2,2M_2 = 425,82 & (4) \end{cases}$$

Après résolution des différentes équations on obtient les moments suivants :

Récapitulatif des moments d'appuis sous la combinaison des charges

Sollicitations des moments sur appuis en kN.m			
M_1	M_2	M_3	M_4
32,77	29,71	29,71	32,77

▪ Moment en travée

Travée A1A2 (Chargement trapézoïdale)

$$M(x) = M_0(x) + M_1 + \frac{M_2 - M_1}{l_2} x$$

$$M_0(x) = -R_{A2}x + P'_3 \times \frac{x^2}{2} + \left(\frac{P'_4 - P'_3}{6 \times l_2} \right) x^3$$

$$\sum M_{/A1} = 0 - P_3 \times l_2 \times \frac{l_2}{2} - \left(\frac{P'_4 - P'_3}{2} \right) l_2 \times \left(\frac{1}{3} \right) l_2 + R_{A2} l_2 = 0$$

$$R_{A2} = \frac{(2P'_3 + P'_4)}{6} \times l_2$$

$$R_{A2} + R_{A1} - P' = 0$$

$$R_{A2} + R_{A1} = \frac{(P'_4 + P'_3)}{2} \times l_2$$

$$R_{A1} = \frac{(P'_4 + P'_3)}{2} \times l_2 - R_{A2}$$

$$R_{A1} = \frac{(2P'_4 + P'_3)}{6} \times l_2$$

$$\begin{cases} R_{A2} = \frac{(2P'_3 + P'_4)}{6} \times l_2 \\ R_{A1} = \frac{(2P'_4 + P'_3)}{6} \times l_2 \end{cases}$$

$$R_{A2} = \frac{(2P'_3 + P'_4)}{6} \times l_2$$

On a donc :

$$R_{A2} = \frac{(2 \times 8,25 + 21,26)}{6} \times 2,2$$

$$R_{A2} = 13,85 \text{ kN}$$

$$M_0(x) = -13,85x + 8,25 \times \frac{x^2}{2} + \left(\frac{21,26 - 8,25}{6 \times 2,2} \right) x^3$$

$$M_0(x) = -13,85x + 4,13x^2 + 0,99x^3$$

$$M(x) = -13,85x + 4,13x^2 + 0,99x^3 + 32,77 + \frac{29,71-32,77}{2,2}x$$

$$M(x) = -13,85x + 4,13x^2 + 0,99x^3 + 32,77 - 1,39x$$

$$M(x) = -15,24x + 4,13x^2 + 0,99x^3 + 32,77$$

$$M(x) = 0,99x^3 + 4,13x^2 - 15,24x + 32,77$$

Travée A3A4(Chargement trapézoïdale)

$$M(x) = M_0(x) + M_3 + \frac{M_4-M_3}{l_4}x$$

$$M_0(x) = -R_{A3}x + P'_3 \times \frac{x^2}{2} + \left(\frac{P'_4 - P'_3}{6 \times l_4} \right) x^3$$

$$\sum M_{/A4} = 0$$

$$\text{On a donc: } \begin{cases} R_{A5} = \frac{(P'_3 + 2P'_4)}{6} \times l_5 \\ R_{A4} = \frac{(P'_4 + 2P'_3)}{6} \times l_5 \end{cases}$$

$$R_{A4} = \frac{(2P'_3 + P'_4)}{6} \times l_5$$

On a donc :

$$R_{A2} = \frac{(2 \times 8,25 + 21,26)}{6} \times 2,2$$

$$R_{A2} = 13,85 \text{ kN}$$

$$M_0(x) = -13,85x + 8,25 \times \frac{x^2}{2} + \left(\frac{21,26 - 8,25}{6 \times 2,2} \right) x^3$$

$$M_0(x) = -13,85x + 4,13x^2 + 0,99x^3$$

$$M(x) = -13,85x + 4,13x^2 + 0,99x^3 + 29,71 + \frac{32,77-29,71}{2,2}x$$

$$M(x) = -13,85x + 4,13x^2 + 0,99x^3 + 29,71 + 1,39x$$

$$M(x) = -12,46x + 4,13x^2 + 0,99x^3 + 29,71$$

$$M(x) = 0,99x^3 + 4,13x^2 - 12,46x + 29,71$$

Travée A2A3 (Chargement uniformément réparti)

$$M(x) = M_0(x) + M_2 + \frac{M_3 - M_2}{l_3} x$$

$$M_0(x) = -R_{A2}x + P'_1 \times \frac{x^2}{2}$$

$$R_{A2} = \frac{(P'_1)}{2} \times l_3$$

$$R_{A2} = \frac{(135,54)}{2} \times 2,2 = 149,10 \text{ kN/ml}$$

$$M_0(x) = -149,10x + 135,54 \times \frac{x^2}{2}$$

$$M_0(x) = -149,10x + 67,77x^2$$

$$M(x) = -149,10x + 67,77x^2 + 29,71 + \frac{29,71 - 29,71}{2,2} x$$

$$M(x) = -149,10x + 67,77x^2 + 29,71$$

$$M(x) = 67,77x^2 - 149,10x + 29,71$$

Travée A4A1 (Chargement uniformément réparti)

$$M(x) = M_0(x) + M_4 + \frac{M_4 - M_1}{l_1} x$$

$$M_0(x) = -R_{A2}x + P'_1 \times \frac{x^2}{2}$$

$$R_{A2} = \frac{(P'_1)}{2} \times l_3$$

$$R_{A2} = \frac{(144,77)}{2} \times 2,2 = 159,25 \text{ kN/ml}$$

$$M_0(x) = -159,25x + 144,77 \times \frac{x^2}{2}$$

$$M_0(x) = -159,25x + 72,39x^2$$

$$M(x) = -159,25x + 72,39x^2 + 32,77 + \frac{32,77-32,77}{2,2}x$$

$$M(x) = -159,25x + 72,39x^2 + 32,77$$

$$M(x) = 72,39x^2 - 159,25x + 32,77$$

Travée A1A2 (Chargement trapézoïdale)

$$M(x) = M_0(x) + M_1 + \frac{M_2-M_1}{l_2}x$$

$$M_0(x) = -R_{A2}x + P'_3 \times \frac{x^2}{2} + \left(\frac{P'_4 - P'_3}{6 \times l_2} \right) x^3$$

$$\sum M_{/A1} = 0 - P_3 \times l_2 \times \frac{l_2}{2} - \left(\frac{P'_4 - P'_3}{2} \right) l_2 \times \left(\frac{1}{3} \right) l_2 + R_{A2}l_2 = 0$$

$$R_{A2} = \frac{(2P'_3 + P'_4)}{6} \times l_2$$

$$R_{A2} + R_{A1} - P' = 0$$

$$R_{A2} + R_{A1} = \frac{(P'_4 + P'_3)}{2} \times l_2$$

$$R_{A1} = \frac{(P'_4 + P'_3)}{2} \times l_2 - R_{A2}$$

$$R_{A1} = \frac{(2P'_4 + P'_3)}{6} \times l_2$$

$$\begin{cases} R_{A2} = \frac{(2P'_3 + P'_4)}{6} \times l_2 \\ R_{A1} = \frac{(2P'_4 + P'_3)}{6} \times l_2 \end{cases}$$

$$R_{A2} = \frac{(2P'_3 + P'_4)}{6} \times l_2$$

On a donc :

$$R_{A2} = \frac{(2 \times 8,25 + 21,26)}{6} \times 2,2$$

$$R_{A2} = 13,85 \text{ kN}$$

$$M_0(x) = -13,85x + 8,25 \times \frac{x^2}{2} + \left(\frac{21,26 - 8,25}{6 \times 2,2} \right) x^3$$

$$M_0(x) = -13,85x + 4,13x^2 + 0,99x^3$$

$$M(x) = -13,85x + 4,13x^2 + 0,99x^3 + 32,77 + \frac{29,71-32,77}{2,2}x$$

$$M(x) = -13,85x + 4,13x^2 + 0,99x^3 + 32,77 - 1,39x$$

$$M(x) = -15,24x + 4,13x^2 + 0,99x^3 + 32,77$$

$$M(x) = 0,99x^3 + 4,13x^2 - 15,24x + 32,77$$

Travée A3A4(Chargement trapézoïdale)

$$M(x) = M_0(x) + M_3 + \frac{M_4 - M_3}{l_4}x$$

$$M_0(x) = -R_{A3}x + P'_3 \times \frac{x^2}{2} + \left(\frac{P'_4 - P'_3}{6 \times l_4} \right) x^3$$

$$\sum M_{/A4} = 0$$

$$\text{On a donc: } \begin{cases} R_{A5} = \frac{(P'_3 + 2P'_4)}{6} \times l_5 \\ R_{A4} = \frac{(P'_4 + 2P'_3)}{6} \times l_5 \end{cases}$$

$$R_{A4} = \frac{(2P'_3 + P'_4)}{6} \times l_5$$

On a donc :

$$R_{A2} = \frac{(2 \times 8,25 + 21,26)}{6} \times 2,2$$

$$R_{A2} = 13,85 \text{ kN}$$

$$M_0(x) = -13,85x + 8,25 \times \frac{x^2}{2} + \left(\frac{21,26 - 8,25}{6 \times 2,2} \right) x^3$$

