



CONCEPTION ET ÉTUDE TECHNIQUE
D'UN PONT SUR LE FLEUVE MASSILI
DE LA ROUTE NATIONALE N°4 AU
BURKINA FASO

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE
MASTER
SPECIALITE GENIE CIVIL – BATIMENT ET TRAVAUX PUBLICS

Présenté et soutenu publiquement le [18/07/2025] par

NAMA Miguel Fadil (n° 20200308)

Encadrant 2iE : **Professeur Abdou LAWANE GANA**, Enseignant-Chercheur, Département
Génie Civil, Institut 2iE

Maître de stage : **Arouna YONABA**, Ingénieur Génie Civil à AGEIM Ingénieurs-Conseils.

Structure d'accueil du stage : Agence d'Études d'Ingénierie et de Maîtrise d'œuvre
Ingénieurs Conseils (AGEIM IC)

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : **Professeur Angelbert Chabi BIAOU**

Membres : **Dr Joseph WETHE**

M. Kader BANAOU DJIBO

Promotion 2024 -2025

Dédicaces

A

- ❖ Mon **DIEU**, pour la santé et le souffle de vie, Que toute la gloire lui soit rendue éternellement
- ❖ Mon père **NAMA BAOUI** pour ses sacrifices, ses soutiens multiformes, ses encouragements
- ❖ Ma mère **BAGAGNAN HABSSA** pour ses encouragements et son soutien

Table des matières	
Dédicaces	i
Remerciements	iv
Résumé	vi
Abstract	vii
Listes des tableaux	ix
Liste des figures	xi
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
Chapitre I : PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET	3
Introduction	3
I.1. Présentation de la structure d'accueil	3
I.1.1. Historique	3
I.1.2. Objectifs et Missions de AGEIM-IC	3
I.1.3. Domaines d'interventions et Organigramme de AGEIM-IC	4
I.2. Présentation du Projet	6
I.2.1. Contexte générale du projet	6
I.2.2. Justification et Objectifs du projet	6
I.2.3. Description du projet	7
I.2.4. Localisation du projet	7
I.2.5. Présentation et Analyse du fond topographique du tronçon étudié	8
Conclusion Partielle	8
Chapitre II : MATÉRIELS ET MÉTHODES	9
Introduction	9
II.2.1. Matériels utilisés	9
II.2.1.1. Supports numériques et physiques de notre étude	9
II.2.1.2. Outils de traitement des données de notre étude	9
II.2.2. Méthodologie d'étude	10
II.2.2.1. Méthode d'étude géométrique de la route	10
II.2.2.2. Méthode d'étude du Trafic et de dimensionnement de la chaussée	11
II.2.2.3. Méthode d'étude hydrologique et hydraulique	12
II.2.2.4. Méthode de conception et dimensionnement du pont	14
II.2.2.5. Aperçu d'impact environnemental et social	17
II.2.2.6. Signalisation routière	17
Conclusion partielle	17
Chapitre III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	18
Introduction	18

III.1.	Conception géométrique de la route.....	18
III.2.	Signalisation routière.....	19
III.3.	Dimensionnement structurelle de la chaussée	21
III.3.1.	Etude de Traffic.....	21
III.3.2.	Détermination des différentes variantes de structure de chaussée selon le CEBTP	21
III.3.3.	Calcul des contraintes admissible et vérification de la structure de chaussée retenue sur Alizé	22
III.4.	Etude Hydrologique et Hydraulique	26
III.4.1.	Étude hydrologique	26
III.4.2.	Étude hydraulique	26
III.4.2.1.	Détermination du débouché linéaire.....	26
III.4.2.2.	Détermination de la hauteur des plus hautes eau (YPHE).....	26
III.4.2.3.	Détermination de l'exhaussement maximal (Δh)	26
III.4.2.4.	Détermination de la hauteur du pont	27
III.5.	Conception et étude technique du Pont.....	27
III.5.1.	Conception du pont	27
III.5.1.1.	Analyse Multicritère et choix du type pont entre les variantes envisagées	27
III.5.1.2.	Prédimensionnement de la variante choisie	27
III.5.1.3.	Equipement du tablier	28
III.5.2.	Etude technique du pont à poutre.....	29
III.5.2.1.	Calcul des charges permanentes et des surcharges	29
III.5.2.2.	Détermination des sollicitations des éléments du tablier	30
III.5.2.3.	Ferraillages des élément structuraux du tablier.....	35
	Conclusion partielle.....	37
	Chapitre IV : Aspect d'impact environnemental.....	38
	Introduction	38
II.4.1.	Aspect d'impact environnemental.....	38
II.4.2.	Evaluation des impacts de notre projet	38
II.4.3.	Mesures d'atténuation préconisées	39
	Conclusion Partielle	39
	CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS	40
	Bibliographie.....	42
	Annexes	43

Remerciements

La rédaction de ce rapport n'aurait été possible sans le soutien précieux de nombreuses personnes. Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à toutes ces personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail et de ce document. Ainsi nous adressons nos sincères remerciements à :

- ❖ **Monsieur Tiraogo Hervé OUEDRAOGO, Directeur Général** de AGEIM -IC, pour l'opportunité qu'il nous a donné d'effectuer notre stage au sein de son agence ;
- ❖ **Professeur Abdou LAWANE GANA**, notre Directeur de Mémoire pour sa disponibilité malgré ses nombreuses occupations et pour son accompagnement perpétuel tout au long de ce stage ;
- ❖ Monsieur Arouna YONABA, notre maître de stage pour sa disponibilité, ses bonnes orientations tout au long de notre travail et ses conseils judicieux ;
- ❖ Monsieur Brice KIEMA, Ingénieur à AGEIM-IC pour son aide et son partage d'expérience tout au long de ce stage
- ❖ A l'ensemble du personnel de AGEIM-IC pour leur accueil chaleureux et cadre convivial tout au long de ce stage
- ❖ **M. le Directeur Général** de l'institut 2iE et ses collaborateurs, l'administration, les professeurs pour leurs sacrifices sans cesse pour notre éducation et la transmission de leurs savoirs ;
- ❖ A tous mes camarades stagiaires de AGEIM-IC et camarades de classe pour leur soutien indéfectible et leur encouragement ;

Nous remercions enfin toutes ces personnes qui nous ont soutenues et dont leurs noms n'ont pas été cités ici, nous leur témoignons notre gratitude la plus sincère.

Résumé

Après une observation de l'encombrement du trafic rendant les conditions de circulation difficiles au niveau des entrées de la ville. L'État burkinabè, à travers le ministre des Infrastructures, a lancé le projet d'élargissement et de modernisation de la route nationale N°4, sur la section entre l'intersection RD152 et l'intersection RD40 en 2×2 voies, y compris la voie d'accès à l'université Thomas Sankara, sur une longueur d'environ 23 km, ainsi que l'aménagement de voiries connexes.

L'étude de ce projet a été confiée à notre structure d'accueil AGEIM-Ingénieur conseils et intègre la réalisation de nouvel ouvrage d'art plus grand et moderne en vue de répondre aux problèmes liés à la circulation des biens et des personnes. Parmi ces ouvrages d'art, l'ouvrage d'art de franchissement du cours d'eau du Massili a fait l'attention de notre étude qui a pour objectif de proposer une solution technique fiable pour répondre aux besoins liés à la fluidité de la circulation. Pour atteindre cet objectif, nous avons procédé à une analyse multicritère pour effectuer le choix et le prédimensionnement du pont à étudier puis à son dimensionnement structurel et celui de la structure de chaussée des voies d'accès tout en respectant les différentes hypothèses et règles de calcul. Ensuite, nous avons procédé à l'étude hydrologique à travers une analyse fréquentielle des données hydrométriques du cours d'eau en vue d'obtenir le débit d'eau à évacuer sous le pont suivi d'une étude hydraulique en vue de déterminer le débouché linéaire et la hauteur du pont. Ainsi, nous avons proposé un pont à poutre rectangulaire 50×160 cm, ayant une portée de 24 m, un débouché linéaire de 23 m évacuant un débit de 38,6 m³, une hauteur de 5 m, disposant d'entretoise d'about 35×140 cm et un hourdis de 16 cm d'épaisseur. Une structure de chaussée des voies d'accès, constituée d'une couche de roulement en Béton bitumineux de 5 cm, une couche de base en GB de 10 cm, une couche de fondation en graveleux latéritique naturel améliorée au ciment de 20 cm et une couche de forme en graveleux latéritique naturel de 20 cm. Le profil en travers type est en toit. Par ailleurs, les enjeux environnementaux et sociaux de ce projet ont été identifier en vue de proposer des mesures d'atténuations.

Mot clés :

Ouvrage d'art

Analyse Multicritère

Tablier

Structures de chaussée

Impacts environnementaux

Abstract

After observing traffic congestion making driving conditions difficult at the entrances to the city, the Burkinabe government, through the Minister of Infrastructure, launched a project to widen and modernize National Road No. 4 on the section between the RD152 intersection and the RD40 intersection, converting it into a 2×2 lane road, including the access road to Thomas Sankara University, over a length of approximately 23 km, as well as the development of related roads.

The study of this project was entrusted to our host organization AGEIM-Ingénieur conseils and includes the construction of a new, larger, and more modern engineering structure to address issues related to the movement of goods and people. Among these structures, the bridge crossing the Massili River was the focus of our study, which aims to propose a reliable technical solution to meet the needs related to traffic flow. To achieve this objective, we carried out a multi-criteria analysis to select and pre-dimension the bridge to be studied, then to determine its structural dimensions and those of the access road pavement structure, while complying with the various assumptions and calculation rules. Next, we conducted a hydrological study using a frequency analysis of hydrometric data from the watercourse to determine the water flow to be discharged under the bridge, followed by a hydraulic study to determine the linear outlet and height of the bridge. We therefore proposed a rectangular beam bridge measuring 50×160 cm, with a span of 24 m, a linear outlet of 23 m draining a flow rate of 38.6 m³/s, a height of 5 m, with spacers measuring approximately 35×140 cm and a 16 cm thick hollow core slab. The access road pavement structure consisted of a 5 cm layer of asphalt concrete, a 10 cm layer of GB base, a 20 cm layer of natural lateritic gravel foundation improved with cement, and a 20 cm layer of natural lateritic gravel subgrade. The typical cross-section is roof-shaped. In addition, the environmental and social issues of this project have been identified with a view to proposing mitigation measures.

Keys words :

Structures

Multi-criteria analysis

Deck

Pavement structures

Environmental impact

Listes des Abréviations et Sigles

AGEIM-IC	Agence d'Étude d'Ingénierie de Maitrise d'Ouvrage-Ingénieurs Conseils
ARP	Aménagement des Routes Principales
BAEL	Béton Armé aux Etats Limites
BB	Béton Bitumineux
BCEOM	Bureau Central d'Étude pour les équipements d'Outre-Mer
BTP	Bâtiment Travaux Publics
BV	Bassin Versant
CBR	California Bearing Ratio.
CCTP	Cahier des Clauses Techniques Particulières
CEBTP	Centre Expérimental de Recherche et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics.
CIEH	Comité Interafricain d'Étude Hydraulique
ELS	Etat Limite de Service
ELU	Etat Limite Ultime
GB	Grave Bitume
GC	Génie Civil
GL	Graveleux Latéritique
GNT	Grave Non Traité
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.
MID	Ministère des Infrastructures et du Désenclavement
PL	Poids Lourds
PSI-BA	Passage Supérieur ou Inférieur à poutres en Béton Armé
PSI-DA	Passage Supérieur ou Inférieur en Dalle Armé
RN	Route Nationale
SARL	Société à Responsabilité Limitée
SETRA	Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes.
UEMOA	Union Economique et Monétaire Ouest Africaine

Listes des tableaux

Tableau 1: Caractéristiques géométriques du tracé en plan	10
Tableau 2:Caractéristiques géométriques du profil en long	10
Tableau 3:Caractéristiques géométriques du profil en travers type	10
Tableau 4:Données de base pour l'étude du trafic	11
Tableau 5:Classe du trafic en fonction du nombre d'essieu équivalent	12
Tableau 6: Poids des superstructures.....	16
Tableau 7: Coefficient de combinaison des charges.....	16
Tableau 8: Variante de structure de chaussée proposée à partir du CEBTP.....	21
Tableau 9:1ère structure de chaussée améliorée.....	23
Tableau 10: 2ème structure de chaussée améliorée.....	24
Tableau 11: Structure de chaussée retenue.....	26
Tableau 12:Récapitulatif prédimensionnement du pont à poutre.....	27
Tableau 13:Tableau récapitulatif des charges permanentes calculées.....	29
Tableau 14:Surcharges du tablier	30
Tableau 15: Moment sur hourdis suivant X.....	33
Tableau 16: Moment sur hourdis suivant Y.....	34
Tableau 17:Récapitulatif ferrailage poutre.....	35
Tableau 18:Récapitulatif ferrailage entretoise.....	36
Tableau 19:Récapitulatif ferrailage hourdis	36
Tableau 20: Récapitulatif des mesures d'atténuation.....	39
Tableau 21: Variantes de structure de chaussée proposée à partir du guide CEBTP.....	49
Tableau 22:Récapitulatif du coût des différents matériaux.....	54
Tableau 23: Coût de Fourniture et de mise en œuvre des structures de chaussée.....	55
Tableau 24:Données Hydrométriques	56
Tableau 25:Calcul Yphe.....	60
Tableau 26:Détermination de K^*	61
Tableau 27: Détermination de (Δh)	61
Tableau 28: Analyse Multicritères.....	63
Tableau 29:Caractéristiques du pont	70
Tableau 30: Coefficient multiplicateurs de $A(l)$	70
Tableau 31: Récapitulatif du calcul de $A(l)$	71
Tableau 32: Coefficients bc.....	72

CONCEPTION ET ÉTUDE TECHNIQUE D'UN PONT SUR LE FLEUVE MASSILI DE LA ROUTE NATIONALE
N°4 AU BURKINA FASO

Tableau 33: Charges appliqué à l'entretoise	83
Tableau 34: Tableau des combinaisons de charges	85

Liste des figures

Figure 1: Organigramme AGEIM -Ingénieur Conseils	5
Figure 2: Localisation de la zone d'étude	7
Figure 3: Types de lignes sur une chaussée.....	20
Figure 4: Présence d'un dos d'âne.....	20
Figure 5: Vitesse limité à 50 km/h.....	20
Figure 6: Vérification avec Alizé des déformations de la première structure de chaussée choisi	23
Figure 7: Comparaison des valeurs de déformation de la 1ère structure de chaussée à celle admissible.....	24
Figure 8: Comparaisons des valeurs de déformation de la 2ème structure de chaussée à celle admissible.....	25
Figure 9: Diagramme de comparaison du coût des deux structures de chaussée améliorées ...	25
Figure 10: Diagramme des moments fléchissant à l'ELU des poutres	30
Figure 11: Diagramme des efforts tranchants à l'ELU des poutres	31
Figure 12: Diagramme des moments de l'entretoise	32
Figure 13: Diagramme des efforts tranchant de l'entretoise.....	32
Figure 14: Cartographie panneaux des moments à l'ELU suivant X	33
Figure 15: Cartographie panneaux des moments à l'ELU suivant Y	34
Figure 16: Cartographie panneaux effort tranchant maximal	35
Figure 17: Flèches directionnelles.....	45
Figure 18: Flèche de rabattement	45
Figure 19: Différents types de panneaux verticaux.....	46
Figure 20: Calcul de la déformation verticale admissible sur Alizé	50
Figure 21: Calcul allongement admissible pour GB 4	51
Figure 22: Calcul allongement admissible pour BB	51
Figure 23: Calcul contrainte admissible.....	52
Figure 24: Vérification de la 1ere structure de chaussée choisie à partir du CEBTP sur Alizé	53
Figure 25: Vérification de la 1ere structure de chaussée améliorée sur Alizé	53
Figure 26: Vérification de la 2eme structure de chaussée améliorée sur Alizé.....	54
Figure 27: Résultats des débits obtenus avec la loi de Gumbel	57
Figure 28: Test d'adéquation ($[\chi]^2$) avec la loi de Gumbel.....	58
Figure 29: Résultats des débits obtenus avec la loi de Pearson	58

Figure 30: Test d'adéquation (χ^2) avec la loi de Pearson	59
Figure 31: Abaque de Bradley	61
Figure 32: Camion Bc	72
Figure 33: Camion Bc Niger	73
Figure 34: Camion Bt	74
Figure 35: Camion Br	75
Figure 36: Système Mc 120	76
Figure 37: Convoi exceptionnel type D	76
Figure 38 : Convoi exceptionnel type E	77
Figure 39: Interface de Robot structural Analysis	78
Figure 40: Modélisation du Tablier	79
Figure 41: Modélisation de l'entretoise	79
Figure 42: Génération du poids propre	80
Figure 43: Application des charges additionnelles permanentes	81
Figure 44 : Application A(l) et des autres surcharges	81
Figure 45: Configuration et définition des différentes charges roulantes	82
Figure 46: Application des charges sur l'entretoise	83
Figure 47: Fond topographique	98
Figure 48: Délimitation du Bassin Versant	98

INTRODUCTION GÉNÉRALE

« La route du développement passe par le développement de la route », nous disait Modibo KONÉ. Le développement économique d'un pays repose en grande partie sur la qualité de ses infrastructures routières. Cette réalité est tangible au Burkina Faso, car le transport terrestre constitue l'un des principaux moyens d'échanges entre les différentes localités du pays et avec les pays voisins. Fort de ce constat, l'État burkinabè s'est lancé depuis quelques années dans un vaste projet de modernisation des principales artères de la ville de Ouagadougou en vue de les désengorger et de répondre aux problèmes liés à la mobilité des biens et des personnes, à la fluidité du trafic et à la sécurité des usagers. A travers ce programme, le gouvernement burkinabè a initié plusieurs actions notamment :

- L'aménagement des artères principales, et entrée et sortie de la ville de Ouagadougou ;
- La réalisation de plusieurs nouveaux ouvrages de franchissement ;
- La réalisation des échangeurs.

C'est dans ce contexte que le **projet d'élargissement et de modernisation de la route nationale N°4 : section intersection RD152-intersection RN40, y compris la voie d'accès à l'université Thomas SANKARA**, a été initié. Ce projet s'impose par observation de l'encombrement du trafic rendant les conditions de circulation difficiles au niveau des entrées de la ville. A terme, ce projet permettra d'améliorer la sécurité des usagers et des riverains, de fluidifier le trafic routier et donc la mobilité des biens et des personnes. Il permettra, en outre, de :

- Améliorer la circulation à la sortie de la ville de Ouagadougou sur cet axe ;
- Obtenir un gain de temps considérable pour les usagers ;
- Faciliter le transport et le transit des marchandises dans la ville de Ouagadougou en provenance des pays voisins et de l'intérieur du pays ;
- Faciliter la mobilité des populations riveraines et environnantes ainsi que leur développement socio-économique.

Ce projet intègre plusieurs ouvrages de franchissant plus grands, larges et modernes en vue de répondre aux problèmes liés à la fluidité de la circulation. Parmi ces ouvrages de franchissement, nous avons l'ouvrage de franchissement du fleuve Massili à Gampela. Cet ouvrage étant l'ouvrage de franchissement majeur de ce projet a fait l'objet d'une attention

particulière dans notre étude en raison de son importance et du fait du franchissement d'un cours d'eau. C'est au regard de ce qui précède que notre étude s'est portée autour du thème : « **Conception et étude technique d'un pont sur le fleuve Massili de la route nationale n°4 au Burkina Faso** »

L'objectif général visé de cette étude est de proposer une solution technique fiable pour répondre aux besoins liés à la fluidité de la circulation, la mobilité des biens et des personnes et la sécurité routière.

Pour atteindre cet objectif général, plusieurs objectifs spécifiques ont été définis :

- Proposer la conception d'un nouveau pont franchissant le cours d'eau intégrant tous les éléments structuraux associés et adapté aux flux de circulation actuels et futurs ;
- Effectuer une étude technique détaillée du pont incluant l'étude hydrologique et hydraulique ;
- Effectuer un dimensionnement des voies d'accès du nouveau pont ;
- Donner un aperçu d'impact environnemental et social, proposer des mesures d'atténuation et une estimation des coûts ;

La méthodologie utilisée reposera sur une recherche documentaire, une collecte et analyse de des données, et une présentation d'un aperçu d'impact environnemental et social ainsi que l'estimation des coûts.

Ce présent document s'articule en 4 grands chapitres :

- Le premier chapitre traite d'une présentation générale de la structure d'accueil et du projet ;
- Le deuxième chapitre expose les différentes méthodologies d'études appliquées à savoir la méthodologie de la conception géométrique routière, du dimensionnement de la structure de chaussée des voies d'accès, de la conception et l'étude de l'ouvrage d'art, de l'étude hydraulique et hydrologiques et l'ensemble des matériels utilisés ;
- Le troisième chapitre présente l'ensemble des résultats obtenus ;
- Le quatrième chapitre concerne l'aperçu d'impacts environnemental et social incluant la proposition de mesures d'atténuation ;

Ce document fait la synthèse de toute notre étude.

Chapitre I : PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET

Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons notre structure d'accueil et le projet sur lequel porte notre étude. D'abord, nous décrirons notre structure d'accueil AGEIM-Ingénieur en mettant en avant leurs objectifs et missions, leurs domaines d'intervention et leur rôle dans le développement des infrastructures routières au Burkina Faso. Ensuite, nous présenterons le projet d'élargissement et de modernisation de la route nationale N°4 à travers une exposition de ses objectifs, sa situation géographique et son importance socio-économique. Enfin, nous ferons une petite présentation de notre fond topographique.

I.1. Présentation de la structure d'accueil

I.1.1. Historique

Créée en janvier 2000 (immatriculée en mai 2000 et modifiée en 2017) en tant qu'une SARL avec un capital social de 200 000 000 franc CFA, l'Agence d'Etude d'Ingénierie et de Maîtrise d'œuvre (AGEIM-Ingénieurs Conseils) est un cabinet pluridisciplinaire et compétent spécialisé principalement dans les études d'ingénierie et la gestion de projets. Son siège social est situé au Burkina Faso, plus précisément dans la ville de Ouagadougou.

I.1.2. Objectifs et Missions de AGEIM-IC

AGEIM-IC a plusieurs missions qui sont :

- Identification et évaluation des projets ;
- Reconnaissance des sites ;
- Faire des études préliminaires des projets, des études économiques, de faisabilité, détaillées et d'exécution ;
- Produire des dossiers de consultations des entreprises ;
- Supervision et contrôle des travaux ;
- Faire des études d'impact environnemental et social des projets ;
- Elaborer des plans de développement ;
- Organiser des séminaires ;
- Offrir des formations intra entreprise ou inter-entreprise

I.1.3. Domaines d'interventions et Organigramme de AGEIM-IC

AGEIM-IC intervient dans plusieurs secteurs d'activités qui sont :

- ❖ Infrastructures de transports :
 - ✓ Routes,
 - ✓ Autoroutes
 - ✓ Voiries
 - ✓ Pistes
 - ✓ Réhabilitation des infrastructures de transports
 - ✓ Chaussées aéroportuaires
 - ✓ Topographie
 - ✓ Voies ferrées
 - ✓ Géotechnique
- ❖ Bâtiments et ouvrages d'art :
 - ✓ Structures métalliques et bois
 - ✓ Pont (Béton armé, béton précontraint)
 - ✓ Ouvrages spéciaux (Réservoir surélevés)
 - ✓ Bâtiments
- ❖ Aménagements hydrauliques et Hydro-agricoles :
 - ✓ Barrages
 - ✓ Assainissement eaux pluviales et eaux usées
 - ✓ Adduction d'eau potable
 - ✓ Périmètres irrigués

Par ailleurs AGEIM-IC est certifiée ISO 9001 :2015 en management qualité grâce à la qualité des travaux dans plusieurs pays d'Afrique comme le Burkina Faso (Echangeur du nord), la Côte d'Ivoire (pont de Jacquville), Niger (échangeur rondpoint Kennedy), Sénégal (contrôle des travaux de la RN6) etc.

En ce qui concerne la structuration administrative, AGEIM-IC est structuré comme l'indique son organigramme ci-dessous :

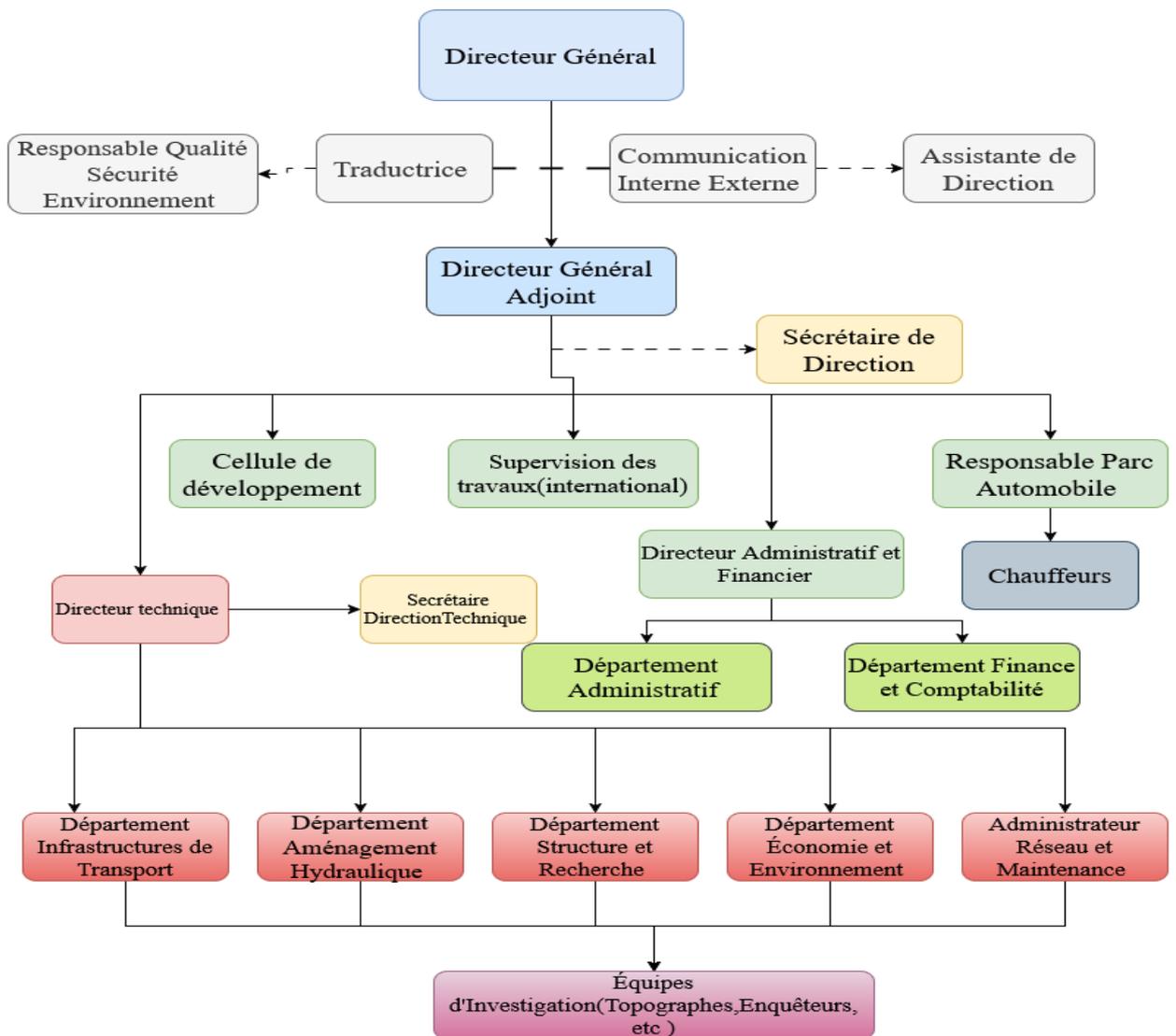


Figure 1: Organigramme AGEIM - Ingénieur Conseils

I.2. Présentation du Projet

I.2.1. Contexte générale du projet

Dans le cadre de la modernisation du réseau routier national, le Gouvernement Burkinabè a lancé un vaste programme ambitieux de restructuration du réseau national urbain et périurbain afin de fluidifier le trafic à l'intérieur de la capitale, et d'améliorer la sécurité des usagers et des riverains. Par conséquent, depuis octobre 2019, les travaux de construction et de bitumage des voies de contournement de la ville de Ouagadougou, sur une distance de 125 km, sont en cours de réalisation.

I.2.2. Justification et Objectifs du projet

Dans le cadre de ce vaste programme de restructuration, il a été constaté que les sorties Est et Nord de Ouagadougou font face à un trafic dense se traduisant par une circulation très lente. Cette situation provoque très souvent des ralentissements voire des arrêts complets de la circulation et divers autres désagréments, à savoir l'allongement du temps de parcours, l'augmentation de la pollution et les risques élevés d'accidents.

Pour résoudre ces difficultés, l'État burkinabè, par l'intermédiaire du ministère des Infrastructures et du Désenclavement (MID), a lancé un projet d'élargissement de ces différents axes de circulation. Financé par le MID à travers le budget de l'État, ce projet comprend l'étude, le contrôle et la surveillance des travaux d'élargissements et de modernisation de la RN4, sur la section entre l'intersection RD152 et l'intersection RD40 en 2×2 voies, y compris la voie d'accès à l'université Thomas Sankara, sur une longueur d'environ 23 km, ainsi que l'aménagement de voiries connexes.

Ces aménagements ont pour but de rendre fluide la circulation, d'améliorer la sécurité routière sur la RN4, un axe majeur qui supporte un trafic important tant pour les véhicules particuliers que pour les poids lourds assurant le transport de marchandises en provenance et à destination des pays voisins. Par ailleurs, l'aménagement de la voie d'accès à l'université ainsi que des voiries connexes permettra de :

- Assurer une accessibilité dans de meilleures conditions de sécurité à l'Université Thomas Sankara ;
- Fluidifier la circulation et réduire les pertes de temps dues aux importants embouteillages ;
- Améliorer les conditions de sécurité pour les usagers de la route.

- Contribuer à l'amélioration de la qualité de vie des populations ;
- Réduire les nuisances sonores et atmosphériques en optimisant la fluidité du trafic automobile.

Le financement du projet est assuré par l'état Burkinabè, en partenariat avec VISTA BANK Burkina Faso.

I.2.3. Description du projet

Le projet d'élargissement et d'aménagement de la RN4, prévoit entre autres la réalisation d'une chaussée 2×2 voies revêtue de béton bitumineux, avec un Terre-Plein Central (TPC). Il inclut des ponts, des carrefours giratoires, deux carrefours plans, un carrefour dénivelé ainsi que des trottoirs. En ce qui concerne l'assainissement routier, des caniveaux rectangulaires et des dalots cadres en béton seront réalisés. Par ailleurs, le projet comprendra des arrêts de bus, des aires de stationnement, de la signalisation verticale et horizontale et de l'éclairage public.

I.2.4. Localisation du projet

Long de 23 km, le projet d'élargissement et de modernisation de la RN4, débute à la section d'intersection RD 152 jusqu'à l'intersection RD 40. Le tronçon étudié est de 1,75 km de long, allant du PK 10+250 au PK 12+000 incluant principalement un nouveau pont et ses voies d'accès. Il est situé dans la région du centre, plus précisément dans la commune de Saaba, couvrant une superficie de 520 km² et comprenant 23 villages administratifs.

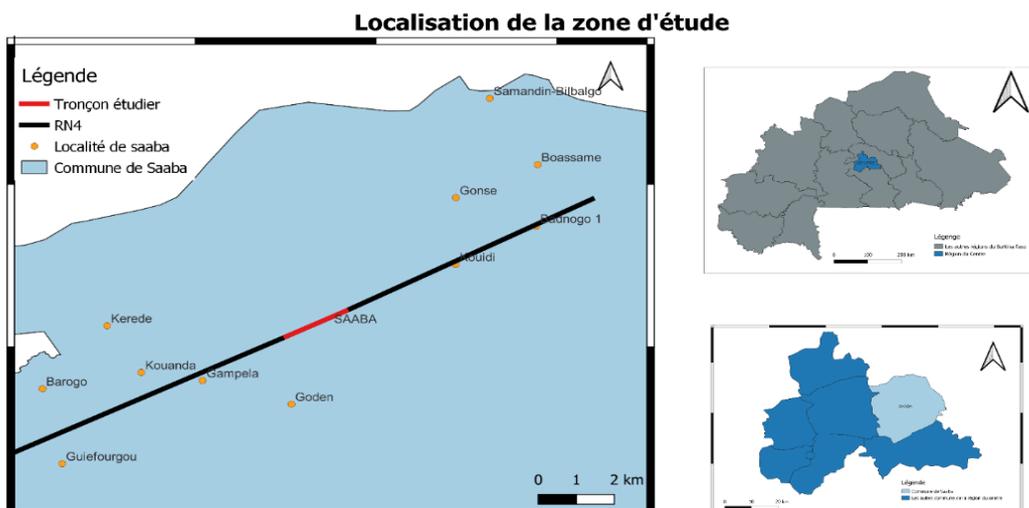


Figure 2: Localisation de la zone d'étude

I.2.5. Présentation et Analyse du fond topographique du tronçon étudié

Le fond topographique mis à notre disposition matérialise parfaitement les différents éléments rencontrés sur le site et qui sont essentiels pour une bonne étude de notre tronçon. Nous observons, entre autres :

- Des arbres ;
- Des panneaux publicitaires ;
- Des habitations ;
- Des commerces ;
- Des limites et seuil d'entrée d'habitation ;
- Des dalots ;
- La chaussée existante ;
- Les talus ;
- Le cours d'eau (Massili) ;
- Le pont existant etc.

Par ailleurs nous nous sommes rendus sur site afin d'avoir une idée réelle des lieux pour garantir une bonne conduite de notre étude.

Le fond topographique est présenté en annexe 8.

Conclusion Partielle

Ce chapitre a permis de présenter d'abord la structure d'accueil, ses objectifs et missions, ses domaines d'intervention ainsi que son organisation interne. Il faut noter que AGEIM-IC joue un rôle important dans la réalisation des infrastructures au Burkina Faso et dans les pays de la sous-région. Elle intervient principalement dans le domaine des infrastructures de transports, du bâtiment et des aménagements hydro-agricoles

Ensuite, nous avons présenté notre projet d'étude qui a pour objectif de répondre aux défis liés à la mobilité urbaine, la sécurité routière et le développement socio-économique. Enfin, nous avons présenté notre fond topographique en citant les différents éléments observés sur le terrain.

Chapitre II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

Introduction

Dans ce chapitre, nous mettons en lumière les différents matériels utilisés, à savoir les supports numériques ou physiques et les logiciels utilisés pour le traitement des données. Par ailleurs, nous détaillons les différentes méthodes à savoir la méthode d'étude géométrique de la route, la méthode d'étude du trafic et du dimensionnement de la chaussée, la méthode d'étude hydrologique et hydraulique et la méthode de conception et de dimensionnement du pont.