$$M_0(x) = -13,85x + 4,13x^2 + 0,99x^3$$

$$M(x) = -13,85x + 4,13x^2 + 0,99x^3 + 29,71 + \frac{32,77-29,71}{2,2}x$$

$$M(x) = -13,85x + 4,13x^2 + 0,99x^3 + 29,71 + 1,39x$$

$$M(x) = -12,46x + 4,13x^2 + 0,99x^3 + 29,71$$

$$M(x) = 0,99x^3 + 4,13x^2 - 12,46x + 29,71$$

Travée A2A3 (Chargement uniformément réparti)

$$M(x) = M_0(x) + M_2 + \frac{M_3 - M_2}{l_3}x$$

$$M_0(x) = -R_{A2}x + P'_1 \times \frac{x^2}{2}$$

$$R_{A2} = \frac{(P'_1)}{2} \times l_3$$

$$R_{A2} = \frac{(135,54)}{2} \times 2,2 = 149,10 \text{ kN/ml}$$

$$M_0(x) = -149,10x + 135,54 \times \frac{x^2}{2}$$

$$M_0(x) = -149,10x + 67,77x^2$$

$$M(x) = -149,10x + 67,77x^2 + 29,71 + \frac{29,71-29,71}{2,2}x$$

$$M(x) = -149,10x + 67,77x^2 + 29,71$$

$$M(x) = 67,77x^2 - 149,10x + 29,71$$

Travée A4A1 (Chargement uniformément réparti)

$$M(x) = M_0(x) + M_4 + \frac{M_4 - M_1}{l_1} x$$

$$M_0(x) = -R_{A2}x + P'_1 \times \frac{x^2}{2}$$

$$R_{A2} = \frac{(P'_1)}{2} \times l_3$$

$$R_{A2} = \frac{(144,77)}{2} \times 2,2 = 159,25 \text{ kN/ml}$$

$$M_0(x) = -159,25x + 144,77 \times \frac{x^2}{2}$$

$$M_0(x) = -159,25x + 72,39x^2$$

$$M(x) = -159,25x + 72,39x^2 + 32,77 + \frac{32,77-32,77}{2,2} x$$

$$M(x) = -159,25x + 72,39x^2 + 32,77$$

$$M(x) = 72,39x^2 - 159,25x + 32,77$$

Récapitulatif des moments sous la combinaison des charges

Travées	A1-A2	A2-A3	A3-A4	A4-A1
Moments mi-travée (KN.m)	22,32	52,30	22,32	54,81
Appuis	A1	A2	A3	A4
Moments sur appuis (KN.m)	32,77	29,71	29,71	32,77

▪ Calcul des réactions d'appuis et efforts normaux

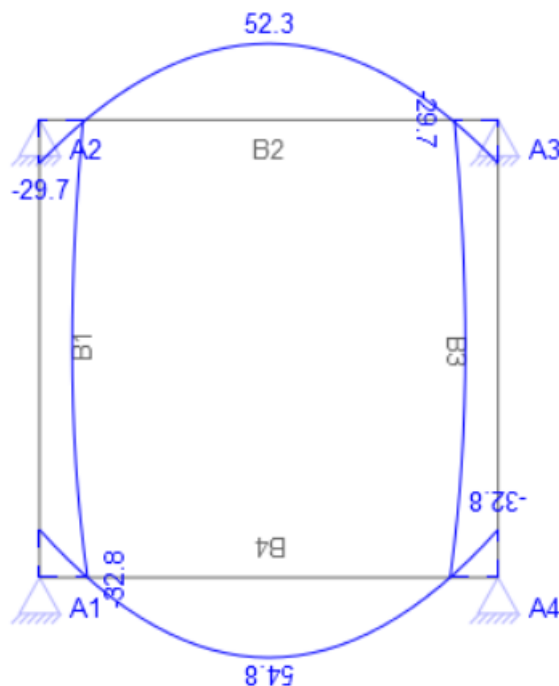
Sur le tablier

$$R_{A2} = \frac{P'_1 \times l_3}{2} = \frac{135,54 \times 2,2}{2} = 149,10 \text{ kN}$$

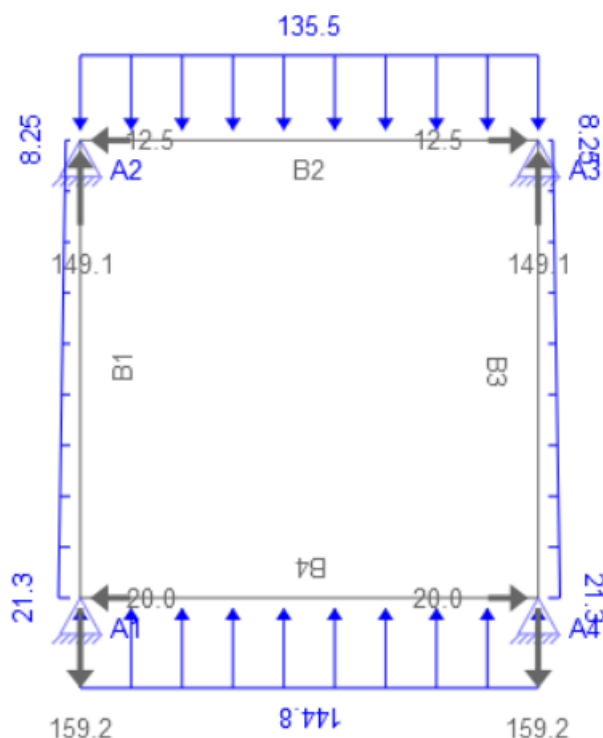
$$R_{A2} = R_{A3} = 149,10 \text{ kN}$$

Sur le radier

$$R_{A4} = R_{A1} = \frac{P_{r2} \times l_1}{2} = \frac{144,77 \times 2,2}{2} = 159,25 \text{ kN}$$



Résultat des moments sous la combinaison des charges



Résultat des réactions d'appuis sous la combinaison des charges

Calcul de la section d'armature du tablier

Le calcul des sections d'armature du tablier seront calculées en flexion simple :

- masse volumique du béton : 2,5 t/m³ ;
- résistance à la compression à 28 jours : $f_{c28} = 25$ MPa pour les ouvrages en béton armé,
- résistance à la traction à 28 jours : $f_{t28} = 0,6 + 0,06 \times f_{c28} = 2,1$ MPa ;
- nuance : Fe E400 ;
- coefficient de fissuration : $\eta = 1,6$;
- contrainte de calcul à l'ELS : $\bar{\sigma}_{st} = \min \left(\frac{2f_e}{3}; \max \left(\frac{1}{2} f_e; 110\sqrt{\eta f_{t28}} \right) \right) = 201,63$ Mpa

la contrainte admissible (limite) du béton en compression à l'ELS = $\bar{\sigma}_{bc} = 0,6 \times f_{c28} = 15$ MPa

$$d = 0,9 \times h$$

$$d = 0,9 \times 0,2 = 0,18 \text{ m}$$

Calcul de $\bar{\alpha}_{ser}$

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

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63} = 0,53$$

Fibre neutre

$$\bar{Y}_{ser} = \bar{\alpha}_{ser} \times d = 0,53 \times 0,18 = 0,0954m$$

Bras de levier

$$\bar{Z}_{ser} = d \times \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right)$$

$$\bar{Z}_{ser} = 0,18 \times \left(1 - \frac{0,53}{3}\right)$$

$$\bar{Z}_{ser} = 0,148 m$$

Moment résistant

$$M_{serb} = 0,5 \times \bar{\sigma}_{bc} \times b_0 \times d^2 \times \bar{\alpha}_{ser} \times \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right)$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 15 \times 1 \times 0,18^2 \times 0,53 \times \left(1 - \frac{0,53}{3}\right)$$

$$M_{serb} = 105,63 KN.m = 0,10563MN.m$$

➤ Calcul de la section d'acier sur les travées A2-A3

$$M_{ser} = 52,30 kN.m$$

$M_{serb} > M_{ser}$ donc il ya pas d'aciers comprimés,

Dans ce cas, on détermine seulement qu'une section d'acier tendu (A_{st}) et pas besoin de section d'acier comprimé ($A_{sc} = 0$)

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{\bar{Z}_{ser} \times \bar{\sigma}_{st}}$$

$$A_{st} = \frac{52,30 \times 10^{-3}}{0,148 \times 201,63} \times 10^4 = 17,48 \text{ cm}^2$$

Section d'acier minimale

$$A_{min} = 0,23 \times b_0 \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0,23 \times 100 \times 18 \times \frac{2,1}{400} = 2,17 \text{ cm}^2$$

$A_{st} > A_{min}$ donc $A_s = A_{st} = 17,48 \text{ cm}^2$

$$A_{st/f} = \frac{A_{st}}{2} = \frac{17,48}{2} = 8,74 \text{ cm}^2$$

Choix des aciers : Il convient de prendre **6HA14** de section **9,24 cm²** remplissant la section d'acier théorique de **8,74 cm²/face** avec un espacement de **15 cm**.

Aciers de répartitions

$$A_{r/f} = \frac{A_{st/f}}{2} = \frac{8,74}{2} = 4,37 \text{ cm}^2$$

Choix des aciers : Il convient de prendre **6HA10** de section **4,71 cm²** remplissant la section d'acier théorique de **4,37 cm²/face** avec un espacement de **15 cm**.