II.2.1. Matériels utilisés

II.2.1.1. Supports numériques et physiques de notre étude

Il s'agit notamment de l'ensemble des documents consultés qui sont issus de la documentation et de la collecte de données, qui nous a permis de mener notre étude et de produire ce mémoire (Confère la revue bibliographie).

II.2.1.2. Outils de traitement des données de notre étude

Plusieurs logiciels ont été utilisés pour le traitement des données. Ce sont notamment :

- AutoCAD pour la conception et la réalisation des différents plans techniques ;
- Piste pour la conception géométrique routière ;
- Alizé -LCPC pour le calcul, la vérification et le choix des structures de chaussées ;
- Robot Structural Analysis pour le dimensionnement structurel ;
- QGIS pour la réalisation de nos cartes ;
- Pack office pour la rédaction et la présentation des données ;
- Hyfran Plus pour la détermination du Débit centennale.

II.2.2. Méthodologie d'étude

II.2.2.1. Méthode d'étude géométrique de la route

L'étude géométrique de la route consiste à faire ressortir les caractéristiques géométriques de la route, notamment le tracé en plan de l'axe de la voie, le profil en long, les profils en travers. Elles se font selon une norme de conception géométrique qui permet de déterminer le type de route qui fixe les règles de conception pour les carrefours, les points d'échanges, les accès et la catégorie de route (à l'intérieur de chaque type) qui fixe les principales caractéristiques du tracé.

Dans notre cas, nous avons utilisé la norme de l'Aménagement des Routes Principales (ARP) et les caractéristiques géométriques des différents tracés sont données dans les tableaux suivant :

- Pour le tracé en plan

Tableau 1: Caractéristiques géométriques du tracé en plan [1]

Catégorie de la route	R60	T80 R80	T100
Vitesse de référence	60	80	100
Rayon minimal : Rm (m)	120	240	425
Rayon au devers minimal : Rdm (m)	450	650	900
Rayon non déversé : Rnd (m)	600	900	1300

Ce tableau présente les rayons minimaux à respecter ainsi que la vitesse de référence selon le type de route pour la réalisation du tracé en plan.

- Pour le profil en long

Tableau 2:Caractéristiques géométriques du profil en long [1]

Catégorie de la route	R60	T80 R80	T100
Déclivité maximale (%)	7	6	5
Rayon minimal en angle saillant (m)	1500	3000	6000
Rayon minimal en angle rentrant (m)	1500	2200	3000

Ce tableau présente les déclivités maximales à ne pas dépasser ainsi que les rayons minimaux en angle saillant et entrant à respecter selon le type de route lors de la réalisation du profil en long.

- Pour le profil en travers

Tableau 3:Caractéristiques géométriques du profil en travers type [1]

Catégorie de la route	R60	T80 R80	T100
Dévers maximal (%)	7	7	7
Dévers Minimal (%)	2,5	2,5	2,5

Ce tableau présente le devers maximale et minimal à respecter pour le tracé du profil en travers

II.2.2.2. Méthode d'étude du Trafic et de dimensionnement de la chaussée

L'étude du trafic consiste à déterminer le nombre de poids lourds en nombre d'essieu équivalent en vue de déterminer la catégorie de trafic. Le dimensionnement de la chaussée consiste à proposer différentes variantes de structure de chaussée (nature des matériaux et épaisseur des couches consécutives de la chaussée) à partir de la catégorie du trafic et la classe du sol support. Par ailleurs, la déformation verticale ε_z , l'allongement ε_t et la contrainte σ_t de notre structure de chaussée choisie sont calculés et vérifiés par rapport aux valeurs admissibles. Pour l'étude du trafic, elle a été faite à partir de données de base fournies par AGEIM et la procédure est la suivante :

Tableau 4:Données de base pour l'étude du trafic

Année de Comptage	2021
Année de mise en service	2027
Durée de vie	15
Taux de croissance géométrique	6%
Année de fin de service	2042
Coef de répartition 2X2 voies (CRT)	0,5
Coef d'agressivité Moyen CAM	1
TMJA en 2021(dans les 2 sens)	TMJA en 2027 (dans les 2 sens)
1094	1552

✓ **Détermination du Trafic moyen journalier par sens**

$$TMJA/sens = TMJA_{2027} \times CRT$$

✓ **Détermination du trafic cumulé pendant la durée de vie**

$$N = 365 \sum_1^n t_n = 365 t_1 \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad [2]$$

Avec :

t_1 : trafic moyen journalier de la 1ere année (dans notre cas le TMJA 2027/sens)

i : taux d'accroissement annuel du trafic

n : Durée de vie

✓ **Détermination du trafic en nombre d'essieu équivalent**

$$NE = NPL \times CAM \quad [2]$$

La classe du trafic, qui est fonction du NE, est déterminée à partir du tableau 5 qui donne la classe du trafic selon les valeurs du NE.

Tableau 5: Classe du trafic en fonction du nombre d'essieu équivalent [2]

Classe du Trafic	Nombre de PL
$T1$	$T < 5.10^5$
$T2$	$5.10^5 < T2 < 1.5.10^6$
$T3$	$1.5.10^6 < T3 < 4.10^6$
$T4$	$4.10^6 < T4 < 10^7$
$T5$	$10^7 < T5 < 2.10^7$

Les différentes déformations admissibles de la chaussée sont calculées avec le logiciel Alizé. Les structures de chaussée sont proposées selon CEBTP, mais le choix de la structure de chaussée adéquate et optimal est faite sur la base d'une comparaison en termes de disponibilité des matériaux, leur coût et leurs valeurs de déformation qui doit être inférieur aux valeurs admissibles.

II.2.2.3. Méthode d'étude hydrologique et hydraulique

Il existe plusieurs méthodes d'étude hydrologique pour déterminer les crues centennales ou décennales. Les plus utilisés, connus et classiques sont :

- La méthode ORSTOM appliquée aux bassins versants dont la superficie est inférieure à 200 km² en Afrique occidentale ;[3]
- La méthode rationnelle applicable aux bassins versants dont la superficie ne dépasse pas 4km² ;[3]
- La méthode CIEH applicable aux bassins versants dont la superficie est inférieure à 2500 km² en Afrique francophone.[4]

Par ailleurs, on utilise également l'analyse fréquentielle qui permet d'obtenir les débits de crue pour des périodes de retour données à partir de données hydrométriques sur un certain nombre d'années. Cette analyse utilise des lois telles que la loi de Gumbel ou la loi de Pearson appliquée avec les débits annuels maximaux ou les pluies journalières maximales, et la loi normale appliquée avec les pluies annuelles ou débits moyens annuels.

Dans le cadre de notre projet, nous avons effectué une analyse fréquentielle avec le logiciel HyfranPlus en utilisant la loi de Gumbel et la loi de Pearson avec des données hydrométriques (Débits Maximaux Annuels) sur le Massili car le bassin versant du Massili, après délimitation sur le logiciel Global Mapper (voir annexe 8) donne une superficie de 2651,2 km² ce qui est largement supérieur aux valeurs recommandées pour l'utilisation des méthodes classiques. Nous avons opté pour les résultats donnés par la loi Pearson car son ajustement est meilleur en

observant le test d'adéquation du Chi carré (χ^2) qui nous a permis de faire ce choix. En effet le test d'adéquation du Chi carré (χ^2) permet de juger l'adéquation d'une loi. L'adéquation est admise si $P(\chi^2) \geq \alpha$, avec α pris égale à 0,05 le seuil du risque d'adéquation, elle rejeté si $P(\chi^2) \leq \alpha$ (Voir annexe 4).

L'étude hydraulique a consisté à estimer la hauteur à laquelle notre nouvel ouvrage d'art pourra être situé. La procédure est la suivante :

✓ **Détermination du débouché Linéaire**

Elle est calculée à partir de la formule de LACY qui est la suivante :

$$L = 0.3048 \times \sqrt{35.315} \times b \times \sqrt{Q}$$

Avec :

b : un facteur multiplicatif qui est fonction du terrain (le sol) pris égale à 1,8 car on a un sol argileux

Q : Le Débit centennale en m^3/s

✓ **Détermination de la hauteur de l'eau (Y_{PHE})**

Pour déterminer les Y_{PHE} nous avons appliqué la méthode de la débitance qui est un calcul itératif basé sur la formule de calcul de débit de Manning Strickler. Nous supposons une section de canal rectangulaire de largeur b égale au débouché linéaire.

$$\text{Formule de Manning Strickler : } Q = K_s \times S_{(y)} \times Rh^{\left(\frac{2}{3}\right)}_{(y)} \times \sqrt{I}$$

Avec I : la pente ; Rh : Rayon hydraulique ; S : Section mouillé

$$\frac{Q}{\sqrt{I}} = K_s \times S_{(y)} \times Rh^{\left(\frac{2}{3}\right)}_{(y)} = D_{(y)} \text{ (Méthode de la débitance)}$$

✓ **Détermination de l'exhaussement (Δ_h)**

Il est calculé à l'aide de la méthode de Bradley qui propose la formule suivante :

$$\Delta_h = K^* \frac{V_a^2}{2g} [5]$$

Avec : V_a : la vitesse moyenne de l'écoulement dans la section rétrécie

g : la pesanteur pris égale à 9,81 m/s^2

$K^* = K_b + \Delta K_p + \Delta K_e$ [5]; avec K_b tenant compte de la contraction latérale M, de la forme des culées et de la longueur à franchir. Dans notre cas, nous avons une rivière à franchir, et à l'aide du logiciel Google Earth et la sortie sur site, nous avons estimé la largeur du lit majeur du cours d'eau à 95 m que nous avons utilisée dans la suite de nos calculs.

ΔK_p : tenant compte de l'obstruction j due aux piles, ΔK_e : tenant compte de la contraction M et l'excentrement

✓ Détermination de la hauteur du pont

$H_{\text{pont}} = Y_{\text{phe}} + \Delta h + R$ avec R la revanche,

II.2.2.4. Méthode de conception et dimensionnement du pont

Pour la conception du pont, elle vise à proposer une structure répondant aux exigences techniques et économiques du projet. Par ailleurs, elle a pour but de donner tous les équipements nécessaires à l'ouvrage pour son bon fonctionnement. Dans notre cas, nous procéderons à une analyse multicritère de deux variantes, à savoir un pont à poutre en béton armé (PSIBA) et un pont dalle (PSIDA). Les critères considérés sont entre autres : La longueur d'une travée courante (Domaine d'emploi courant), les contraintes de construction, la faisabilité locale, le coût, le coût d'entretien, le temps de construction, l'impact environnemental.

A l'issue de l'analyse multicritère, un choix plus adapté et optimal sera effectué pour le prédimensionnement et l'étude technique. En outre, les équipements nécessaires à son bon fonctionnement seront énumérés.

L'étude technique du pont est axée principalement sur le dimensionnement des éléments structuraux tout en tenant compte des normes en vigueur et des différentes hypothèses de charges. Elle englobe la définition des normes, règlements et hypothèses de calcul, des différentes charges et surcharges applicables sur le pont, les coefficients de combinaisons de charges, qui permettent de calculer les charges et les surcharges à appliquer, d'effectuer la descente de charges et de déterminer les sollicitations. Il faut noter que la descente de charge et la détermination des sollicitations des différents éléments du tablier est faite à partir du logiciel Robot Structural Analysis et celle des sections d'armatures sont faites manuellement principalement pour les Poutres, l'entretoise et pour le hourdis à partir des règles de dimensionnement en Béton Armé données par le BAEL.

Les normes, règlements, hypothèses de calcul, les différentes charges et surcharges applicables sur le pont et les combinaisons utilisées dans cette démarche d'étude sont donnés ci-dessous :

✓ Normes et règlements de calcul appliqués

Les normes énumérées ci-dessous, ont été utilisées dans le cadre de notre étude :

- Fascicule N°61 Titre II Conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art ;
- Fascicule N°62 Titre I Section I Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites (BAEL 91 révisé 99 : Béton Armé aux États Limites) ;

✓ Hypothèse de justification

✚ Caractéristiques des matériaux

- Le béton

Pour l'ensemble des éléments caractéristiques du tablier :

- $F_{c28} = 30 \text{ Mpa}$
- $F_{t28} = 0,6 + 0,06 \times 30 = 2,4 \text{ Mpa}$
- $\gamma_b = 1,5$
 - L'acier

Les aciers utilisés sont des armatures à haute adhérence (HA) de classe FE500, avec une limite d'élasticité de 500 Mpa.

- $\gamma_s = 1,15$

L'enrobage minimal des armatures est de 3 cm pour les ouvrages d'art.

- Type de fissuration

Le type de fissuration dépend du milieu ou de l'environnement et surtout de son agressivité dans lequel l'ouvrage est réalisé. Ainsi, dans le cadre de notre projet, la fissuration est très préjudiciable pour les fondations et les culées du fait de leur contact avec la rivière. Le tablier, quant à lui, sera dimensionné, en situation peu préjudiciable car elle est exposée à quelques intempéries qui ne le lui sont pas agressives.

✚ Définition des charges et surcharges

Les matériaux sont régis par la norme Française NFP 06-001

Les surcharges d'exploitations proviennent du Fascicule 61, Titre II

▪ Charges permanentes

Les charges de poids propres des ouvrages seront calculées à l'aide des poids volumiques suivants :

Poids volumiques du béton : $\gamma_b = 25 \text{ kN/m}^3$

Le poids des éléments du tablier est consigné dans le tableau ci-dessous :

Tableau 6: Poids des superstructures

Poids superstructures (charge nominal)		Kmax	Kmin
Enrobé (kN/m^3)	24	1,4	0,8
Etanchéité (kN/m^3)	22	1,4	0,8
Corniche (kN/ml)	1	1,03	0,97
Barriere BN4(kN/ml)	0,65

▪ Surcharges d'exploitation

Nous avons 4 types de surcharges d'exploitation qui ont été prises en compte dans le cadre de notre projet. Ce sont :

- Les charges routières normales avec deux systèmes différents : Système A et Système B
- Les charges routières à caractère particulier du type militaire et du type exceptionnel
- Les charges sur les trottoirs
- Les efforts dus aux freinages

▪ Combinaison des charges

Elles sont prises selon les prescriptions du BAEL 91 concernant les ponts routes. Elles sont consignées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 7: Coefficient de combinaison des charges

Type de charges	ELU	ELS
Charge permanente	1,35	1
Convoi normal (A, B)	1,6	1,2
Convoi Militaire (M)	1,35	1
Convoi exceptionnel (C, D)	1,35	1
Charge sur trottoir	1,6	1

II.2.2.5. Aperçu d'impact environnemental et social

Cette partie consistera à présenter quelques impacts potentiels positifs et négatifs de la réalisation et de l'exploitation de la route sur le milieu physique (sol, air, eau). Par ailleurs, nous allons proposer des mesures d'atténuation requises pour réduire les effets négatifs ainsi que l'estimation des coûts alloués à ce volet environnement.

II.2.2.6. Signalisation routière

Pour la signalisation routière, elle consistera à donner les signalisations verticales et horizontales que l'on pourrait rencontrer sur une route en général et sur notre projet.

Conclusion partielle

Ce chapitre donne l'ensemble des matériels utilisés pour notre étude. Par ailleurs, nous avons expliqué pour chaque étape concernant l'étude, la démarche suivie ainsi que les normes, règlements et formules de calculs et hypothèses prises en compte. Le prochain chapitre présente l'ensemble des résultats liés à notre étude.

Chapitre III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Introduction

Dans ce chapitre, nous donnerons les résultats obtenus en ce qui concerne la conception géométrique routière, l'étude du trafic et le dimensionnement de la chaussée, l'étude hydraulique et la conception et l'étude technique du pont.

III.1. Conception géométrique de la route

Dans le cadre de notre projet, notre route étant une route nationale, nous avons opté pour une route de type R et une catégorie de route R60 pour une circulation fluide et confortable, avec une vitesse de référence de 60 km/h, garantissant ainsi la sécurité et le confort des usagers.

Le tracé en plan

Le tracé en plan est une succession d'alignement en droit et de courbes qui sont soit des raccordement circulaire ou progressif. Elle est une vue de dessus de la route. Pour ce qui est de notre tronçon, nous avons trois alignements droits et deux raccordements circulaires faisant une longueur totale de 1,75 km. Les différents paramètres choisis selon l'ARP sont donnés en annexe 1 et ceux de notre tracé en annexe 8.

Le profil en long

Le profil en long est une coupe longitudinale de la route le long de l'axe. Elle met en évidence les pentes (déclivités) ou section horizontale de la route qui sont reliées entre elles par des raccordements paraboliques. Dans le cadre de notre projet, le rayon de raccordement parabolique a été pris égale à 5000. Les différents paramètres choisis selon l'ARP sont donnés en annexe 1 et ceux de notre profil en annexe 8.

Le profil en travers

Le profil en travers est une coupe transversale perpendiculaire d'une route. Elle met en évidence la structure de la route, à savoir les différentes couches de la chaussée et les différentes dimensions telles que la largeur de TPC, de l'accotement, de la piste cyclable et de la chaussée. Selon le TDR de notre projet, notre route est de 2×2 voies et le profil en travers est composé d'un TPC de 3,5 m, une chaussée de 7,5 m, une bordure de 0,3 m, une piste cyclable de 3,5 m, une bordure de 0,4 m et un trottoir de 2m.

On a deux types de profil en travers :

- ❖ Le profil en travers type est une pièce de base dessinée dans les projets routiers contenant tous les éléments constructifs de la future route dans toutes les situations (remblais, déblais). Dans notre cas on a 2 profils en travers type à savoir un profil en zone remblai et en zone déblai avec des devers de 2,5%. Les paramètres géométriques du profil en travers ont été pris selon la norme ARP qui sont donnés en annexe 1.
- ❖ Le profil en travers courant qui est l'application du profil en travers type au terrain naturel a une distance régulière ou non, définis servant à déterminer les cubatures (déblais et remblais du projet).

Les dessins des différents profils en travers type ainsi que le volume des cubatures sont présentés en annexe 8.

III.2. Signalisation routière

Signalisation horizontale

Elle correspond à l'ensemble des marquages représentés sur la route. Elles ont pour but d'indiquer sans ambiguïté les parties de la chaussée réservées aux différents sens de circulation ou à certaines catégories d'usagers, ainsi que dans certains cas la conduite que doit observer les usagers. C'est la couleur blanche qui est recommandée pour les marquages sur la chaussée. La largeur des lignes est définie par rapport à une largeur d'unité « u » propre à chaque type de routes. Les valeurs de « u » sont :

- $u = 7,5$ cm pour les autoroutes, les routes à chaussée séparée et les routes à 4 voies en zone rurale
- $u = 6$ cm pour les routes importantes notamment celle à fort trafic
- $u = 5$ cm pour toutes les autres routes
- $u = 3$ cm pour les pistes cyclables

Notre route étant une 2×2 voies, nous adoptons une valeur de u de 5 cm. Cette valeur restera constante tout au long de notre tronçon.

Par ailleurs, nous aurons principalement deux types de lignes sur la chaussée, les lignes discontinues de type T1 séparant la chaussée en 2 voies, autorisent un franchissement ou un dépassement, et les lignes continues qui interdisent le franchissement que ce soit par les véhicules ou les deux roues.

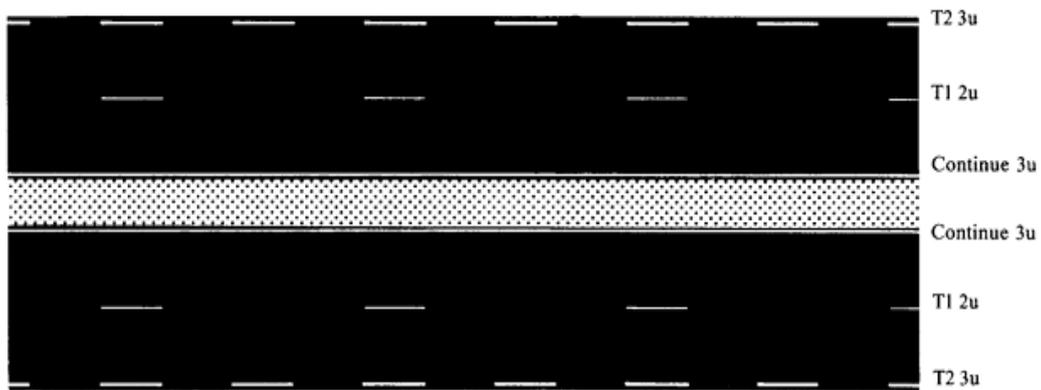


Figure 3: Types de lignes sur une chaussée

D'autres signalisations horizontales telles que les flèches de direction, de rabattement, les passages piétons sont aussi essentielles pour assurer une bonne régulation de la circulation.

Les différents marquages au sol sont présentés en annexe 2.

Signalisation verticale

Elle correspond à l'ensemble des panneaux que l'on peut retrouver sur une route qui permet, à travers leur couleur, leur forme, leur emplacement et leur type, de transmettre des messages visuels aux usagers de la route. Elles permettent, entre autres, de :

- Indiquer une direction ou une obligation à l'aide des panneaux ronds
- Fournir des informations ou des indications le long du trajet
- Avertir un danger à l'aide des panneaux triangulaires

Dans le cadre de notre projet, nous aurons par exemple un panneau indiquant un panneau de limitation de vitesse à l'entrée du pont, des panneaux signalant un danger comme les dos d'ânes.



Figure 4:Présence d'un dos d'âne

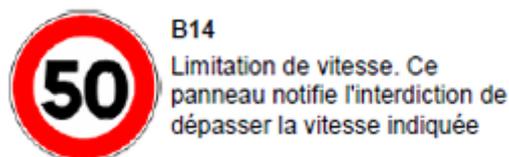


Figure 5: Vitesse limité à 50 km/h

Les différents types de panneaux verticaux sont présentés en annexe 2.

III.3. Dimensionnement structurelle de la chaussée

III.3.1. Etude de Traffic

Le trafic pris en compte pour le dimensionnement de la chaussée est le trafic cumulé pendant la durée de vie de la chaussée. Pour notre projet, après calcul nous avons obtenu un trafic cumulé de **6592685,71 PL, soit $6,5.10^6$ PL**. Le trafic en nombre d'essieux équivalent est également de **$6,5.10^6$ PL**. Cette valeur du trafic nous donne comme classe de trafic **T4** selon le CEBTP, car elle est située dans l'intervalle des trafics correspondant à la classe T4. Les détails de calculs sont en annexe 3.

III.3.2. Détermination des différentes variantes de structure de chaussée selon le CEBTP

À partir de notre classe de trafic T4 calculée et de la classe de notre sol de plateforme S4 qui nous a été donnée, trois variantes de structures de chaussée ont été proposées selon le guide de dimensionnement CEBTP. Ces variantes sont présentées dans le tableau ci-après.

Tableau 8: Variante de structure de chaussée proposée à partir du CEBTP

Couches	Variante 1		Variante 2		Variante 3	
	Matériaux	Épaisseurs	Matériaux	Épaisseurs	Matériaux	Épaisseurs
Revêtement	BB	7 cm	BB	5 cm	BB	7 cm
Base	Grave latérite améliorer au ciment	20 cm	Grave Bitume	15 cm	Grave Ciment	20 cm
Fondation	Graveleux latéritique naturel	20 cm	Graveleux latéritique naturel	20 cm	Graveleux latéritique améliorer au ciment	15 cm

Justification du choix de la variante retenue

Pour le choix de la chaussée à retenir, nous nous sommes basés sur la disponibilité des matériaux au Burkina Faso, le coût, la qualité du matériau en termes de résistance. Ainsi, le graveleux latéritique naturel présente un avantage en termes de coût et d'accessibilité par rapport aux autres matériaux. Cependant, son amélioration au ciment peut ne pas être favorable en termes de coût. Par ailleurs les matériaux comme le grave ciment peuvent être confrontés à des problèmes de retrait en raison des différentes températures. En revanche, le grave bitume peut offrir une meilleure résistance vis-à-vis des variations de température.

En définitive, parmi toute ces variantes, c'est la variante 2 qui semble être la plus optimale et sera utilisée pour la suite de notre étude.

III.3.3. Calcul des contraintes admissible et vérification de la structure de chaussée retenue sur Alizé

✓ Calcul des contraintes admissibles

✚ Déformation verticale admissible ($\varepsilon_{z,adm}$)

Dans le cadre de notre, projet nous avons obtenu $\varepsilon_{z,adm} = 367,6 \mu def$

Les détails de calculs sont en annexe 3.

✚ Allongement admissible ($\varepsilon_{t,adm}$)

Dans le cadre de notre projet, nous avons obtenu $\varepsilon_{t,adm} = 128,8 udef$ pour le grave bitume et $131,5 udef$ pour le béton bitumineux.

Les détails de calculs sont en annexe 3.

✚ Contrainte admissible ($\sigma_{t,adm}$)

Dans le cadre de notre projet, nous avons obtenus $\sigma_{t,adm} = 0,599 udef$ pour les couches de matériaux traité au liant hydraulique.

Les détails de calculs sont en annexe 3.

✓ **Vérification de la structure de chaussée choisie avec Alizé**

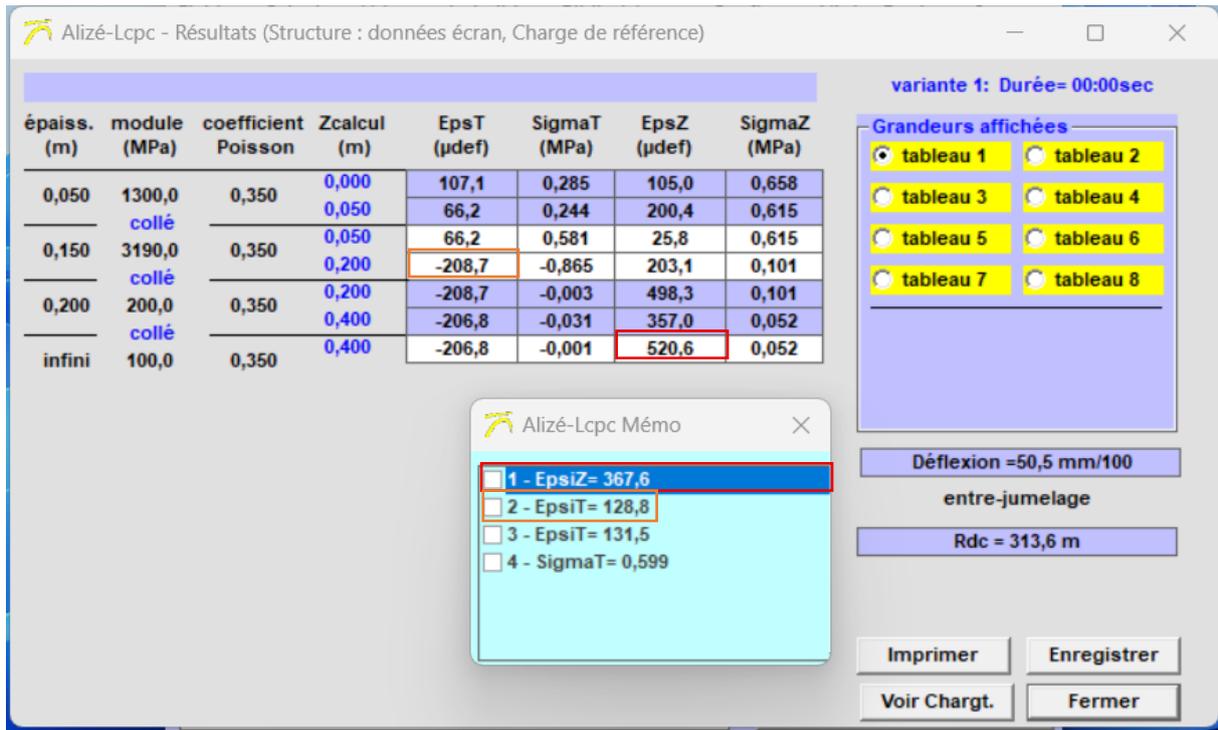


Figure 6: Vérification avec Alizé des déformations de la première structure de chaussée choisi

Nous observons sur cette image des valeurs de ϵ_z et ϵ_t supérieures aux valeurs admissibles. Donc notre structure de chaussée ne répond pas à la norme qui exige que les déformations obtenues soient inférieures aux déformations admissibles.

Ainsi nous avons proposé deux autres structures de chaussée améliorées à partir de celle choisie précédemment en apportant une couche de forme en graveleux latéritique naturel pour les deux structures, une couche de fondation en graveleux latéritique naturelle améliorée au concassé pour la première structure et améliorée au ciment pour la seconde. Ces deux structures sont présentées dans les tableaux suivants :

Tableau 9: 1ère structure de chaussée améliorée

1ere structure de chaussée		
Couches	Matériaux	Épaisseurs
Roulement	BB	5 cm
Base	Grave Bitume	15 cm
Fondation	Graveleux latéritique naturel amélioré au concassé (litho stabilisation)	24 cm
Forme	Graveleux latéritique naturel	20 cm

Tableau 10: 2ème structure de chaussée améliorée

2eme structure de chaussée		
Couches	Matériaux	Épaisseurs
Roulement	BB	5 cm
Base	Grave Bitume	10 cm
Fondation	Graveleux latéritique naturel amélioré au ciment	20 cm
Forme	Graveleux latéritique naturel	20 cm

✚ Vérification des deux structures sur alizé

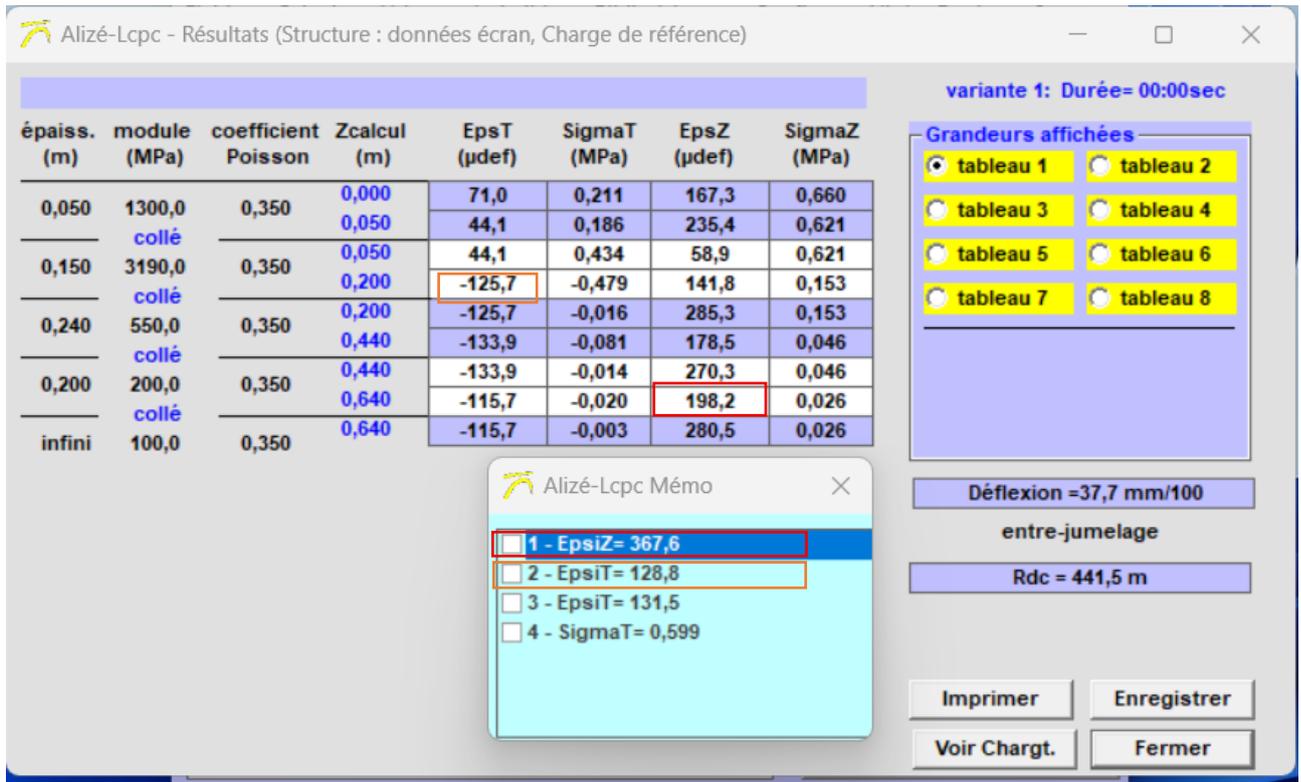


Figure 7: Comparaison des valeurs de déformation de la 1ère structure de chaussée à celle admissible

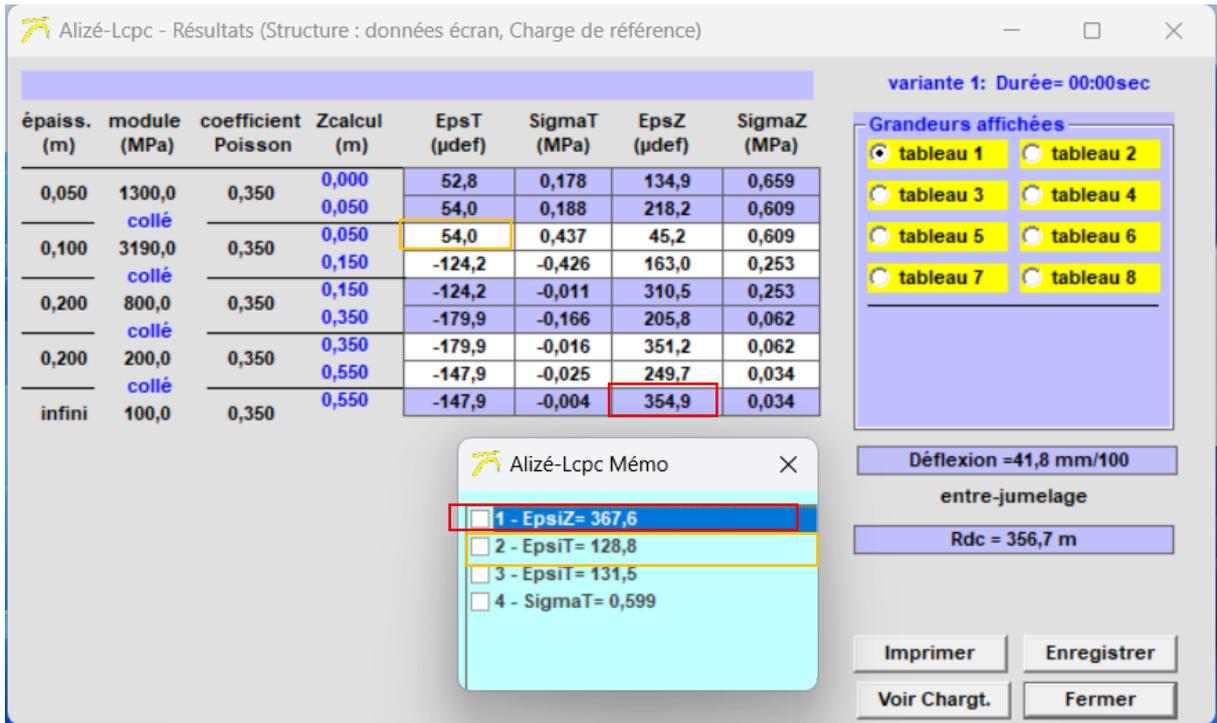


Figure 8: Comparaisons des valeurs de déformation de la 2ème structure de chaussée à celle admissible

Nous observons, pour les deux structures de chaussée proposées des valeurs de ϵ_z et ϵ_t inférieures aux valeurs admissibles. Donc les deux structures sont acceptables. Cependant, pour faire un choix optimal, nous avons effectué une analyse économique de chaque structure afin de procéder à un choix judicieux. Ainsi la détermination du coût de fourniture et de pose de chaque structure sur une distance de 1 km est effectuée en se basant sur la mercuriale des prix unitaires BTP 2025. Les détails de calcul sont donnés en annexe 3.