- **Calcul de la section d'acier sur les appuis A₂, A₃**
- **Au niveau des appuis de rive A₂, A₃**

$$M_{ser} = 29,71 \text{ kN.m}$$

$M_{serb} > M_{ser}$ donc il ya pas d'aciers comprimés,

Dans ce cas, on détermine seulement qu'une section d'acier tendu (A_{st}) et pas besoin de section d'acier comprimé ($A_{sc} = 0$)

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{\bar{Z}_{ser} \times \bar{\sigma}_{st}}$$

$$A_{st} = \frac{29,71 \times 10^{-3}}{0,148 \times 201,63} \times 10^4 = 9,93 \text{ cm}^2$$

Section d'acier minimale

$$A_{min} = 0,23 \times b_0 \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0,23 \times 100 \times 18 \times \frac{2,1}{400} = 2,17 \text{ cm}^2$$

$$A_{st} > A_{min} \text{ donc } A_s = A_{st} = 9,93 \text{ cm}^2$$

Choix des aciers : Il convient de prendre **6HA14** de section **9,24 cm²** par face remplissant la section théorique de **9,93 cm²** avec un espacement de **15 cm**. Pour une bonne homogénéité des armatures du tablier

Calcul de la section d'armature des piédroits

❖ Calcul des armatures au niveau des piédroits de rive

Calcul à l'ELS

$$M_{ser} = 22,32 \text{ KN.m}$$

$$N_{ser} = 149,10 \text{ KN}$$

A l'ELS on a :

$$\begin{cases} N_{ser} = 149,10 \text{ KN} \\ M_{ser} = 22,32 \text{ KN.m} \\ e_1 = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} = \frac{22,32}{149,10} = 0,150 \text{ m} \end{cases}$$

Excentricité additionnelle

$$e_a = \max \left\{ \frac{2 \text{ cm}}{\frac{H}{250}} \right\} = \max \left\{ \frac{2 \text{ cm}}{\frac{220}{250}} = 0,88 \right\} = 2 \text{ cm} = 0,02 \text{ m}$$

$$e_2 = \frac{3 \times l_f^2}{10000 \times 0,2} \times (2 + \alpha \theta) \text{ avec } \alpha = 10 \times \left(1 - \frac{M_u}{1,5 \times M_{ser}} \right) \text{ et } \theta = 2$$

$$e_2 = \frac{3 \times (0,7 \times 2)^2}{10000 \times 0,2} \times (2 + 1,21 \times 2) = 0,013010 \text{ m}$$

$$e = e_1 + e_a + e_2 = 0,150 + 0,02 + 0,0130 = 0,183 \text{ m} = 18,3 \text{ cm}$$

L'effort de compression centre max

$$N_{bmax} = b \times h \times f_{bc} = 1 \times 0,2 \times 14,17 = 2,83 \text{ MN}$$

Coefficient de remplissage

$$\psi_1 = \frac{N_{ser}}{b \cdot h \cdot f_{bc}} = \frac{0,14910}{2,83} = 0,0526$$

On a $\psi_1 < 0,81$

Déterminons l'excentricité critique relative

$$\xi = \frac{1 + \sqrt{9 - 12\psi_1}}{4 \times (3 + \sqrt{9 - 12\psi_1})}$$

$$\xi = 0,1651$$

Calcul de e_{NC}

$$e_{NC} = \xi \times h = 0,033 \text{ m}$$

$e > e_{NC}$ donc la section est partiellement comprimée

Hauteur utile

$$d = 0,9 \times h$$

$$d = 0,9 \times 0,2 = 0,18 \text{ m}$$

Moment fléchissant fictif

$$M_{fictif} = N_{ser} \times (e + d - 0,5 \times h) = 149,10 \times (0,150 + 0,18 - 0,5 \times 0,2) = 39,17 \text{ KN.m}$$

Calcul de $\bar{\alpha}_{ser}$

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

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63} = 0,53$$

Fibre neutre

$$\bar{Y}_{ser} = \bar{\alpha}_{ser} \times d = 0,53 \times 0,18 = 0,09 \text{ m}$$

Bras de levier

$$\bar{Z}_{ser} = d \times \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right)$$

$$\bar{Z}_{ser} = 0,18 \times \left(1 - \frac{0,53}{3}\right)$$

$$\bar{Z}_{ser} = 0,1484 \text{ m}$$

Moment résistant

$$M_{serb} = 0,5 \times \bar{\sigma}_{bc} \times b_0 \times d^2 \times \bar{\alpha}_{ser} \times \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right)$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 15 \times 1 \times 0,18^2 \times 0,53 \times \left(1 - \frac{0,53}{3}\right)$$

$$M_{serb} = 105,63 \text{ KN.m} = 0,10563 \text{ MN.m}$$

M_{fictif} < M_{serb} alors pas d'acier comprimée

Section d'acier fictive

$$A_{st} = \frac{M_{fictif}}{Z \cdot \sigma_{st}} - \frac{N_{ser}}{\sigma_{st}}$$

$$A_{st} = \frac{39,17 \times 10^{-3}}{0,1484 \times 201,63} - \frac{149,10 \times 10^{-3}}{201,63} = 5,70 \text{ cm}^2$$

Section d'acier minimale

$$A_{\min} = 0,23 \times b_o \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0,23 \times 100 \times 18 \times \frac{2,1}{400} = 2,17 \text{ cm}^2$$

Alors $A_{st} = 5,70 \text{ cm}^2$

$$A_{st/f} = \frac{A_{st}}{2} = \frac{5,70}{2} = 2,85 \text{ cm}^2$$

Choix des aciers : Il convient de prendre **5HA10** de section **3,93 cm²** remplissant la section d'acier théorique de **2,85cm²/face** avec un espacement de **20 cm**.

Aciers de répartitions

$$A_{r/f} = \frac{A_{st/f}}{2} = \frac{2,85}{2} = 1,425 \text{ cm}^2 < A_{\min} \text{ donc } A_{r/f} = A_{\min} = 2,17 \text{ cm}^2$$

Choix des aciers : Il convient de prendre **5HA8** de section **2,51 cm²** remplissant la section d'acier théorique de **2,17 cm²/face** avec un espacement de **20 cm**.

Calcul des sections d'armatures sur le radier

Hauteur utile

$$d = 0,9 \times h$$

$$d = 0,9 \times 0,2 = 0,18 \text{ m}$$

Calcul de $\bar{\alpha}_{ser}$

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

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63} = 0,53$$

Fibre neutre

$$\bar{Y}_{ser} = \bar{\alpha}_{ser} \times d = 0,53 \times 0,18 = 0,0954 \text{ m}$$

Bras de levier

$$\bar{Z}_{ser} = d \times \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right)$$

$$\bar{Z}_{ser} = 0,18 \times \left(1 - \frac{0,53}{3}\right)$$

$$\bar{Z}_{ser} = 0,1484 \text{ m}$$

Moment résistant

$$M_{serb} = 0,5 \times \bar{\sigma}_{bc} \times b_0 \times d^2 \times \bar{\alpha}_{ser} \times \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right)$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 15 \times 1 \times 0,18^2 \times 0,53 \times \left(1 - \frac{0,53}{3}\right)$$

$$M_{serb} = 105,63 \text{ KN.m} = 0,10563 \text{ MN.m}$$

➤ Calcul de la section d'acier sur les travées A1-A4

$$M_{ser} = 54,81 \text{ KN.m}$$

$M_{serb} > M_{ser}$ donc il ya pas d'aciers comprimés,

Dans ce cas, on détermine seulement qu'une section d'acier tendu (A_{st}) et pas besoin de section d'acier comprimé ($A_{sc} = 0$)

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{\bar{Z}_{ser} \times \bar{\sigma}_{st}}$$

$$A_{st} = \frac{54,81 \times 10^{-3}}{0,1484 \times 201,63} \times 10^4 = 18,32 \text{ cm}^2$$

Section d'acier minimale

$$A_{min} = 0,23 \times b_0 \times d \times \frac{f_{t28}}{f_{fe}} = 0,23 \times 100 \times 18 \times \frac{2,1}{400} = 2,17 \text{ cm}^2$$

$$A_{st} > A_{min} \text{ donc } A_s = A_{st} = 7,65 \text{ cm}^2$$

$$A_{st/f} = \frac{A_{st}}{2} = \frac{18,32}{2} = 9,16 \text{ cm}^2$$

Choix des aciers : Il convient de prendre **6HA14** de section **9,24 cm²** remplissant la section d'acier théorique de **9,16 cm²/face** avec un espacement de **15 cm**.

Aciers de répartitions

$$A_{r/f} = \frac{A_{st/f}}{2} = \frac{9,16}{2} = 4,58 \text{ cm}^2$$

Choix des aciers : Il convient de prendre **6HA10** de section **4,71 cm²** remplissant la section d'acier théorique de **4,58 cm²/face** avec un espacement de **15 cm**.