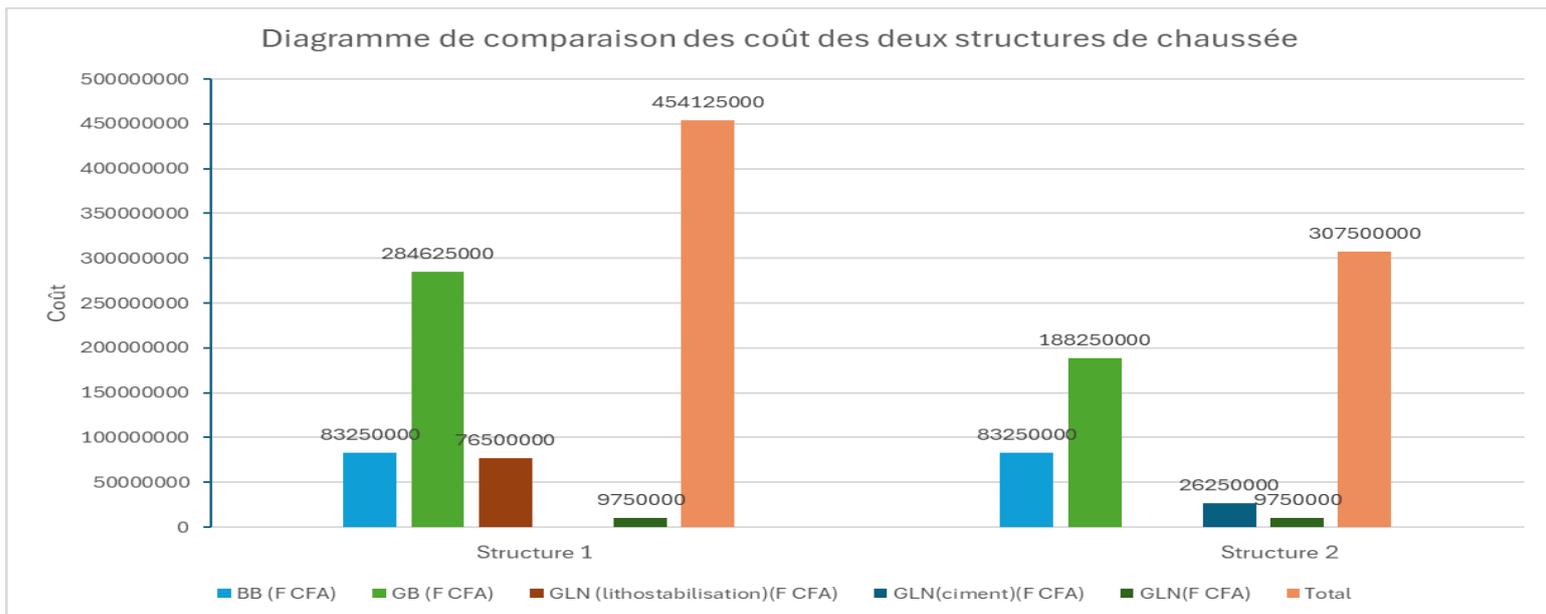


Figure 9: Diagramme de comparaison du coût des deux structures de chaussée améliorées

Nous observons à partir de ce diagramme que la structure n°2 a un coût total de 307 500 000 F CFA, contrairement à la première structure qui vaut 454 125 000 F CFA. Donc la structure n°2 est la moins coûteuse, représentant une économie de 146 625 000 F CFA, soit 32 % du coût de la première structure.

Pour conclure, la structure de chaussée retenue dans le cadre de notre étude est la structure n°2 aux vues de l'accessibilité des matériaux et du coût de réalisation.

Tableau 11: Structure de chaussée retenue

Structure de chaussée retenue		
Couches	Matériaux	Épaisseurs
Roulement	BB	5 cm
Base	Grave Bitume	10 cm
Fondation	Graveleux latéritique naturel amélioré au ciment	20 cm
Forme	Graveleux latéritique naturel	20 cm

III.4. Etude Hydrologique et Hydraulique

III.4.1. Étude hydrologique

Après avoir effectué l'analyse fréquentielle nous avons obtenu un débit centennal Q_{100} égal à 38,6 m³/s. Les détails de l'étude sont en annexe 4.

III.4.2. Étude hydraulique

III.4.2.1. Détermination du débouché linéaire

A l'aide de la formule de LACY, nous avons obtenu une valeur théorique de Débouché Linéaires (L) égale à **21,43 m**. Cette valeur théorique a été augmentée à **23 m** après avoir effectué une sortie d'observation sur le terrain.

III.4.2.2. Détermination de la hauteur des plus hautes eau (Y_{PHE})

Après avoir appliqué la méthode de la débitance nous avons obtenu un Y_{PHE} égal à **1,59 m**.

III.4.2.3. Détermination de l'exhaussement maximal (Δh)

Après avoir appliqué la méthode de Bradley nous avons obtenu un Δh égale à **0,17 m**.

III.4.2.4. Détermination de la hauteur du pont

Pour déterminer la hauteur du pont (Intrados-TN), nous avons effectué la somme du Y_{PHE} , de Δh et d'une revanche prise égale à 2,5 m.

Cette sommation nous a donné une hauteur théorique égale à 4,26 m. Mais pour des raisons de plus de sécurité et selon le CCTP, nous avons pris une hauteur égale à 5 m. Les détails des différents calculs sont en annexe 4.

III.5. Conception et étude technique du Pont

III.5.1. Conception du pont

III.5.1.1. Analyse Multicritère et choix du type pont entre les variantes envisagées

Pour la conception du pont nous avons proposé deux variantes à savoir un pont à poutres et un pont dalle. Nous avons effectué une analyse multicritère des deux variantes et le pont à poutres est le plus adéquates pour notre projet avec une note totale de 25 contrairement au pont dalle qui a obtenu une note de 17. Les détails de l'analyse sont en annexe 5.

III.5.1.2. Prédimensionnement de la variante choisie

Ce tableau résume le prédimensionnement des différents éléments du tablier du pont à poutre. Les détails de calculs sont en annexe 5.

Tableau 12:Récapitulatif prédimensionnement du pont à poutre

Récapitulatif des éléments du tablier		
Poutre	Hauteur de la poutre H_p (m)	1,6
	Largeur b_p (m)	0,5
	Nombre de poutre	9
	About	0,5
	Entraxe b_0 (m)	1,75
Entretoise	Hauteur entretoise(m)	1,4
	Epaisseur entretoise(m)	0,35
	Longueur entretoise (m)	1,25
Hourdis	Epaisseur hourdis(m)	0,16
	Prédalle (m)	0,05

III.5.1.3. Equipement du tablier

Les équipements du tablier d'un pont désignent un ensemble de dispositifs très divers en ajout à la structure et qui permettent en particulier :

- Le bon fonctionnement de la structure : Appareil d'appui et Joint de Chaussée
- La pérennité de l'ouvrage : Étanchéité, corniches et système d'évacuation des eaux
- Sécurité des usagers (véhicules et piétons) : dispositif de retenue (garde-corps, glissières, barrières) et bordures de trottoirs
- Le confort des usagers : Joint de chaussée, Dalle de transition, le revêtement

✚ L'étanchéité et le revêtement

Pour notre tablier, nous adopterons l'étanchéité par feuilles préfabriquées revêtues d'asphalte. Ces feuilles ont une formulation adoptée pour recevoir environ 25 mm d'asphalte gravillonné. Elle sera une couche d'épaisseur 3 cm dans notre cas.

Pour ce qui est du revêtement, son épaisseur dépend des formulations et du trafic. Dans le cadre de notre projet et en considérant un tapis d'enrobé bitumineux, notre épaisseur est prise à 8 cm.

✚ Les joints de chaussée et les appareils d'appui

Ce sont des éléments qui assurent la transmission entre le tablier et les chaussées adjacentes à l'ouvrage ou entre deux travées discontinues. Le choix du type de joint de chaussée s'appuie sur une classification de l'intensité du trafic et de la capacité de souffle[6].

Les appareils d'appui seront des élastomères néoprène frettés[7] selon les exigences du CCTP. Ils seront posés sur des bossages au niveau des culées espacés de telle sorte à respecter l'espacement entre axe des poutres. Ce sont sur ces appareils d'appui que les poutres reposeront.

✚ La corniche et le trottoir

La corniche est très souvent de formes complexes et conformément au CCTP, elle est préfabriquée. Elle permet de corriger les irrégularités de la structure et facilite le scellement du garde-corps. En se référant au guide technique GC, Corniche, nous avons choisi une corniche de type PF1 qui est préfabriquée.[8]

Pour ce qui est du trottoir, il est un chemin surélevé par rapport aux voies de circulation réservé au passage des piétons. Elle doit avoir une largeur minimale de 1m et une pente transversale de 1,5 % selon l'ARP. Dans le cas de notre projet, nous avons une largeur de 1,55 m et une pente transversale de 2,5 %.

✚ Les dispositifs de retenues et les systèmes d'évacuations des eaux

Vu que nous dimensionnons notre pont en fonction des poids lourds, nous avons opté pour une barrière de niveau H2 en acier communément appelé BN4.[9]

Pour ce qui est du système d'évacuation des eaux, de manière générale, elle se fait à l'aide de gargouille. Dans le cadre de notre projet, elles seront disposées juste avant les bordures de trottoir de part et d'autre de la chaussée avec un diamètre ϕ 100 mm.

III.5.2. Etude technique du pont à poutre

III.5.2.1. Calcul des charges permanentes et des surcharges

✚ Calcul des charges permanentes

Les charges permanentes de notre ouvrage sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 13:Tableau récapitulatif des charges permanentes calculées

Récapitulatif des charges permanentes			
Eléments	G(kN) non majoré	Nombre	G(kN) majoré par Kmax
Poutre	500	9	4500
Hourdis	1450	/	1450
Entretoise	15,25	16	244
Prédalle	43,75	8	350
Trottoir	224,75	/	224,75
Relevé de béton	97,25	/	97,25
Corniche	99,75	/	102,7425
Enrobé	570	/	798
Étanchéité	196,35	/	274,89
BN4	16,25	2	32,5
Poids propre du tablier sans les équipements (kN)			
6544			
Poids propre du tablier avec les équipements (kN)			
8074,1325			

Les détails de calculs sont en annexe 5.

✚ Calcul des surcharges

Comme surcharges nous avons :

- La charge routière de type : A(l)
- La charge routière de type : B (Bc, Bc Niger, Bt et Br)
- Convoi Militaire : Mc 120
- Convoi Exceptionnelle de type : D et E

Les charges roulantes calculés sont consignées dans le tableau ci-après :

Tableau 14: Surcharges du tablier

Récapitulatif des surcharges			
	Désignations	Surcharges(kN)	Coeff de majoration dynamique
	A(l)(kN/m ²)	9,74	/
Civil	Bc	1710	1,12
	Bc Niger	2394	1,14
	Bt	640	1,09
	Br	100	1,07
Militaire	Mc 120	1100	1,1
	Me 120	660	1,09
Exceptionnel	Type D	1400	/
	Type E	2000	/
Autres Surcharges	Effort de freinage Bc	300	/
	Effort de freinage BcNiger	420	/
	Trottoir (kN/m ²)	1,5	/

Les détails de calculs sont en annexe 5.

III.5.2.2. Détermination des sollicitations des éléments du tablier

✚ Moment fléchissant et effort tranchant à l'ELU des poutres

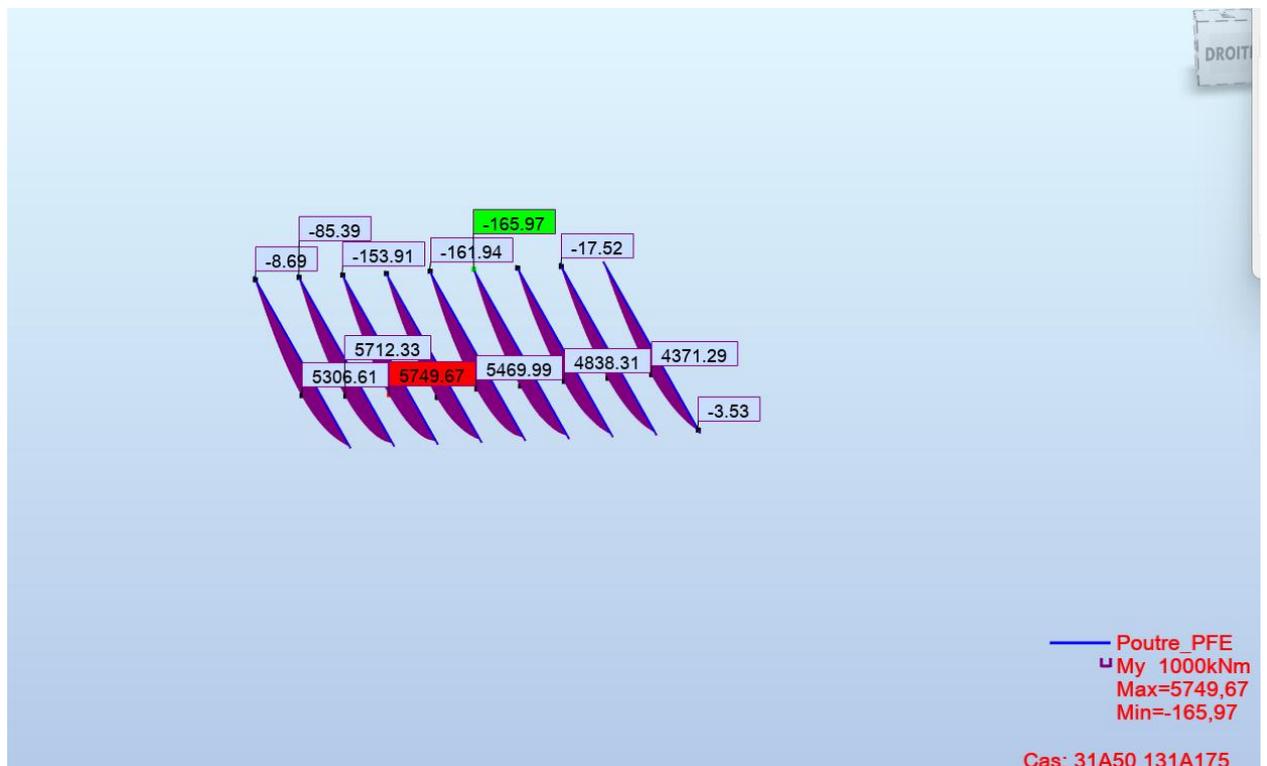


Figure 10: Diagramme des moments fléchissant à l'ELU des poutres

Nous observons sur cette image les différents moments fléchissant des poutres sous les combinaisons de charges à l'ELU, à savoir tous les cas de charge. Cependant, dans un souci d'uniformisation du ferrailage des poutres, nous avons retenu le moment fléchissant maximal qui est de **5749,67 kN.m**. Par ailleurs, nous observons des moments résiduels aux appuis dont le plus grand est égal à **165,97 kN.m**, ce qui est très négligeable par rapport à celle en travée mais dont la section d'armature sera vérifiée.