➤ Calcul de la section d'acier sur les appuis A₁, A₄

• Au niveau des appuis de rive A₁, A₄

$$M_{ser} = 32,77 \text{ kN.m}$$

$M_{serb} > M_{ser}$ donc il ya pas d'aciers comprimés,

Dans ce cas, on détermine seulement qu'une section d'acier tendu (A_{st}) et pas besoin de section d'acier comprimé ($A_{sc} = 0$)

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{\bar{Z}_{ser} \times \bar{\sigma}_{st}}$$

$$A_{st} = \frac{32,77 \times 10^{-3}}{0,148 \times 201,63} \times 10^4 = 10,95 \text{ cm}^2$$

Section d'acier minimale

$$A_{min} = 0,23 \times b_o \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0,23 \times 100 \times 18 \times \frac{2,1}{400} = 2,17 \text{ cm}^2$$

$$A_{st} > A_{min} \text{ donc } A_s = A_{st} = 10,95 \text{ cm}^2$$

Choix des aciers : Il convient de prendre **6HA14** de section **9,24 cm²** par face remplissant la section théorique de **10,95 cm²** avec un espacement de **15 cm**. Pour une bonne homogénéité des armatures du tablier

Dimensionnement du mur en aile du dalot

Hauteur totale $H = 2,60 \text{ m}$

Talus $T = 3/2$

Longueur totale $L = H \times \text{talus} = \frac{2,6 \times 3}{2} = 3,90 \text{ m}$

Cohésion du sol $C = 0$

Angle de frottement interne $\varphi = 30^\circ$

Poids volumique des terres $\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$

Contrainte admissible du sol essai géotechnique $\sigma_{\text{ser}} = 0,12 \text{ MPa}$

Coefficient de poussée de terre $K_a = 0,333$

Prédimensionnement des épaisseurs

- **Au niveau de la voile**

$$e_0 = \frac{H}{24} = \frac{2,4}{24} = 0,10 \text{ m}$$

Nous allons prendre $e_0 = 0,2 \text{ m} = 20 \text{ cm}$

$$e_1 = e_2 = \frac{H}{12} = \frac{2,4}{12} = 0,20 \text{ m}$$

Nous allons prendre une épaisseur uniforme $e_1 = e_2 = 20 \text{ cm}$

- **Au niveau de la semelle**

$$b = 0,20 + 0,45 \times H = 0,20 + 0,45 \times 2,4 = 1,28 \text{ m}$$

Il est prudent de majorer de 15 % la largeur de semelle ainsi déterminée, car elle ne permet pas toujours de satisfaire les vérifications de la stabilité externe.

$$b_{majoré} = 1,28 \times 0,15 + 1,28 = 1,472 \text{ m}$$

Prenons **b = 1,60 m**

$$b_1 \in \left[\frac{H}{8}; \frac{H}{5} \right]$$

$$b_1 = \frac{H}{5} = \frac{2,4}{5} = 0,48 \text{ m}$$

$$\text{Prenons } b_1 = 0,50 \text{ m} = 50 \text{ cm}$$

Calcul des sollicitations

- **Voile : Calcul des sollicitations**

Récapitulatif des charges

Sections	S ₁ (H = 2,40 m)	S ₄ (H = 1,6 m)	S ₅ (H = 1,2 m)	S ₆ (H = 0,8 m)
Hauteur (m)	2,4	1,6	1,2	0,8
Surface totale (m²)	0,48	0,32	0,24	0,16
N (kN/m)	12	8	6	4
V (kN/m) Poussées des terres	19,008	8,448	4,752	2,112
M_G (kN.m) Poussées des terres	15,206	4,506	1,901	0,563
V (kN/m) charge	7,92	5,280	3,960	2,640
M_G (kN.m) charge	9,504	4,224	2,376	1,056

- **Au niveau de la semelle**

Charge permanentes

$$\text{Voile: } P_1 = H \times e_0 \times \gamma_b = 2,40 \times 0,2 \times 25 = 12 \text{ kN/m}$$

$$\text{Semelle: } P_2 = b \times e_2 \times \gamma_b = 1,6 \times 0,2 \times 25 = 8 \text{ kN/m}$$

$$\text{Terre en amont : } P_3 = H_{\text{amont}} \times b_{\text{amont}} \times \gamma_r = 2,4 \times 0,90 \times 20 = 43,2 \text{ kN/m}$$

Actions horizontales

$$\text{Poussée des terres : } P_4 = K_a \times \frac{H^2}{2} \times \gamma_r = 0,33 \times \frac{2,4^2}{2} \times 20 = 19,008 \text{ kN/m}$$

Charge d'exploitation

Action verticale

$$\text{Charge d'exploitation : } Q_1 = q_r \times b_{\text{amont}} = 10 \times 0,90 = 9 \text{ kN/m}$$

Action horizontale

Poussée due à la charge d'exploitation

$$Q_2 = K_a \times q_r \times H = 0,33 \times 10 \times 2,4 = 7,92 \text{ kN/m}$$

Calcul des moments

Détermination des bras de leviers

$$d_{P1} = \frac{e_0}{2} + b_1 = \frac{0,2}{2} + 0,50 = 0,60 \text{ m}$$

$$d_{P2} = \frac{b}{2} = \frac{1,6}{2} = 0,80 \text{ m}$$

$$d_{P3} = \frac{b - b_1 - e_1}{2} + e_1 + b_1 = \frac{1,6 - 0,50 - 0,20}{2} + 0,20 + 0,50 = 1,15 \text{ m}$$

$$d_{P4} = \frac{1}{3} \times H = \frac{1}{3} \times 2,4 = 0,80 \text{ m}$$

$$d_{Q1} = \frac{b - b_1 - e_1}{2} + e_1 + b_1 = \frac{1,6 - 0,50 - 0,20}{2} + 0,20 + 0,50 = 1,15 \text{ m}$$

$$d_{Q2} = \frac{1}{2} \times H = \frac{1}{2} \times 2,4 = 1,20 \text{ m}$$

Calcul des moments

$$\text{Moment} = \text{force} \times \text{bras de levier}$$

Récapitulatif des sollicitations

				Actions horizontales $R_H = P_G \text{ ou } P_Q \text{ (kN/m)}$	Actions verticales (pesanteur) $R_v = G \text{ ou } Q \text{ (kN/m)}$	M/A (kN.m/m)
G	Poids du mur et des terres	a	Semelle		$1,6 \times 0,2 \times 25 = 8$	6,4
		b	Voile		$2,40 \times 0,2 \times 25 = 12$	7,2
		①	Mur (a+b)		20	13,6
		②	Terre amont		$2,4 \times 0,9 \times 20 = 43,2$	49,68
		③	Terre aval		0	0
	Poussées des terres	④		$0,33 \times \frac{2,4^2}{2} \times 20 = 19$		-15,2064
Q	Charge d'exploitation	⑤			$10 \times 0,9 = 9$	10,35
	Poussée due à la charge d'exploitation	⑥		$0,33 \times 10 \times 2,4 = 7,92$		-9,504

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum R_V = 8 + 12 + 43,2 + 9 = 72,20 \text{ kN/ml} \\ \sum R_H = 19,008 + 7,92 = 26,928 \text{ kN/ml} \\ \sum M/A = 6,4 + 7,2 + 49,68 - 15,2064 + 10,35 - 9,504 = 48,92 \text{ kN/ml} \end{array} \right.$$

Justification de la stabilité externe

➤ Vérification du non-poinçonnement du terrain d'assise

Calcul de l'excentricité e_a

$$e_a = \frac{\sum M/A}{\sum R_V} = \frac{48,92}{72,2} = 0,678 \text{ m}$$

Détermination du diagramme

$$\frac{b}{3} = \frac{1,6}{3} = 0,53 \text{ m}$$

$$e_a > \frac{b}{3} \text{ donc on a ici un diagramme trapézoïdale}$$

Calcul de σ_{ser}

$$\sigma_{ser} = q_{ser} \times e^{-\delta R}$$

$$\text{Avec } q_{ser} = 0,12 \text{ MPa}$$

$$Tg(\delta R) = \left(\frac{R_H}{R_V} \right) = \left(\frac{26,928}{72,2} \right) = 0,373$$

$$\delta R = 0,357$$

$$\sigma_{ser} = 0,12 \times e^{-0,357} = 0,08397 \text{ MPa} = 83,97 \text{ kN/m}^2$$

Calcul de $\sigma_{réf}$

$$\sigma_{réf} = \frac{5 \times R_V}{2 \times b} \times \left(1 - 1,2 \times \frac{e_a}{b}\right)$$

$$\sigma_{réf} = \frac{5 \times 72,2}{2 \times 1,6} \times \left(1 - 1,2 \times \frac{0,678}{1,6}\right) = 55,49 \text{ kN/m}^2$$

$\sigma_{réf} < \sigma_{ser}$ donc la condition du non – poinçonnement est vérifiée

➤ Vérification du non-basculement

$$M_s = 6,4 + 7,2 + 49,68 + 10,35 = 73,63 \text{ kN.m/m}$$

$$M_r = 15,2064 + 9,504 = 24,71 \text{ kN.m/m}$$

$$\frac{73,63}{24,71} > 1,25$$

$2,98 > 1,25$ la condition au non – basculement est vérifiée

➤ Vérification du non-glissement sur la base

$$\frac{72,2 \times \tan(30)}{26,928} > 1,5$$

$1,61 > 1,5$ la condition du non – glissement est vérifiée

Calculs des sections d'armatures

- Au Niveau de la voile

Calcul des aciers principaux

➤ Section S₁

$$N_{ser} = N_{S1}(\text{compression}) = 12 \text{ kN/ml}$$

$$M_{ser} = M_{Gpoussée} + M_{Gcharge} = 15,206 + 9,504 = 24,71 \text{ kN.m}$$

Calcul de l'excentricité

$$e_{ser} = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} = \frac{24,71}{12} = 2,0592 \text{ m}$$

$$\frac{h_0}{4} = \frac{0,20}{4} = 0,050 \text{ m}$$

$$e_{ser} > \frac{h_0}{4} ; \text{ donc la section est partiellement comprimée}$$