Figure 11: Diagramme des efforts tranchants à l'ELU des poutres

Nous observons sur cette image les différents efforts tranchants des poutres sous les combinaisons de charges à l'ELU, à savoir tous les cas de charge. Cependant dans un souci d'uniformisation du ferrailage des poutres nous avons retenu l'effort tranchant maximal qui est de **1056,91kN**

✚ **Moment fléchissant et effort tranchant de l'entretoise**

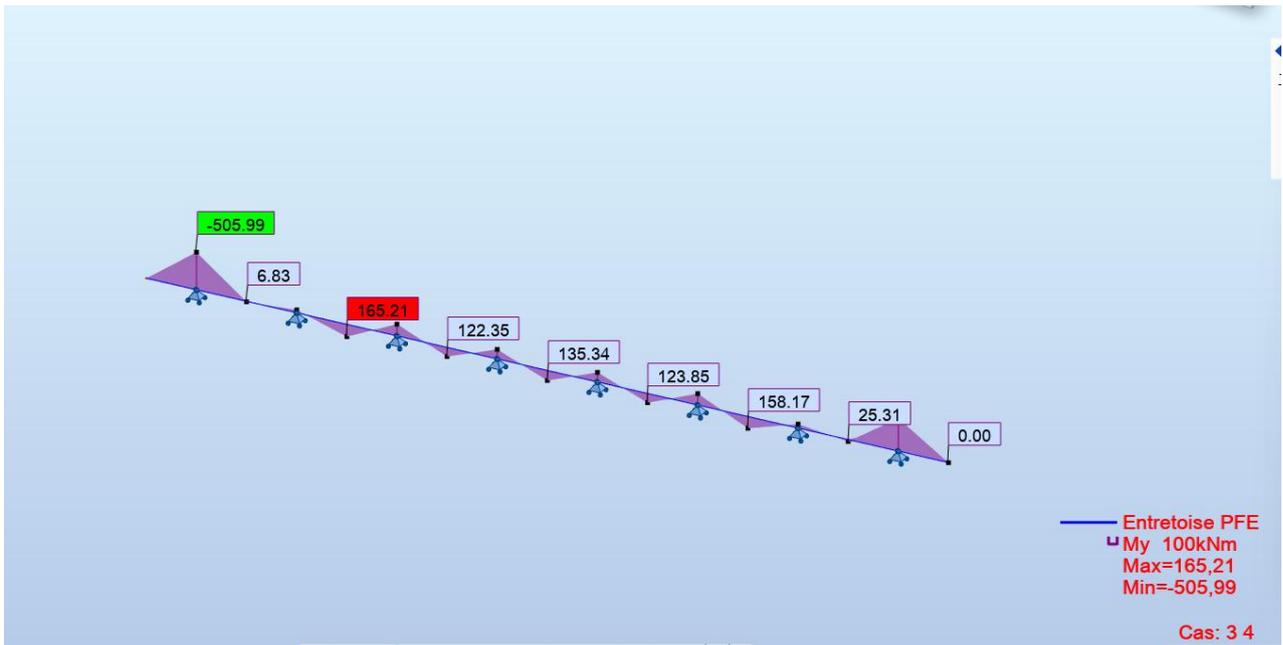


Figure 12:Diagramme des moments de l'entretoise

Nous observons sur cette image les différents moments en travée et en appui de l'entretoise sous les charges permanentes des différents éléments du tablier. Cependant, dans un souci d'uniformisation du ferrailage de l'entretoise, nous avons retenu le moment maximal en travée qui est de **165,21 kN.m** et celle en appui est de **505,99 kN.m**.

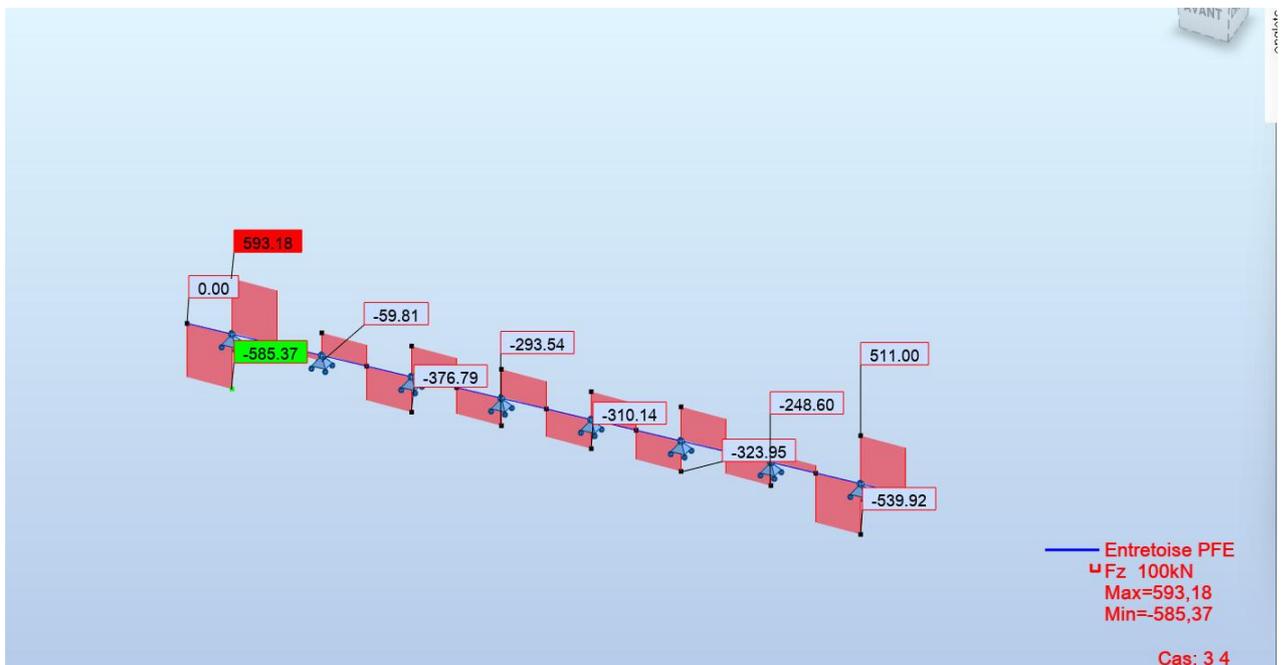


Figure 13:Diagramme des efforts tranchant de l'entretoise

Nous observons sur cette image les différents efforts tranchants de l'entretoise sous les mêmes charges permanentes. Cependant, dans un souci d'uniformisation du ferrailage de l'entretoise nous avons retenu l'effort tranchant maximal qui est de **593,18 kN**

✚ Moment fléchissant suivant X et Y et Effort tranchant de l'hourdis

L'option « Cartographie des Panneaux » du logiciel est utilisée pour obtenir la valeur maximale de moment en appui et en travée ainsi que l'effort tranchant maximal sur notre hourdis.

▪ **Moment fléchissant maximal suivant X**

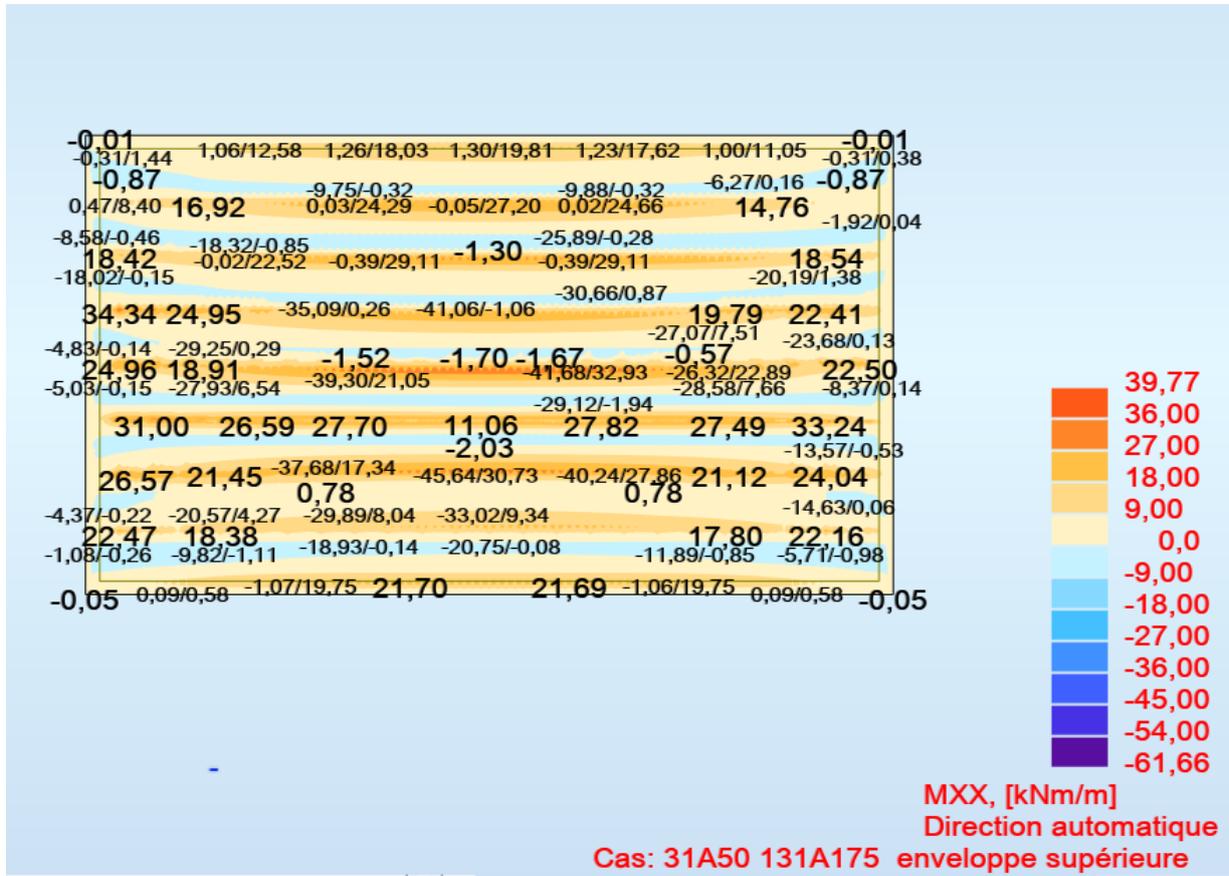


Figure 14: Cartographie panneaux des moments à l'ELU suivant X

Tableau 15: Moment sur hourdis suivant X

Désignations	Moment maximal suivant X(kN.m)
Appui	39,77
Travée	61,66

▪ **Moment fléchissant maximal suivant Y**

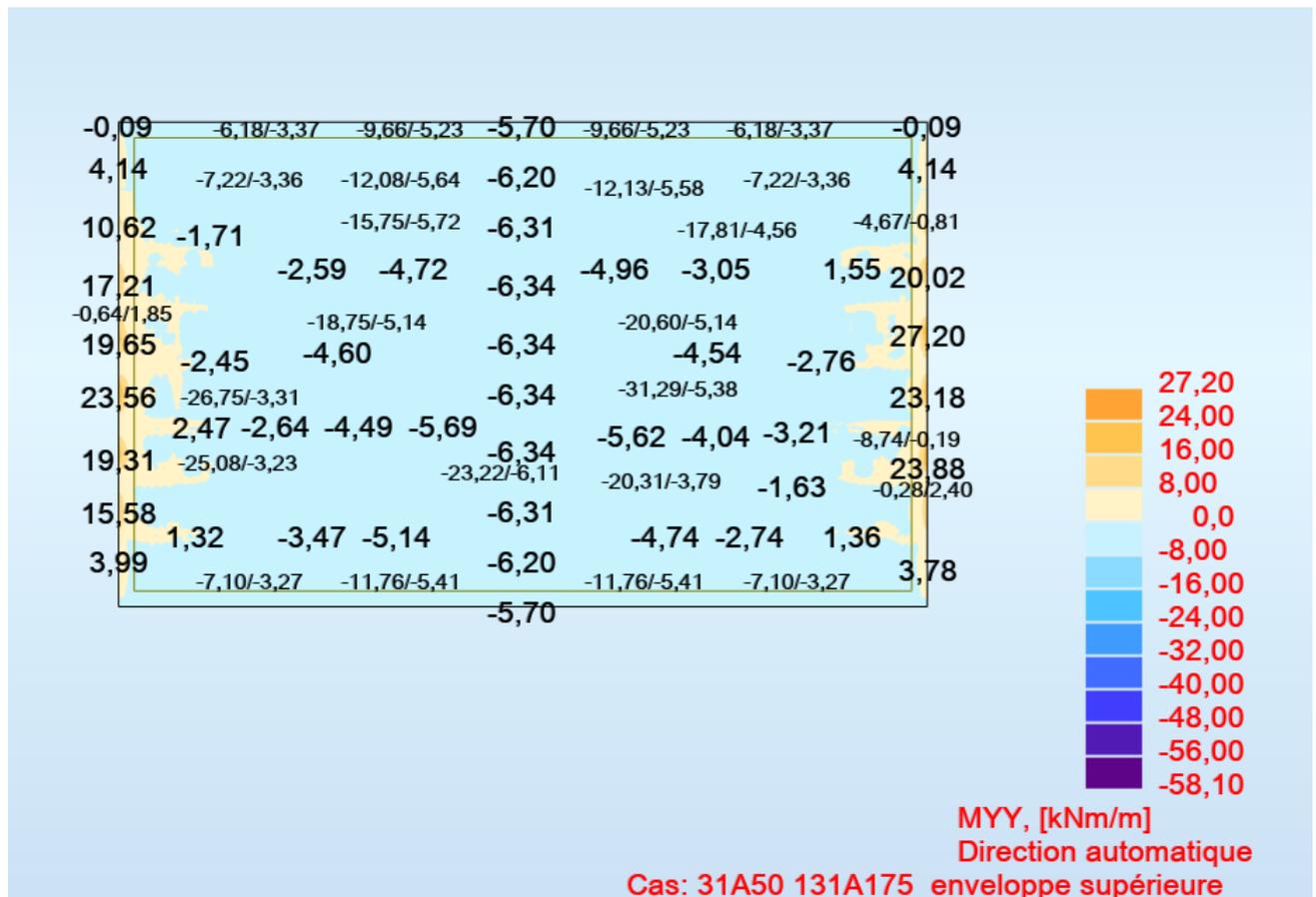


Figure 15:Cartographie panneaux des moments à l'ELU suivant Y

Tableau 16: Moment sur hourdis suivant Y

Désignations	Moment maximal suivant Y(kN.m)
Appui	27,20
Travée	58,10

▪ **Effort tranchant**

Pour l'effort tranchant, grâce à l'option « cartographie des panneaux » nous avons obtenus l'effort tranchant maximal sur notre panneau.

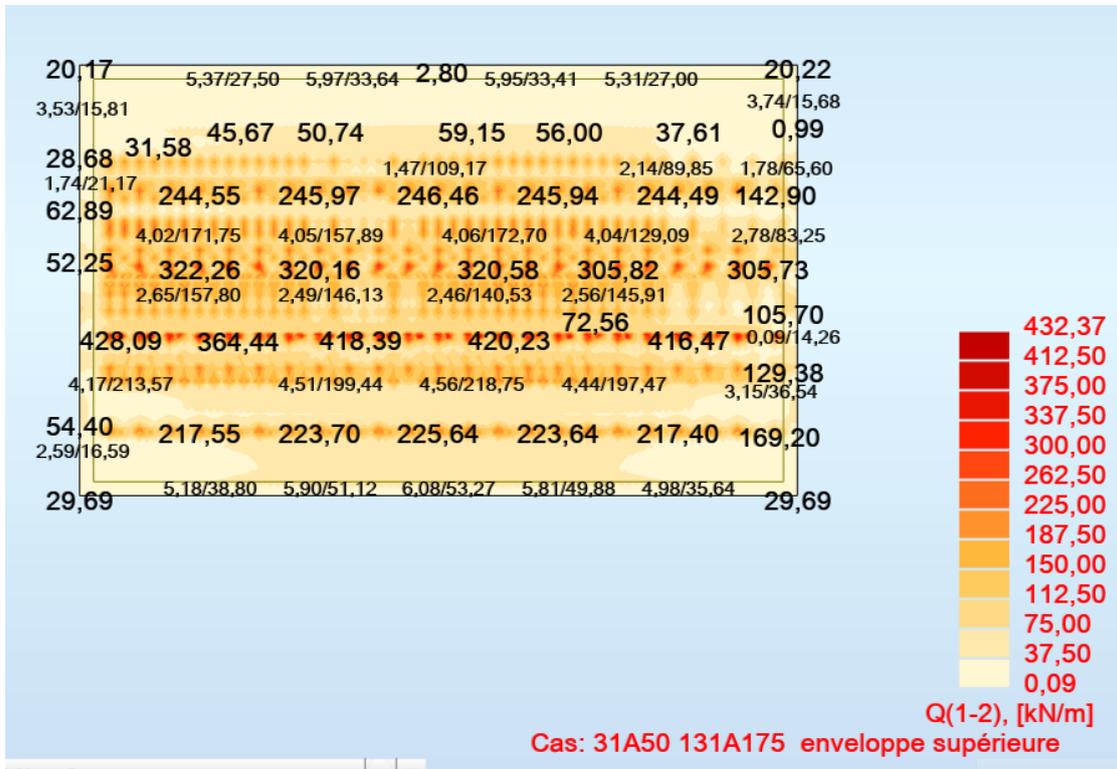


Figure 16:Cartographie panneaux effort tranchant maximal

Nous avons comme effort tranchant maximal sur le hourdis égal à 432,37kN

Les calculs de vérification de la contrainte de cisaillement sont présentés en annexe 6.

Les détails en ce qui concerne la modélisation, l'application des charges et les combinaisons des charges sont donnés en Annexe 5.

III.5.2.3. Ferrailages des élément structuraux du tablier

✚ **Ferrailage de la poutre**

La poutre est dimensionnée comme une section de poutre en T. La fissuration étant peu préjudiciable. Les armatures tendues et celles de l'effort tranchant sont dimensionnées à l'ELU.

Tableau 17:Récapitulatif ferrailage poutre

Désignations	Choix des armatures	Section(cm^2)
Armature tendue	12HA32	96 ,51
Armature de montage	4HA 20	12,57
Armature de Peau	4HA14/face	6,16
Armature transversale	HA12 espacé de 20 cm	/

Les détails de calculs sont en annexe 6 et plan de ferrailage en annexe 8.

Ferraillage de l'entretoise

L'entretoise est dimensionnée comme une poutre rectangulaire. La fissuration étant peu préjudiciable. Les armatures tendues et celles de l'effort tranchant sont dimensionnées à l'ELU.