$e_{ser} \gg 4 \times h_0$ donc le calcul d'aciers se fera en flexion simple avec M_{ser}

Hauteur utile

$$d = 0,9 \times h$$

$$d = 0,9 \times 0,2 = 0,18 \text{ m}$$

Calcul de $\bar{\alpha}_{ser}$

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

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63} = 0,53$$

Bras de levier

$$\bar{Z}_{ser} = d \times \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right)$$

$$\bar{Z}_{ser} = 0,18 \times \left(1 - \frac{0,53}{3}\right) = 0,1482 \text{ m}$$

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{\bar{Z}_{ser} \times \bar{\sigma}_{st}}$$

Section d'acier minimale

$$A_{min} = 0,23 \times b_0 \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0,23 \times 100 \times 18 \times \frac{2,1}{400} = 2,17 \text{ cm}^2$$

$$A_{min} = 2,17 \text{ cm}^2$$

$$A_{st} = \frac{24,71 \times 10^{-3}}{0,1482 \times 201,63} \times 10^4 = 8,27 \text{ cm}^2$$

Choix aciers : Il convient de prendre 6HA14 totalisant une section de **9,24 cm²** et remplissant la section d'acier théorique de **8,27 cm²** avec un espacement de 15 cm

Face coté terre, armatures horizontales

$$A_h \geq 0,10 \times e_1 \text{ soit } A_h \geq 0,10 \times 20$$

$$A_h \geq 2 \text{ cm}^2$$

Choix des aciers : Il convient de prendre **5HA8** de section **2,51 cm²** remplissant la section d'acier théorique de **2 cm²** avec un espacement de **20 cm**.

Face du coté avant, armatures horizontales et verticales

$$A_h \geq 0,075 \times e_1 \text{ soit } A_h \geq 0,075 \times 20$$

$$A_h \geq 1,50 \text{ cm}^2$$

Choix des aciers : Il convient de prendre **5HA8** de section **2,51 cm²** remplissant la section d'acier théorique de **1,50 cm²** avec un espacement de **20 cm**.

$$A_v \geq 0,10 \times e_1 \text{ soit } A_v \geq 0,10 \times 20$$

$$A_v \geq 2 \text{ cm}^2$$

Choix des aciers : Il convient de prendre **5HA8** de section **2,51 cm²** remplissant la section d'acier théorique 2 cm² avec un espacement de **20 cm**.

NB : Les sollicitations de S₄, S₅, S₆ étant inférieur à S₁ nous allons considérer les sections d'armatures de la section 1 seront considérer pour les autres sections afin d'uniformiser les sections d'armatures.

- **Au niveau de la semelle**
- **Au niveau du talon**

Calcul de l'excentricité e_a

$$e_a = \frac{\sum M/A}{\sum R_v} = \frac{48,92}{72,2} = 0,678 \text{ m}$$

Calcul de la distance d'application de la contrainte σ_{ref}

$$2 \times e_a = 2 \times 0,678 = 1,355 \text{ m}$$

Calcul du moment

$$Q = q + \gamma_r \times H = 10 + 20 \times 2,40 = 58 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{ser} = Q \times \frac{b_{amont}}{2} \times b_{amont} - \sigma_{ref} \times \left(\frac{2 \times e_a - b_1 - e_1}{2} \right) \times (2 \times e_a - b_1 - e_1)$$

$$M_{ser} = 58 \times \frac{0,9}{2} \times 0,9 - 55,484 \times \left(\frac{2 \times 0,678 - 0,50 - 0,20}{2} \right) \times (2 \times 0,678 - 0,50 - 0,20)$$

$$M_{ser} = 11,58 \text{ kN.m/ml}$$

Hauteur utile

$$d = 0,9 \times h$$

$$d = 0,9 \times 0,2 = 0,18 \text{ m}$$

Calcul de $\bar{\alpha}_{ser}$

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

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63} = 0,53$$

Bras de levier

$$\bar{Z}_{ser} = d \times \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3} \right)$$

$$\bar{Z}_{ser} = 0,18 \times \left(1 - \frac{0,53}{3} \right) = 0,1482 \text{ m}$$

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{\bar{Z}_{ser} \times \bar{\sigma}_{st}}$$

$$A_{st} = \frac{11,58 \times 10^{-3}}{0,1482 \times 201,63} \times 10^4 = 3,88 \text{ cm}^2$$

Section d'acier minimale

$$A_{min} = 0,23 \times b_o \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0,23 \times 100 \times 18 \times \frac{2,1}{400} = 2,17 \text{ cm}^2$$

Choix aciers : Il convient de prendre 5HA10 totalisant une section de **3,93 cm²** et remplissant la section d'acier théorique de **3,88 cm²** avec un espacement de 20cm

Aciers de répartition

$$A_r = 0,1 \times e_2 = 0,1 \times 20 = 2 \text{ cm}^2$$

$$A_r < A_{min} \text{ donc } A_r = A_{min} = 2,17 \text{ cm}^2$$

Choix aciers : Il convient de prendre 5HA8 totalisant une section de **2,51 cm²** et remplissant la section d'acier théorique de **2,17 cm²** avec un espacement de 20cm

- **Au niveau du patin**

- **Section 2**

terres aval au-dessus du patin est négligeable et ces terres pourraient être enlevées)

$$M_{ser} = \sigma_{ref} \times \frac{b_1^2}{2} = 55,48 \times \frac{0,50^2}{2} = 6,94 \text{ kN.m/ml}$$

Hauteur utile

$$d = 0,9 \times h$$

$$d = 0,9 \times 0,2 = 0,18 \text{ m}$$

Calcul de $\bar{\alpha}_{ser}$

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

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63} = 0,53$$

Bras de levier

$$\bar{Z}_{ser} = d \times \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right)$$

$$\bar{Z}_{ser} = 0,18 \times \left(1 - \frac{0,53}{3}\right) = 0,22 \text{ m}$$

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{\bar{Z}_{ser} \times \bar{\sigma}_{st}}$$

$$A_{st} = \frac{6,94 \times 10^{-3}}{0,1482 \times 201,63} \times 10^4 = 2,32 \text{ cm}^2$$

Section d'acier minimale

$$A_{min} = 0,23 \times b_0 \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0,23 \times 100 \times 18 \times \frac{2,1}{400} = 2,17 \text{ cm}^2$$

$$\text{Alors } A_{st} = 2,32 \text{ cm}^2$$

Choix aciers : Il convient de prendre 5HA10 totalisant une section de **3,93 cm²** et remplissant la section d'acier théorique de **2,32 cm²** avec un espacement de 20cm

Aciers de répartition

$$A_r = 0,1 \times e_2 = 0,1 \times 20 = 2 \text{ cm}^2$$

$$A_r < A_{min} \text{ donc } A_r = A_{min} = 2,17 \text{ cm}^2$$

Choix aciers : Il convient de prendre 5HA8 totalisant une section de **2,51 cm²** et remplissant la section d'acier théorique de **2,17 cm²** avec un espacement de 20Cm.

Tableau 44: Récapitulatif des moments $2 \times 1,5m \times 2m$

Travées	A1-A2	A2-A3	A3-A4	A4-A1
Moments mi-travée (KN.m)	22,32	52,30	22,32	54,81
Appuis	A1	A2	A3	A4
Moments sur appuis (KN.m)	32,77	29,71	29,71	32,77

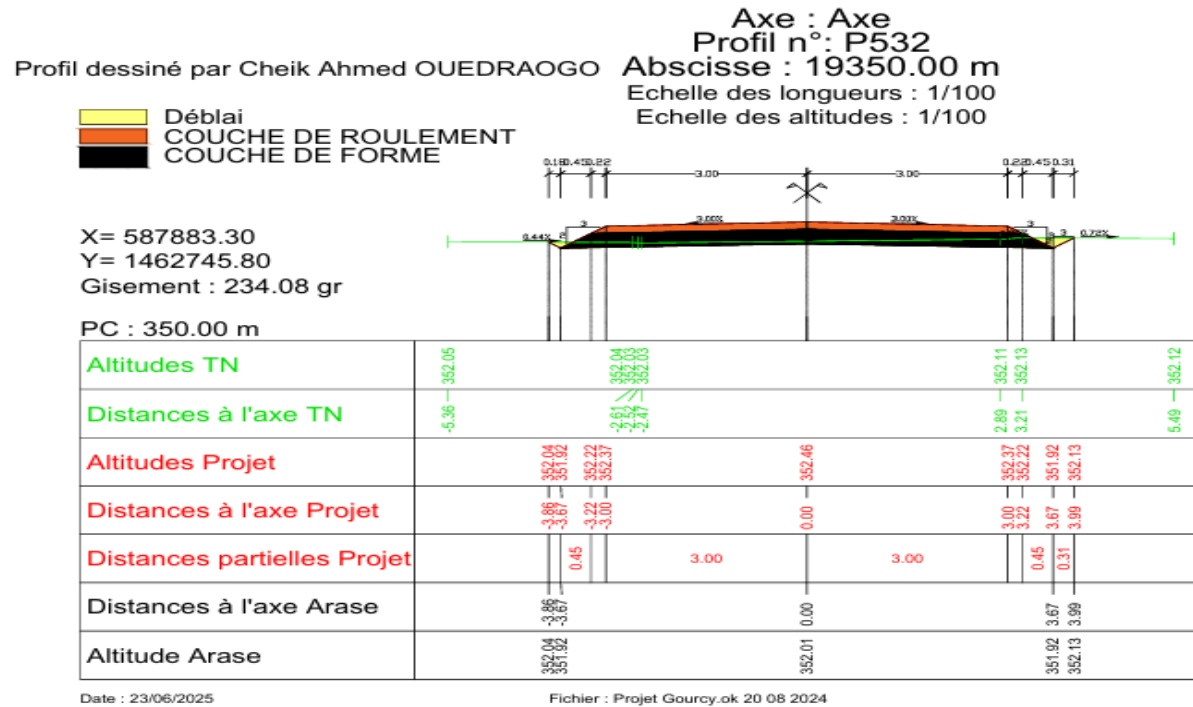
Tableau 45: Récapitulatif des aciers du dalot $2 \times 1,5m \times 2m$

Désignations	Sections	Choix aciers principales	Esp (cm)	Choix aciers de répartitions	Esp (cm)
TABLIER	Travées A2-A3 et A3-A4	5HA10/face	20	5HA8/face	20
	Appuis A2, A4	5HA10/face	20	-	-
	Appui centrale A3	5HA14	20	-	-
PIEDROITS	Piédroit central	5HA12/face	20	5HA8/face	20
	Piédroits de rives	5HA12/face	20	5HA8/face	20
RADIER	Travées A6-A5 et A1-A6	5HA10/face	20	5HA8/face	20
	Appuis A1, A5	5HA10/face	20	-	-
	Appui centrale A9	5HA14	20	-	-

Tableau 46: Récapitulatif des aciers du mur en aile 1×2m×2m

Désignations	Sections	Côté remblai				Côté non remblayé					
		Aciers principales	Esp (cm)	A _H	Esp (cm)	A _H	Esp (cm)	A _v	Esp (cm)	Aciers répartitions	Esp (cm)
Voile	S1	6HA14	15	5HA8	20	5HA8	20	5HA8	20	-	
	S4	6HA14	15	5HA8	20	5HA8	20	5HA8	20	-	
	S5	6HA14	15	5HA8	20	5HA8	20	5HA8	20	-	
	S6	6HA14	15	5HA8	20	5HA8	20	5HA8	20	-	
Patin	S2	5HA10	20	-	-					5HA8	20
Talon	S3	5HA10	20	-	-					5HA8	20

Annexe 26: Profil en travers type

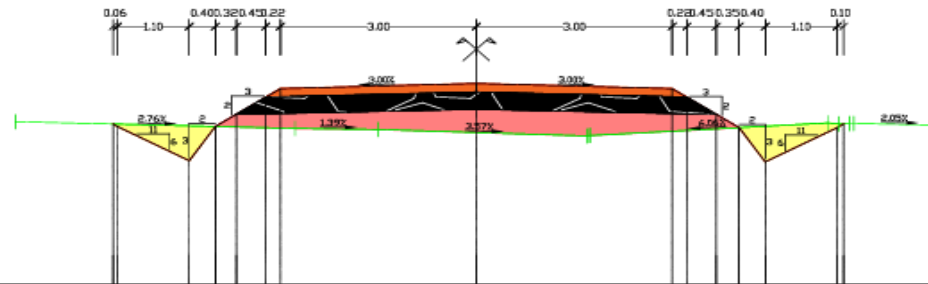


Ministère de l'Environnement de l'Eau et de l'Assainissement ***** Secrétariat Général BURKINA FASO  Unité-Progrès-Justice	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 2iE ***** 	Mission de controle  INGENIEURS CONSEILS Siège social: Route 2 201 10 204 Boulevard 100 Gourcy - Burkina Faso Tel: 00 226 20 10 10 10 E-mail: aie@ingenieursconseils.com	ENTREPRISE: Groupement  	Travaux de réhabilitation de la route Gourcy-Tougou 26 km Profil en travers type A du PK 19+350	AUTEUR Cheik Ahmed OUEDRAOGO	Date: Juin 2025 Echelle: 1/1

Profil dessiné par Cheik Ahmed OUEDRAOGO

Axe : Axe
 Profil n°: P448
 Abscisse : 15950.00 m
 Echelle des longueurs : 1/100
 Echelle des altitudes : 1/100

	Remblai
	Déblai
	COUCHE DE ROULEMENT
	COUCHE DE FORME

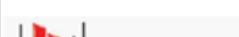


X= 584562.28
Y= 1462260.67
Gisement : 175.59 gr

PC : 338.00 m

[illegible]

Date : 23/06/2025

Ministère de l'Environnement de l'Eau et de l'Assainissement ***** Secrétariat Général	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 2iE *****	Mission de controle	ENTREPRISE: Groupement	Travaux de réhabilitation de la route Gourcy-Tougou 26 km	AUTEUR	
BURKINA FASO  Unité-Progress-Justice		 INGENIEURS CONSEILS Intervention Route 6.20 / 6.26 Secteur 05 Gourcy - Bourka Faso 04 BP 8053 Ouagadougou 04 Cell. 99 228 91 01 74 75 E-mail: www.ingenieursconseils.com	 	Profil en travers type A du PK 11+500	Cheik Ahmed OUEDRAOGO	
						Date: Juin 2025 Echelle: 1/1

Memoire de Master a ingenierie
Présenté par Cheik Ahmed OUEDRAOGO

Promotion
2024-2025

C VI

Date: Juin 2025
Echelle: 1/1

Profil dessiné par Cheik Ahmed OUEDRAOGO

Remblai
 Déblai
 COUCHE DE ROULEMENT
 COUCHE DE FORME

Axe : Axe
 Profil n°: P335-1
 Abscisse : 11500.75 m
 Echelle des longueurs : 1/100
 Echelle des altitudes : 1/100