Tableau 18:Récapitulatif ferraillage entretoise

Désignations	Choix des armatures	Section(cm^2)
Armature tendue (travée)	3HA16	6,03
Armature tendue(appui)	6HA16	12,06
Armature de Peau	3HA14	4,62
Armature transversale	HA8 espacé de 20 cm	

Les détails de calcul sont en annexe 6 et plan de ferraillage en annexe 8.

Ferraillage de l'Hourdis

Le ferraillage de l'hourdis est calculé à partir des différents moments obtenus suivant X et suivant Y. L'hourdis est dimensionné comme une poutre rectangulaire de base égale à 1 m et de hauteur correspondant à l'épaisseur de l'hourdis égale à 0,16 m. Les détails de calculs sont en annexe 6 et plan de ferraillage en annexe 8.

Tableau 19:Récapitulatif ferraillage hourdis

Désignations	Sections théoriques (cm^2)	Choix des aciers	Sections réelles (cm^2)
Armature inférieur suivant X	10,91	6HA16 espacé de 20 cm	12,06
Armature inférieur suivant Y	10,29	6HA16 espacé de 20 cm	12,06
Armature Supérieur suivant X	6,53	6HA12 espacé de 20 cm	6,79
Armature supérieur suivant Y	4,46	6HA12 espacé de 20 cm	6,79

Conclusion partielle

L'ensemble des résultats obtenus ci-dessus nous permet de répondre en grande partie à nos objectifs spécifiques liés à notre étude. Nous avons tout d'abord proposé un type de pont après avoir effectué une analyse multicritère entre deux variantes à savoir un pont à poutre et un pont dalle à encorbellement afin de choisir celle qui répond aux besoins spécifiques du projet. Puis, nous avons procédé au prédimensionnement de la variante retenue, à savoir le pont à poutre. Enfin, nous avons déterminé les différentes charges qui sont appliquées au pont, les sollicitations à savoir les moments et efforts tranchants de chaque élément de la structure, tout en respectant les hypothèses de calcul, normes et règlement applicables. Cela nous a permis de déterminer les sections d'armatures à travers un dimensionnement manuel des différents éléments constituant le tablier, à savoir la poutre, l'entretoise et hourdis.

Le prochain chapitre se penchera sur les impacts environnementaux et sociaux liés à notre projet, ainsi que la proposition de mesures d'atténuation de ces impacts.

Chapitre IV : Aspect d'impact environnemental

Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les impacts environnementaux liés au projet ainsi que des mesures d'atténuation des impacts négatifs.

II.4.1. Aspect d'impact environnemental

Le Burkina Faso possède un ensemble d'outils politiques, institutionnels, juridiques et également des programmes et stratégies aidant à la bonne gestion du foncier, des ressources naturelles et environnementales. Par ailleurs, il a signé de nombreux accords et conventions régionaux et internationaux entrant dans le cadre de la protection de l'environnement et du respect des normes sociales.

Notre projet d'élargissement et de modernisation de la Route Nationale n°4 sera réalisé en tenant compte de ces différentes politiques et règles liées à la protection de l'environnement. Ses politiques environnementales et sociales, et cadres législatif et réglementaire du Burkina Faso sont donnés en annexe 7.

II.4.2. Evaluation des impacts de notre projet

Comme tout projet, le projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 pourrait avoir des impacts environnementaux (l'air, l'eau, le sol) et sociaux aussi bien positifs que négatifs.

Impacts négatifs

Les principaux impacts négatifs sont, entre autres :

- Les risques d'accidents pendant la réalisation des travaux ;
- La pollution du sol et des eaux par les déchets liquides ou solides du chantier ;
- Dégradation du sol ;
- La pollution de l'air ;
- Risque de propagation des IST, du VIH/SIDA ou d'autres maladies ;
- La destruction de la végétation ;
- Les nuisances sonores dues aux engins ;
- Le déplacement de certains riverains et la destruction des biens ;

Impacts positifs

Parmi les impacts positifs, on peut citer entre autres :

- La création d'emplois directs et indirects ;
- Le désenclavement des communautés ;
- Facilitation d'évacuation sanitaire du fait de la fluidité de la circulation ;

- Gain de temps du fait de la fluidité de la circulation ;
- Réduction des risques d'accident grâce à la fluidité de la circulation ;
- Développement du commerce : écoulement et approvisionnement rapide des produits agropastoraux ;

II.4.3. Mesures d'atténuation préconisées

Des mesures d'atténuation ont été proposées en vue de minimiser les impacts négatifs du projet. Ces mesures sont consignées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 20: Récapitulatif des mesures d'atténuation

Désignations	Mesures d'atténuation
Risques d'accidents	Signalisations temporaires et balisage des zones à risque
Pollution du sol et des eaux	Collecter les déchets solides et liquides, aménager des aires de stockage des produits, des fuels, des déchets
Pollution de l'air	Arroser régulièrement les voie de circulation
Nuisance sonores	Eviter les travaux de nuit
Santé et Sécurité publique	-Sensibiliser les ouvriers sur les Maladies Sexuellement Transmissibles (MST) ; -Êtres exigeant en ce qui concerne la sécurité au chantier en dotant toute personne travaillant sur le chantier d'Équipement de Protection Individuelle (EPI) -Mettre des panneaux de signalisation et d'interdiction aux alentours du chantier et au sein du chantier -Faire un plan de circulation pour les riverains dans la zone du chantier à savoir des déviations
Destruction de la végétation	La réalisation de campagne de reboisement
Déplacement de certains riverains et la destruction des biens	L'indemnisation et la réinstallation de la population affectée par la réalisation du projet
Economie et emploi	-Prioriser la main d'œuvre local -Adopter des techniques à haute intensité de main d'œuvre (HIMO) -Respecter les coutumes locales -Valoriser les anciennes carrières pour des activités locales

Conclusion Partielle

Ce projet présente tant d'enjeux environnementaux et sociaux qui sont d'ordre positif et négatif. Des mesures d'atténuation ont été donnée afin de réduire au maximum les impacts négatifs liée à ce projet.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS

Le projet d'élargissement et de modernisation de la RN4, et en particulier la conception et l'étude technique du pont franchissant le Massili, s'inscrit dans une dynamique de modernisation des infrastructures routières pour répondre aux enjeux de mobilité, de sécurité et de développement socio-économique. Les travaux menés dans cette étude ont permis de proposer des solutions techniques concrètes et adéquates pour répondre aux besoins demandés. Notre étude s'est articulée autour de plusieurs étapes clés. D'abord, nous avons présenté le cadre institutionnel et les objectifs de ce projet. Ensuite, nous avons énuméré les différentes méthodes utilisées pour chaque étape de notre étude qui nous ont permis d'obtenir les différents résultats en ce qui concerne le choix et le dimensionnement structurel de notre pont ainsi que le dimensionnement de la structure de chaussée de ses voies d'accès. Enfin, nous avons porté notre attention sur les impacts environnementaux et sociaux que pourrait provoquer ce projet en vue de proposer des mesures d'atténuation. Ainsi, nous avons proposé un pont à poutre rectangulaire 50×160 cm, ayant une portée de 24 m, un débouché linéaire de 23 m, une hauteur de 5 m, disposant d'entretoise d'about 35×140 cm et un hourdis de 16 cm d'épaisseur. La structure de chaussée des voies d'accès est composée d'une couche de roulement en Béton bitumineux de 5 cm, une couche de base en Grave Bitume de 10 cm, une couche de fondation en Graveleux latéritique améliorée au ciment de 20 cm et une couche de forme en Graveleux latéritique naturel de 20 cm. Pour les enjeux environnementaux et sociaux de notre projet, les mesures d'atténuation proposées visent à réduire les nuisances sonores lors de l'exécution des travaux, les risques d'accident ainsi que la pollution, à assurer la sécurité des populations aux alentours du site et à maximiser les bénéfices socio-économiques pour les populations environnantes.

En résumé, cette étude nous a permis de proposer une solution technique et fiable tout en intégrant les enjeux environnementaux liés au projet. La réalisation de ce projet permettra non seulement d'améliorer les conditions de mobilité et de sécurité routière, et le développement économique de la ville de Ouagadougou et du Burkina Faso en général à travers la fluidité des échanges avec les pays de la sous-région.

À partir des résultats obtenus et des défis rencontrés tout au long de cette étude, plusieurs recommandations peuvent être proposées pour assurer une durabilité de l'ouvrage à long terme et la sécurité des usagers :

- ❖ La mise en place d'un plan d'entretien périodique pour tout le projet incluant l'audit de l'état de la structure, le contrôle des équipements assurant son bon fonctionnement ;

- ❖ Faire appel ou collaborer avec des spécialistes ou structures spécialistes de l'entretien des infrastructures telles que les ponts ;
- ❖ Faire des campagnes de sensibilisation sur le respect des règles de circulation et du code de la route au profit des usagers ;
- ❖ Instaurer des contrôles routiers en vue de faire respecter les limitations de vitesse et imposer des amendes pour les mauvaises conduites ;
- ❖ Organiser des campagnes de reboisement pour faire face aux impacts environnementaux.

Bibliographie

- [1] « Aménagement des routes principales (guide technique annexé à la circulaire du 5 août 1994) ». Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA) (France), 5 août 1994.
- [2] Centre d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP) (coord. G. Liautaud & E. Bagarre, et autre collaborateurs régionaux), « Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux ». 1984 (réimprimé 2014 1980).
- [3] Nguyen Van Tuu, avec la participation de Bernard Lemoine et Jacques Pouplard (BCEOM pour le Ministère de la Coopération et du Développement), « Hydraulique routière BCEOM ». Paris : Ministère de la Coopération et du Développement (via BCEOM), 1981.
- [4] Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), en collaboration avec CIEH, ORSTOM, LCT-CEMAGREF, ENAGREF, « 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, Italie (FAO 1996).
- [5] D. Goutx & S. Ladreyt (sous l'égide du CETMEF, devenue aujourd'hui le Cerema), « Hydraulique des cours d'eau. La théorie et sa mise en pratique ». CETMEF (Centre d'Études Techniques Maritimes et Fluviales), 1 août 2001.
- [6] « Bétons et ouvrages d'art – Tome 1 : Les ponts courants en béton ; Techniques CIMbéton, n° T41 ». Infociments, 2005.
- [7] B. Deneuille (SETRA), Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, Aménagement et Réseaux (IFSTTAR), « Appareils d'appui en élastomère fretté (bulletin technique n° 4 du SETRA) ». Décembre 1974.
- [8] « Corniches – Collection du guide technique GC ». SETRA (Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes), 1 décembre 1994.
- [9] « Choix d'un dispositif de retenue en bord libre d'un pont en fonction du site ; Guide technique GC ». SETRA (Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes), février 2002.
- [10] Agéroute Sénégal (Ministère des Infrastructures et Transports du Sénégal); Egis – IFSTTAR – Sénélabo, « Catalogue de structures de chaussées neuves et Guide de dimensionnement des chaussées au Sénégal – Version 2 provisoire ». Avril 2015.
- [11] Anne Bernard-Gély & Jean-Armand Calgaro ; avec la participation de Jean-Louis Michotey, « Conception des ponts (Cours de l'École nationale des Ponts et Chaussées) ». Presses de l'École nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1 octobre 1994.
- [12] Mongi Ben Ouézdou, « Cours d'Ouvrages d'Art – Tome 1 : Conception ; École Nationale d'Ingénieurs de Tunis (ENIT), Département de Génie Civil ». Octobre 2018.
- [13] Ministère de l'Équipement / Commission centrale des marchés / DTRF (Direction Technique et de la Recherche de la Voirie et des Infrastructures de Transport), « Fascicule n° 61 – Titre II : Programmes de charges et épreuves des ponts-routes (Cahier des Prescriptions Communes – CPC) », 28 décembre 1971.

Annexes

Liste des annexes :

Annexe 1 : Paramètres géométrique du tracé en plan, du profil en long, et du profil en travers

Annexe 2 : Signalisations routières

Annexe 3 : Dimensionnement structurelle de la chaussée

Annexe 4 : Étude hydrologique et hydraulique

Annexe 5 : Conception et Étude technique du pont

Annexe 6 : Dimensionnement Manuel des éléments de la superstructure

Annexe 7 : Aspect d'impact environnemental

Annexe 8 : Plans d'exécutions

Annexe 1 : Paramètres géométrique du tracé en plan, du profil en long, et du profil en travers

✓ **Tracé en plan**

Catégorie de la route	R60	T80 R80	T100
Vitesse de référence	60	80	100
Rayon minimal : Rm (m)	120	240	425
Rayon au devers minimal : Rdm (m)	450	650	900
Rayon non déversé : Rnd (m)	600	900	1300

✓ **Profil en long**

Catégorie de la route	R60	T80 R80	T100
Déclivité maximale (%)	7	6	5
Rayon minimal en angle saillant (m)	1500	3000	6000
Rayon minimal en angle rentrant (m)	1500	2200	3000

✓ **Profil en travers**

Catégorie de la route	R60	T80 R80	T100
Dévers maximal (%)	7	7	7
Dévers Minimal (%)	2,5	2,5	2,5

Annexe 2 : Signalisations routières

La signalisation routière est indispensable pour garantir des conditions de circulation optimales en termes de vitesse et de sécurité. Elle doit être continue, uniforme et cohérente afin d'éviter une perturbation des usagers de la route.

✓ Signalisation horizontale

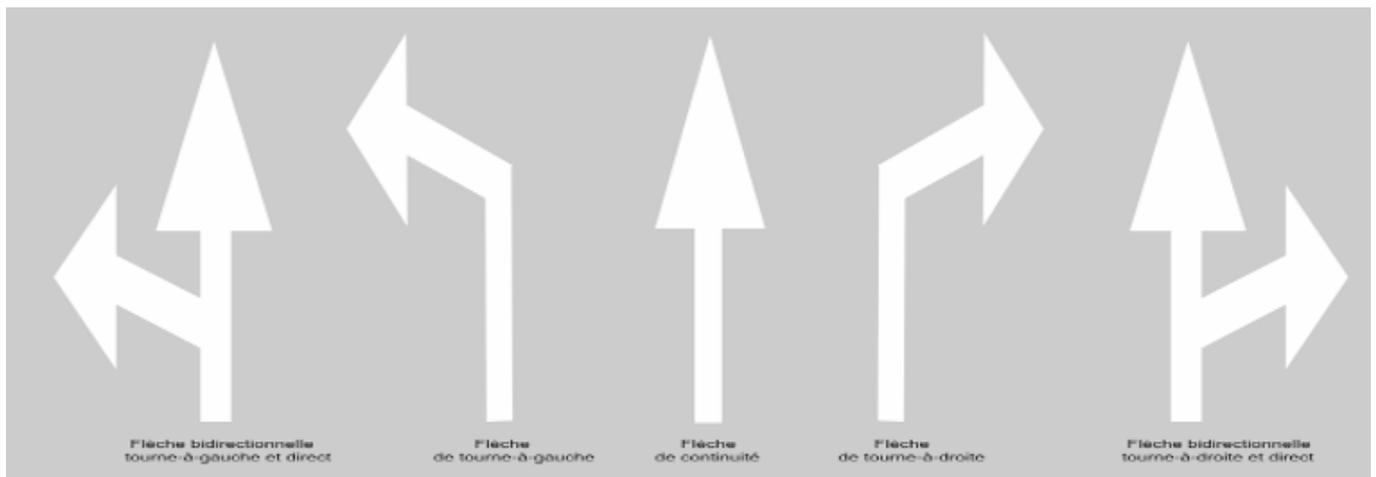
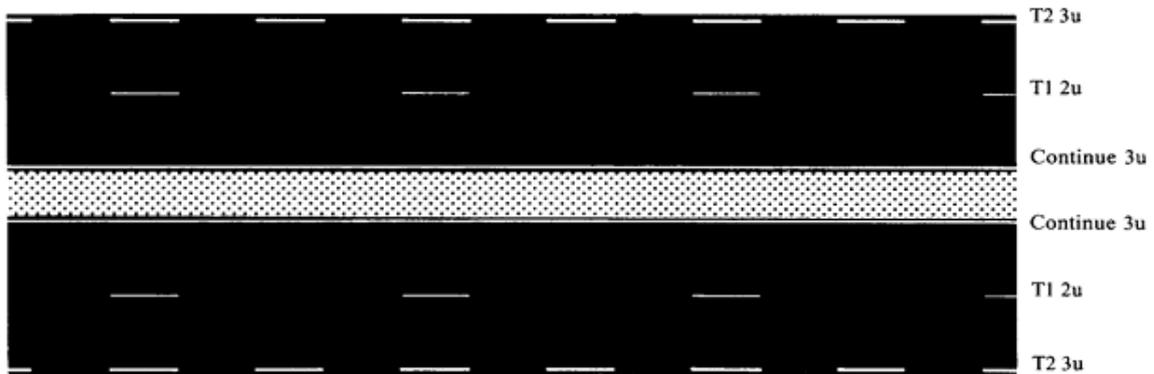


Figure 17:Flèches directionnelles



Figure 18:Flèche de rabattement

✓ **Signalisation verticale**

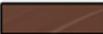
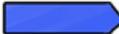
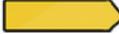
FORMES	COULEURS	
 danger	 Permanent	 Temporaire
 ordre	 Interdiction  Fin d'interdiction	 Obligation  Fin d'obligation
 indication	 pour la conduite	 installations et aménagements
	Localisation	
	 nom d'un lieu	 itinéraire touristique
 direction	 locale	 autoroutière
	 ville importante	 temporaire

Figure 19: Différents types de panneaux verticaux

À ces signalisations routières s'ajoutent l'éclairage public et les dispositifs de sécurité tous deux indispensables pour assurer une circulation en toute sécurité.