X= 580461.77
 Y= 1460634.02
 Gisement : 157.79 gr

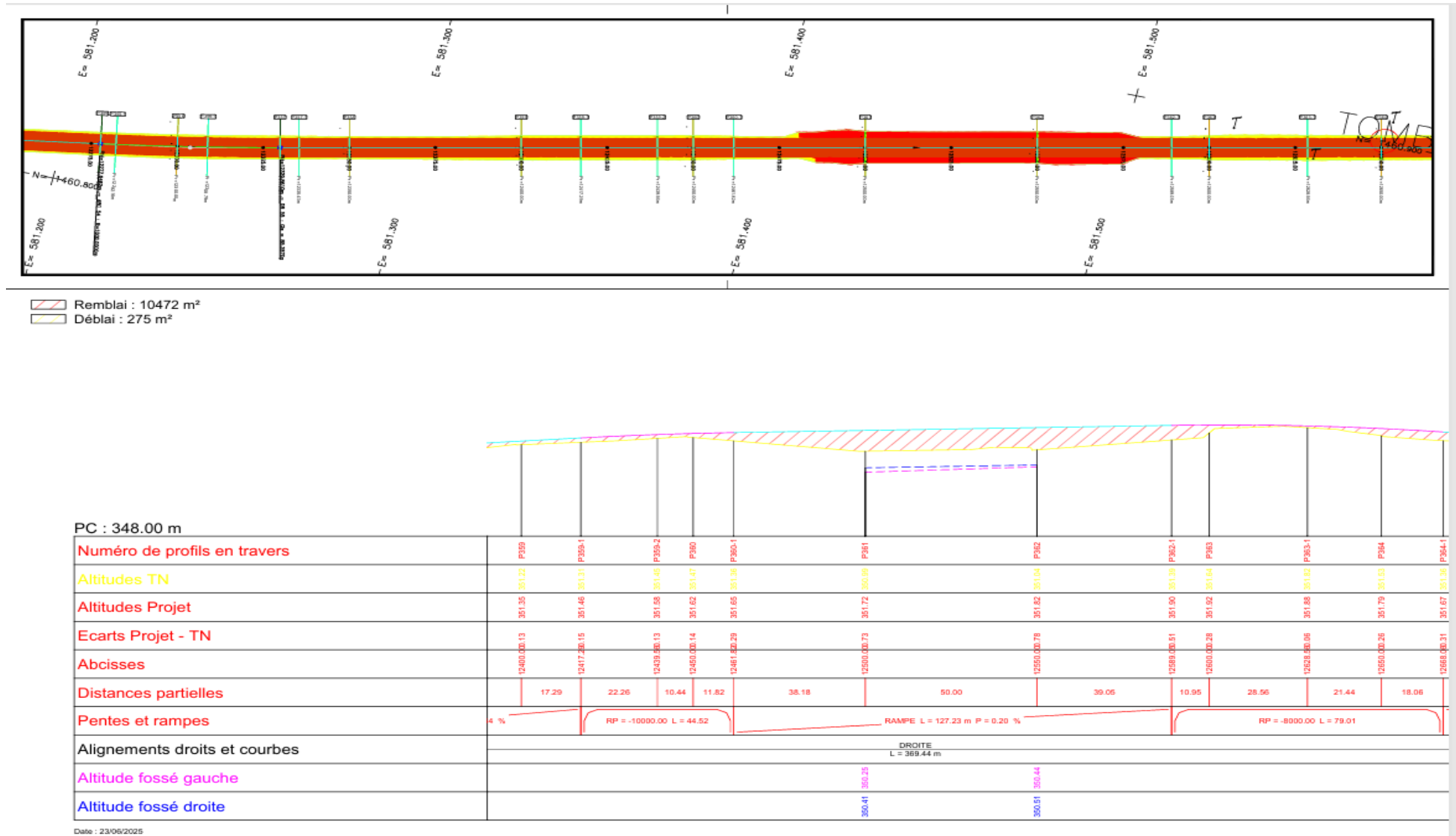
PC : 349.00 m

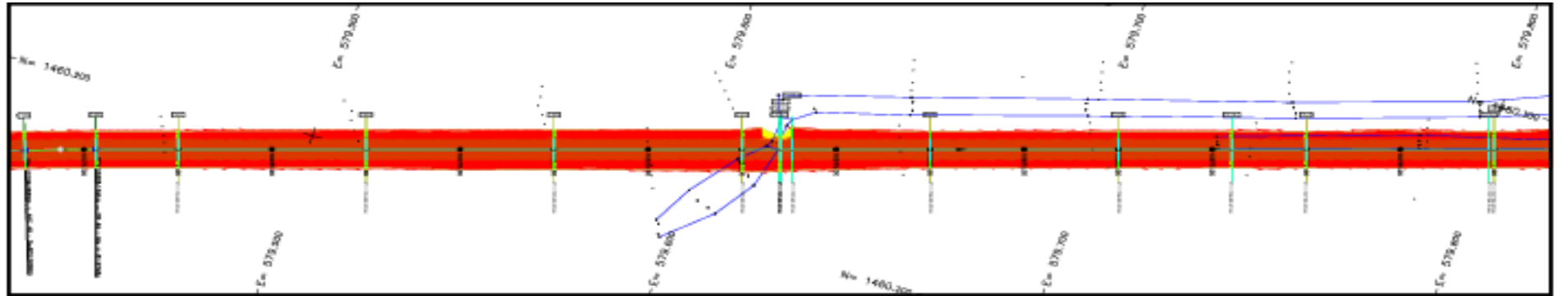
Altitudes TN	351.66	351.66	351.67	351.77	351.53	351.49
Distances à l'axe TN	-6.02	-5.59	-5.39	-2.24	3.43	5.75
Altitudes Projet	351.69	351.13	351.43	351.58	351.43	351.52
Distances à l'axe Projet	-4.52	-3.67	-3.22	-3.00	0.00	3.00
Distances partielles Projet	0.84	0.45	3.00	3.00	0.45	0.58
Distances à l'axe Arase	-4.52	-3.67	0.00	3.00	3.67	4.25
Altitude Arase	351.69	351.13	351.22	351.13	351.52	

Date : 23/06/2025

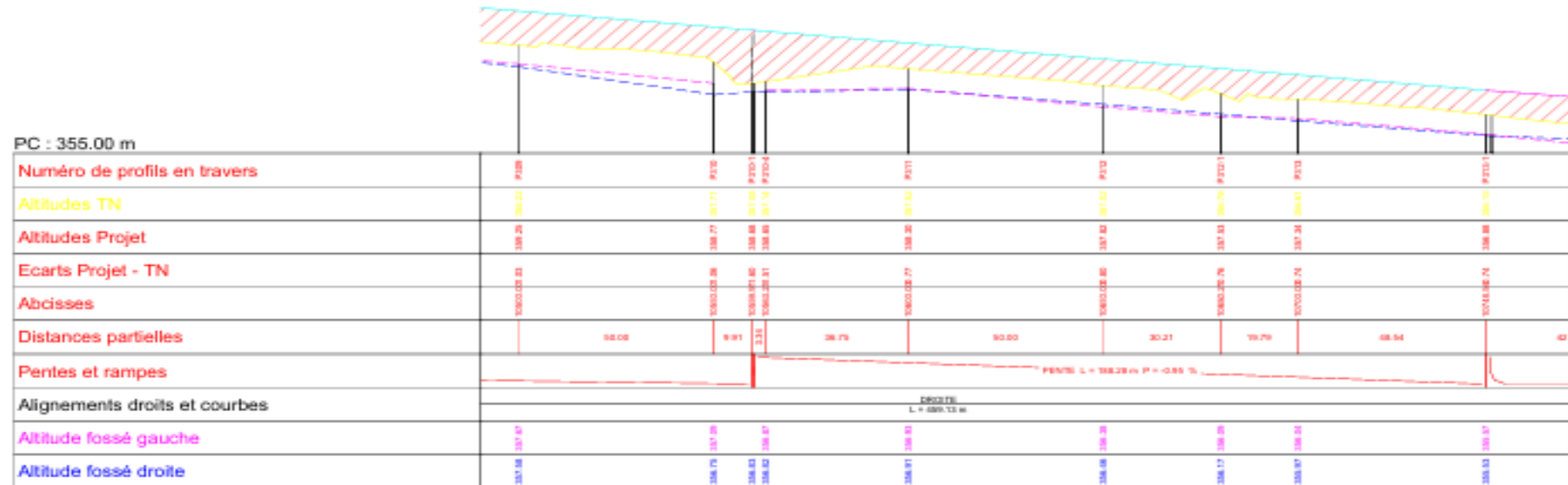
Ministère de l'Environnement de l'Eau et de l'Assainissement ***** Secrétariat Général	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 2iE *****	Mission de controle	ENTREPRISE: Groupement	Travaux de réhabilitation de la route Gourcy-Tougou 26 km	AUTEUR	
BURKINA FASO  Unité-Progress-Justice		 INGENIEURS CONSEILS Immeuble N°21-1E/26 Secteur 08 Gourcy - Burkina Faso BP 0851 Gourcy/Tougou 04 Tel: 00 226 31 01 74 75 E-mail: aie.ingenieurs@orange.ci	 	Profil en travers type A du PK 11+500	Cheik Ahmed OUEDRAOGO	Date: Juin 2025 Echelle: 1/1

Annexe 27: Tracé combiné

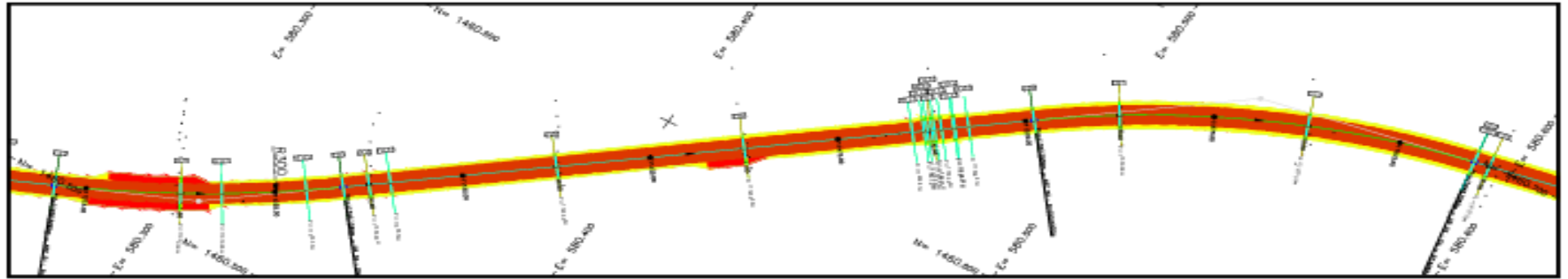




Remblai : 10472 m³
Déblai : 275 m³



Date : 23/08/2025

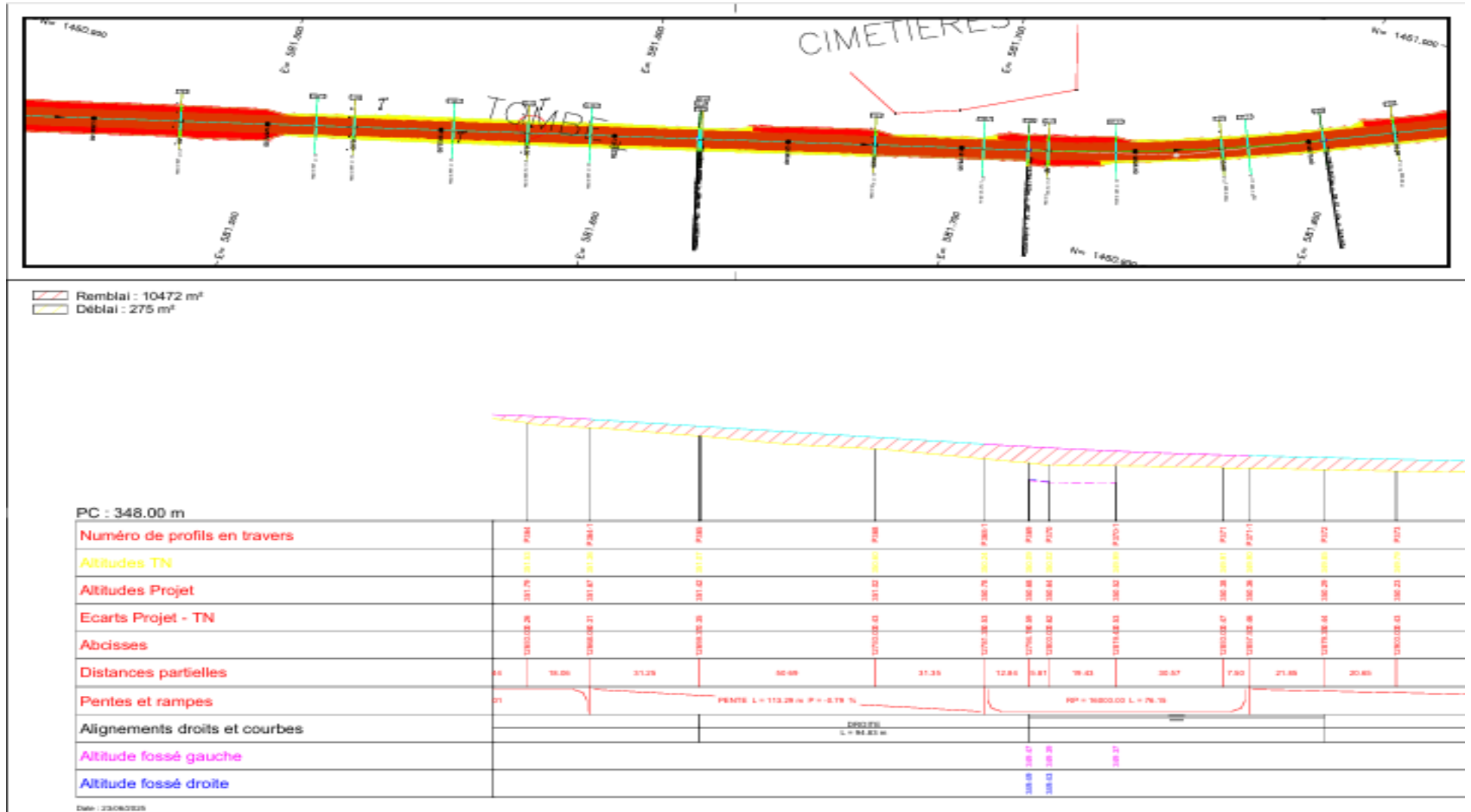


Remblai : 10472 m³
Déblai : 275 m³

PC : 348.00 m

Numéro de profils en travers	P33	P34	P35	P36	P37	P38	P39	P40
Altitudes TN	151.15	151.71	151.15	151.15	151.15	151.15	151.15	151.15
Altitudes Projet	152.21	152.76	151.86	151.86	151.86	151.86	151.86	151.86
Ecart Proj - TN	1.06	1.05	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71
Abcisses	11603.00	11603.00	11603.00	11603.00	11603.00	11603.00	11603.00	11603.00
Distances partielles	98.00	64.81	17.48	22.71	90.80	45.66	0.00	0.00
Pentes et rampes	PENTE L = 126.10 m P = -0.23 ‰							
Alignements droits et courbes	DROITE L = 100.18 m							
Altitude fossé gauche								
Altitude fossé droite								

Date : 23/08/2025



Annexe 28: Devis estimatif du projet

N° Prix	Désignations	Unités	MARCHE INITIAL			MARCHE ACTUALISE		
			Quantités	Prix Unitaires (F CFA H TVA)	Montant (F CFA H TVA)	Quantités revues	Prix Unitaires (F CFA H TVA)	Montant actualisé (F CFA H TVA)
100	INSTALLATION DE CHANTIER							
101	Installation de chantier et amenée du matériel y compris élaboration du dossier d'exécution des travaux	Ft	1	22 000 000	22 000 000	1	22 000 000	22 000 000
102	Repli des installations et des matériels du chantier	Ft	1	8 000 000	8 000 000	1	8 000 000	8 000 000
103	Mise en œuvre et suivi du Plan d'Action Hygiène, Santé, Sécurité et Environnement (HSSE)	Ft	1	5 000 000	5 000 000	1	5 000 000	5 000 000
104	Bureau de chantier de la Mission de Contrôle et l'Administration	mois	11	1 000 000	11 000 000	11	1 000 000	11 000 000
	Sous total 100				46 000 000			46 000 000
200	TRAVAUX PREPARATOIRES							
201	Dégagement mécanique de l'emprise de la piste à construire (ouverture)	km						

202	Débroussaillage, abatage d'arbres de circonférence inférieur ou égal à 1,50m et nettoyage de l'emprise	m2	300 300	80	24 024 000	167 150	80	13 372 000
203	Décapage de la terre végétale	m2	27 300	90	2 457 000	94 720	90	8 524 800
204	Démolition d'ouvrages hydrauliques de toute nature y compris les buses	u	5	25 000	125 000	4	25 000	100 000
205	Abattage d'arbres de circonférence supérieur 1,50m	u	5	50 000	250 000	8	50 000	400 000
	Sous total 200				26 856 000		-	22 396 800
300	TERRASSEMENTS						-	
301	Déblai mis en dépôt définitif	m3	9 274	2 000	18 548 000	3 873.36	2 000	7 746 720
302	Remblai provenant d'emprunt	m3	14 865	2 850	42 365 250	61 451	2 850	175 135 208
303	Mise en forme, réglage et compactage de la plateforme	m2	143 000	110	15 730 000	163 669	110	18 003 563
304	Purges de matériaux impropres	m3	3 575	3 000	10 725 000	90	3 000	270 000
	Sous total 300				87 368 250		-	201 155 490
400	CHAUSSÉE						-	
401	Fourniture et mise en œuvre de graveleux latéritique pour couche de roulement	m3	30 254	3 700	111 939 800	23 693.91	3 700	87 667 453

402	Plus-value pour transport du prix 401 au - delà de 20km	m3*km			0		-	-
	Sous total 400				111 939 800		-	87 667 453
500	ASSAINISSEMENT						-	
501	Fossés longitudinaux et divergents de section triangulaire	ml	43 680	105	4 586 400	43 680	105	4 586 400
502	Fossés de garde	ml	2 184	250	546 000	2 184	250	546 000
503	Recalibrage de lits (amont et aval) de cours d'eau	m3	630	2100	1 323 000	1 440	2 100	3 024 000
	Sous total 500				6 455 400		-	8 156 400
600	OUVRAGES						-	
601	Dalots						-	-
601-1	Fouilles en terrain de toute nature	m3	216	2 250	486 000	224.19	2 250	504 428
601-2	Béton de propreté dosé à 150 kg/m3	m3	46	45 000	2 070 000	60.18	45 000	2 708 100
601-3	Béton dosé à 350 kg/m3	m3	261	115 000	30 015 000	338.95	115 000	38 979 250
601-4	Aciers pour béton armé	kg	31 270	825	25 797 750	28 544.07	825	23 548 858
601-5	Enrochements	m3	62	15 000	930 000	20.64	15 000	309 600
601-6	Gabions	m3	102	25 000	2 550 000	72.00	25 000	1 800 000

601-7	Perrés maçonnés	m2	292	12 000	3 504 000	306.28	12 000	3 675 360
601-8	Remblais d'ouvrage et de raccordement d'ouvrage	m3	212	3 750	795 000	412.00	3 750	1 545 000
602	Radiers				-		-	-
602-1	Fouilles en terrain de route nature	m3	265	2 250	596 250	320	2 250	719 820
602-2	Béton de propreté dosé à 150 kg/m3	m3	63	45 000	2 835 000	40	45 000	1 800 000
602-3	Béton dosé à 250 kg/m3	m3	57	105 000	5 985 000	91	105 000	9 576 000
602-5	Aciers pour béton armé	kg	14 000	825	11 550 000	4 216	825	3 478 200
602-6	Enrochements	m3	105	15 000	1 575 000	48	15000	720 000
602-7	Gabions	m3	53	25 000	1 325 000	80	25 000	2 000 000
602-8	Perrés maçonnés	m2	105	12 000	1 260 000	48	12 000	576 000
602-9	Remblais d'ouvrage et de raccordement d'ouvrage	m3	42	3 750	157 500	120	3 750	450 000
602-10	Plot de repérage	u	40	5 000	200 000	64	5 000	320 000
603	Construction de muret de section 0,30*0,40m	ml	240	10 000	2 400 000	440	10 000	4 400 000
604	Tapis de moellons sous chaussée	m3			-		-	-
605	Réhabilitation d'ouvrage hydraulique (dalot/buse/radier) existant	Ft	11	1 000 000	11 000 000	11	1 000 000	11 000 000

	Sous total 600				105 031 500		-	108 110 615
700	SIGNALISATION ET SECURITE						-	
701	Balises d'ouvrage	u	32	11 000	352 000	48	11 000	528 000
702	Panneaux de signalisation de type A,B,C ou D	u	69	60 000	4 140 000	69	60 000	4 140 000
703	Panneaux de signalisation de type E	u	22	70 000	1 540 000	22	70 000	1 540 000
704	Fourniture et pose de borne penta kilométrique	u	5	80 000	400 000	5	80 000	400 000
705	Fourniture et pose de borne kilométrique	u	21	25 000	525 000	21	25 000	525 000
706	Construction de guérites pour barrière de pluies	u	1	750 000	750 000	1	750 000	750 000
707	Fourniture et de barrière de pluie	u	1	250 000	250 000	1	250 000	250 000
708	Fourniture et pose de garde-corps métallique	ml	30	40 000	1 200 000		40 000	-
	Sous total 700				9 157 000		-	8 133 000
800	MESURES ENVIRONNEMENTALE ET SOCIALE						-	

801	Remise en état des emprunts, carrières et aires des stockages	Ft	1	5 000 000	5 000 000	1	5 000 000	5 000 000
802	Réalisation de plans d'alignements ou bosquets de 150 arbres minimum dans les localités et entretien des plants de protection	ff	1	1 500 000	1 500 000	1	1 500 000	1 500 000
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	15 000 000	30 000 000	2	15 000 000	30 000 000
	Total Série 800				36 500 000		-	36 500 000
	Montant HTVA DU MARCHE INITIAL				429 307 950			518 119 758
Ecart HTVA								88 811 808
TVA 18%								15 986 126
MONTANT TTC								104 797 934