Parmi les dispositifs de sécurité qui ont pour rôle de prévenir les accidents et réduire leur gravité, l'on peut citer : Les ralentisseurs type dos d'âne qui permettent de modérer la vitesse des usagers ; les bordures, les balises, les glissières de sécurité.

Annexe 3 : Dimensionnement structurelle de la chaussée

Données de Base :

Année de Comptage	2021
Année de mise en service	2027
Durée de vie	15
Taux de croissance géométrique	6%
Année de fin de service	2042
Coef de répartition 2X2 voies (CRT)	0,5
Coef d'agressivité Moyen CAM	1
TMJA en 2021(dans les 2 sens)	TMJA en 2027 (dans les 2 sens)
1094	1552

Classe de plateforme du sol : S4

✚ **Etude du trafic**

✓ **Détermination du Traffic moyen journalier par sens**

$$\text{TMJA/sens} = \text{TMJA}_{2027} \times \text{CRT}$$

$$\text{TMJA/sens} = 1552 \times 0,5$$

$$\text{TMJA/sens} = 776 \text{ PL}$$

✓ **Détermination du trafic cumulé pendant la durée de vie**

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

Avec :

t_1 : trafic moyen journalier de la 1ere année (dans notre cas le TMJA 2027/sens)

i : taux d'accroissement annuel du trafic

n : Durée de vie

$$NPL = 365 \times 776 \times \frac{(1 + 0,06)^{15} - 1}{0,06}$$

$$NPL = 6592685,71 \text{ PL soit } 6.5 \times 10^6 \text{ PL}$$

✓ **Détermination du trafic en nombre d'essieu équivalent**

$$NE = NPL \times \text{CAM}$$

$$NE = 6592685,71 \times 1$$

$$NE = 6592685,71 \text{ PL soit } 6.5 \times 10^6 \text{ PL}$$

- ✓ **Classe du Traffic exprimées en nombre cumulé de passage d'essieu équivalent de 13 t selon le CEBTP**

Classe du Traffic	Nombre de PL
<i>T1</i>	$T < 5. 10^5$
<i>T2</i>	$5. 10^5 < T2 < 1.5. 10^6$
<i>T3</i>	$1.5. 10^6 < T3 < 4. 10^6$
<i>T4</i>	$4. 10^6 < T4 < 10^7$
<i>T5</i>	$10^7 < T5 < 2. 10^7$

Notre valeur de trafic cumulé en nombre d'essieux équivalent se situe dans l'intervalle $4. 10^6 < 6.5. 10^6 < 10^7$ donc nous pouvons conclure que notre classe de trafic est **T4**

✚ **Dimensionnement de la chaussée**

Il existe deux méthodes de dimensionnement à savoir :

- La méthode empirique
- La méthode rationnelle

- ✓ **Détermination du Module statique E (Mpa) de notre Sol**

$$E = 5 \times CBR \text{ [10]}$$

Ayant un sol de classe S4 selon les données de base et selon les données géotechniques, on a en moyenne un CBR égal à 20.

$$E = 5 \times 20$$

$$E = 100 \text{ Mpa}$$

Ainsi, on a une classe de plateforme PF2qs selon le guide de dimensionnement des structures de chaussées neuves et le guide de dimensionnement des chaussées du Sénégal.[10]

Pour les couches composées de matériaux améliorés au ciment plus précisément le graveleux latéritique naturel amélioré au ciment, le module a été pris égale à 800 Mpa en l'absence d'essai triaxial selon le guide de dimensionnement des chaussées du Sénégal au tableau 18 à la page 71. [10]

- ✓ **Dimensionnement de la chaussée à partir de la méthode empirique**

Elle consiste à proposer 3 variantes de structure de chaussée à partir du guide CEBTP en fonction de la classe du trafic et de l'indice de portance du sol.

Traffic : T4 et Portance du Sol : S4

Tableau 21: Variantes de structure de chaussée proposée à partir du guide CEBTP

Couches	Variante 1		Variante 2		Variante 3	
	Matériaux	Epaisseurs	Matériaux	Epaisseur	Matériaux	Epaisseur
Revêtement	BB	7 cm	BB	5cm	BB	7 cm
Base	Grave latérite améliorer au ciment	20 cm	Grave Bitume	15cm	Grave ciment	20 cm
Fondation	Graveleux latéritique naturel	20 cm	Graveleux latéritique naturel	20 cm	Graveleux naturel améliorer au ciment	15 cm

✚ **Dimensionnement de la chaussée à partir de la rationnelle /Vérification sur Alizé**

✓ **Calcul des sollicitations admissible**

▪ **Déformation verticale admissible($\epsilon_{z,adm}$)**

Pour le sol et une couche de matériau non traité, la sollicitation admissible est la déformation verticale en surface de la couche calculé selon l'équation suivante :

$$\epsilon_{z,adm} = A \times (NE)^{-b} [10]$$

Avec : A = 12000 et b=0.222

$$\epsilon_{z,adm} = 12000 \times (6592685,71)^{-0,222}$$

$$\epsilon_{z,adm} = 367,6 \mu def$$

Avec le logiciel Alizé nous obtenons exactement la valeur de $\epsilon_{z,adm}$,donné sur l'image ci-dessous :

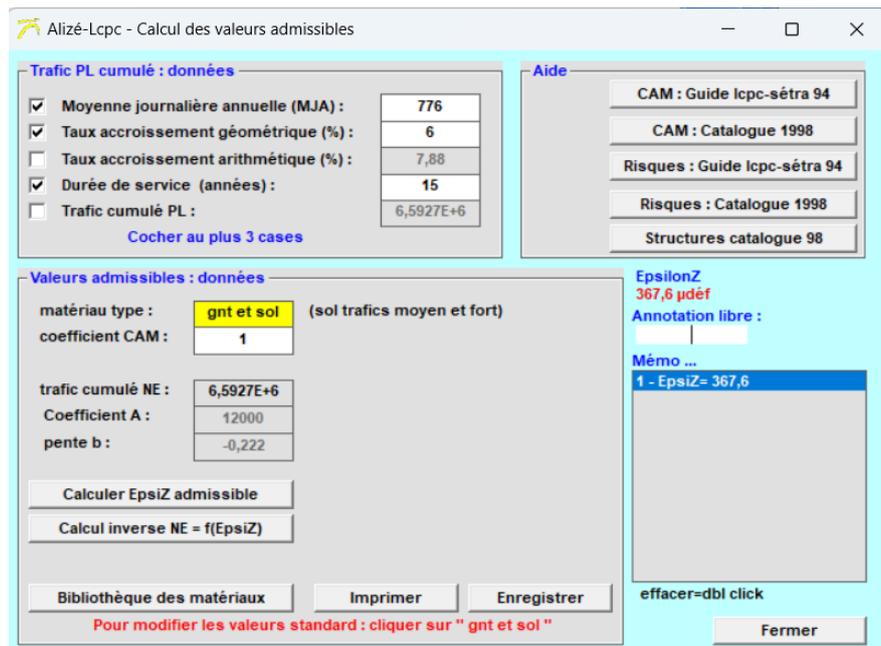


Figure 20: Calcul de la déformation verticale admissible sur Alizé

$$\varepsilon_{z,adm} = 367,7 \text{ udef}$$

- L'allongement admissible ($\varepsilon_{t,adm}$)

Pour une couche de matériaux Bitumineux sollicité en extension par flexion, la déformation admissible pour la température θ_{eq} est calculé selon l'équation suivantes :

$$\varepsilon_{t,adm} = \varepsilon_{6(10^{\circ} C, 25 Hz)} \times \sqrt{(E(10^{\circ} C, 20 Hz)/E(34^{\circ} C, 20 Hz))} \times (NE/10^6)^b \times k_c \times k_r \times k_s [10]$$

Dans notre cas, $\varepsilon_{t,adm}$ sera calculer pour la Grave bitume et le béton bitumineux avec le logiciel Alizé

CONCEPTION ET ÉTUDE TECHNIQUE D'UN PONT SUR LE FLEUVE MASSILI DE LA ROUTE NATIONALE N°4 AU BURKINA FASO

Alizé-Lcpc - Calcul des valeurs admissibles

Trafic PL cumulé : données

- Moyenne journalière annuelle (MJA) : 776
- Taux accroissement géométrique (%) : 6
- Taux accroissement arithmétique (%) : 7,88
- Durée de service (années) : 15
- Trafic cumulé PL : 6,5927E+6

Cocher au plus 3 cases

Valeurs admissibles : données

matériau type : **gb4**

coefficient CAM : 1

risque (%) : 5,0

trafic cumulé NE : 6,5927E+6

Epsilon6 (µdéf) : 100

-1/b : 5

Téta équiv. (°C) : 30 °C

E10°10Hz (MPa) : 14550

Etéq10Hz (MPa) : 3190

Hstructurel MB (m) : 0,15

écart type Sh (m) : 0,025

écart type SN : 0,300

Kr (risque) : 0,744

Kc (calage) : 1,3

Ks (couche liée/pf2) : **1/1,1**

EpsilonT : **128,8 µdéf**

Annotation libre :

Mémo ...

- 1 - EpsiZ= 367,6
- 2 - EpsiT= 128,8

Calculer EpsiT admissible

Calcul inverse NE = f(EpsiT)

Calcul inverse Risk = f(EpsiT)

Bibliothèque des matériaux

Imprimer

Enregistrer

Pour modifier les valeurs standard : cliquer sur "gb4"

effacer=dbl click

Fermer

Figure 21: Calcul allongement admissible pour GB 4

Alizé-Lcpc - Calcul des valeurs admissibles

Trafic PL cumulé : données

- Moyenne journalière annuelle (MJA) : 776
- Taux accroissement géométrique (%) : 6
- Taux accroissement arithmétique (%) : 7,88
- Durée de service (années) : 15
- Trafic cumulé PL : 6,5927E+6

Cocher au plus 3 cases

Valeurs admissibles : données

matériau type : **bb**

coefficient CAM : 1

risque (%) : 5,0

trafic cumulé NE : 6,5927E+6

Epsilon6 (µdéf) : 100

-1/b : 5

Téta équiv. (°C) : 30 °C

E10°10Hz (MPa) : 7200

Etéq10Hz (MPa) : 1300

Hstructurel MB (m) : 0,05

écart type Sh (m) : 0,010

écart type SN : 0,250

Kr (risque) : 0,815

Kc (calage) : 1,1

Ks (couche liée/pf2) : **1/1,1**

EpsilonT : **131,5 µdéf**

Annotation libre :

Mémo ...

- 1 - EpsiZ= 367,6
- 2 - EpsiT= 128,8
- 3 - EpsiT= 131,5

Calculer EpsiT admissible

Calcul inverse NE = f(EpsiT)

Calcul inverse Risk = f(EpsiT)

Bibliothèque des matériaux

Imprimer

Enregistrer

Pour modifier les valeurs standard : cliquer sur "bb"

effacer=dbl click

Fermer

Figure 22: Calcul allongement admissible pour BB

$$\epsilon_{t,adm}(GB) = 128,8 \text{ udef} ; \epsilon_{t,adm}(BB) = 131,5 \text{ udef}$$

▪ **La contrainte admissible ($\sigma_{t,adm}$)**

Pour une couche de matériaux traité au liant hydraulique ou de béton sollicité en traction par flexion, la contrainte admissible est calculée son l'équation suivante :

$$\sigma_{t,adm} = \sigma_6 \times (NE/10^6)^b \times k_c \times k_r \times k_s [10]$$

Source formules : Catalogue de structure de chaussées neuves et Guide de dimensionnement des chaussées du Sénégal (p.84)

La valeur de $\sigma_{t,adm}$, donné sur l'image ci-dessous :

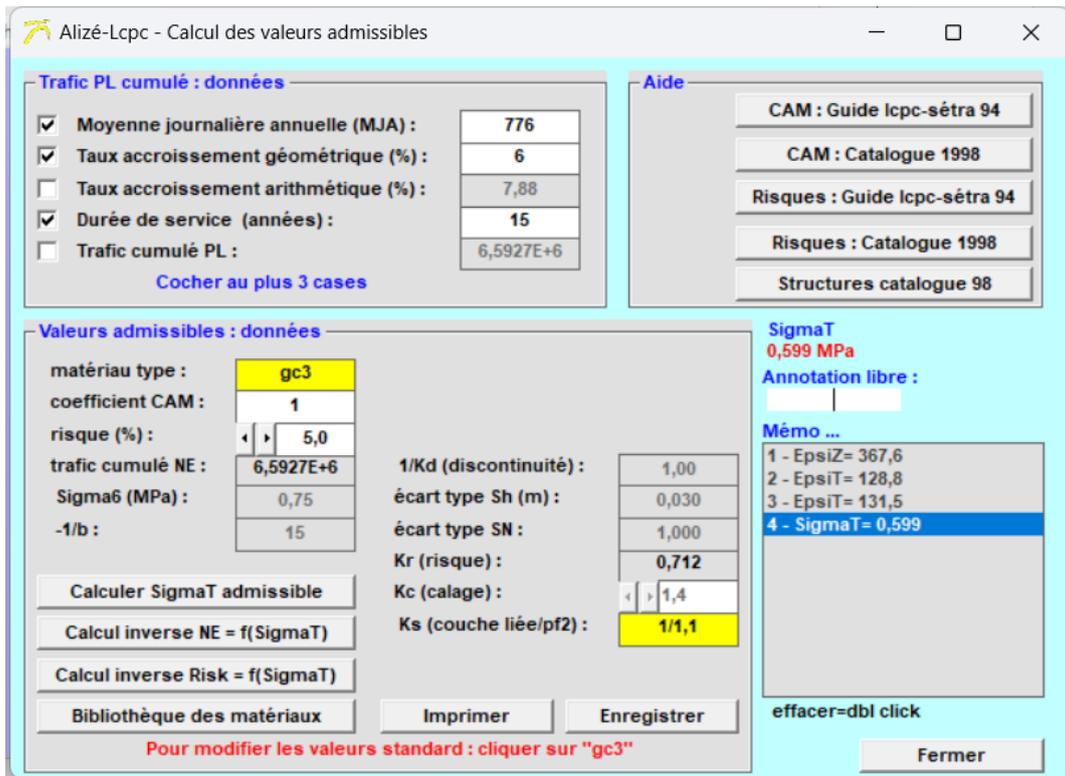


Figure 23: Calcul contrainte admissible

$$\sigma_{t,adm} = 0,599 \text{ udef}$$

✓ **Vérification de la structure de chaussée choisie (variante 2) selon le CEBTP sur Alizé**

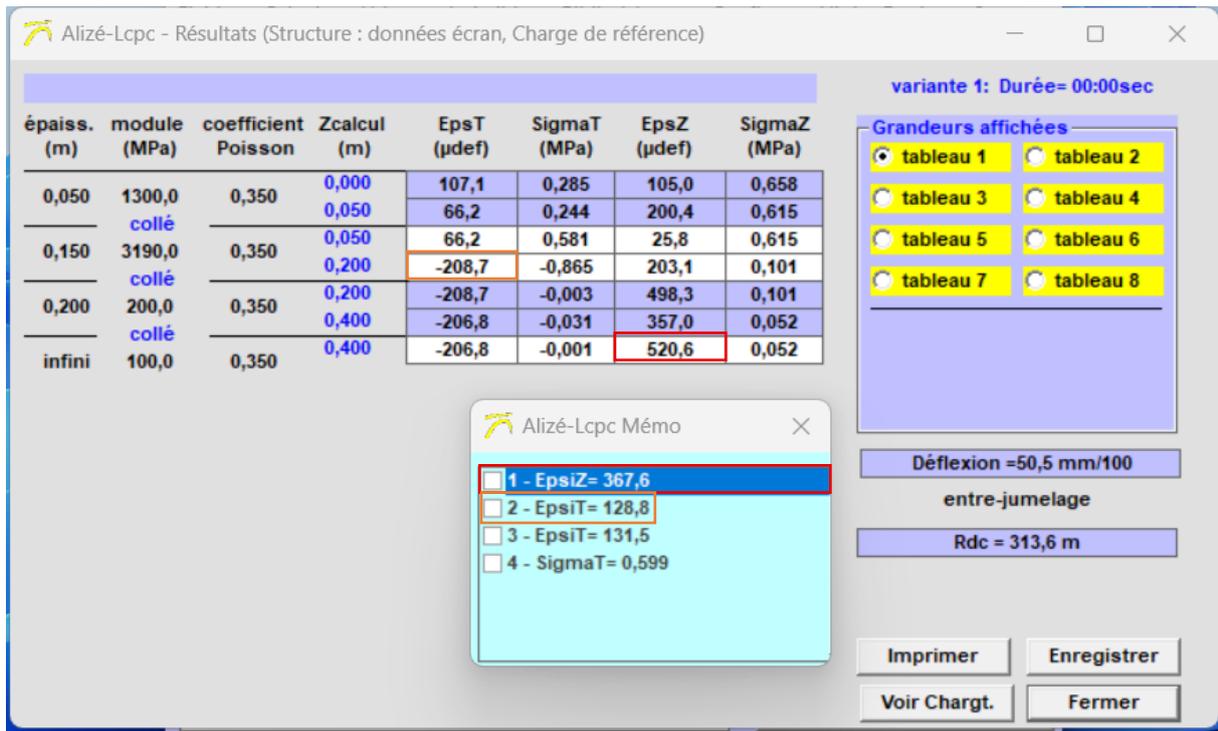


Figure 24: Vérification de la structure de chaussée (variante 2) choisie à partir du CEBTP sur Alizé

✓ **Vérification des deux autres structures de chaussées améliorées à partir de la précédente sur Alizé.**

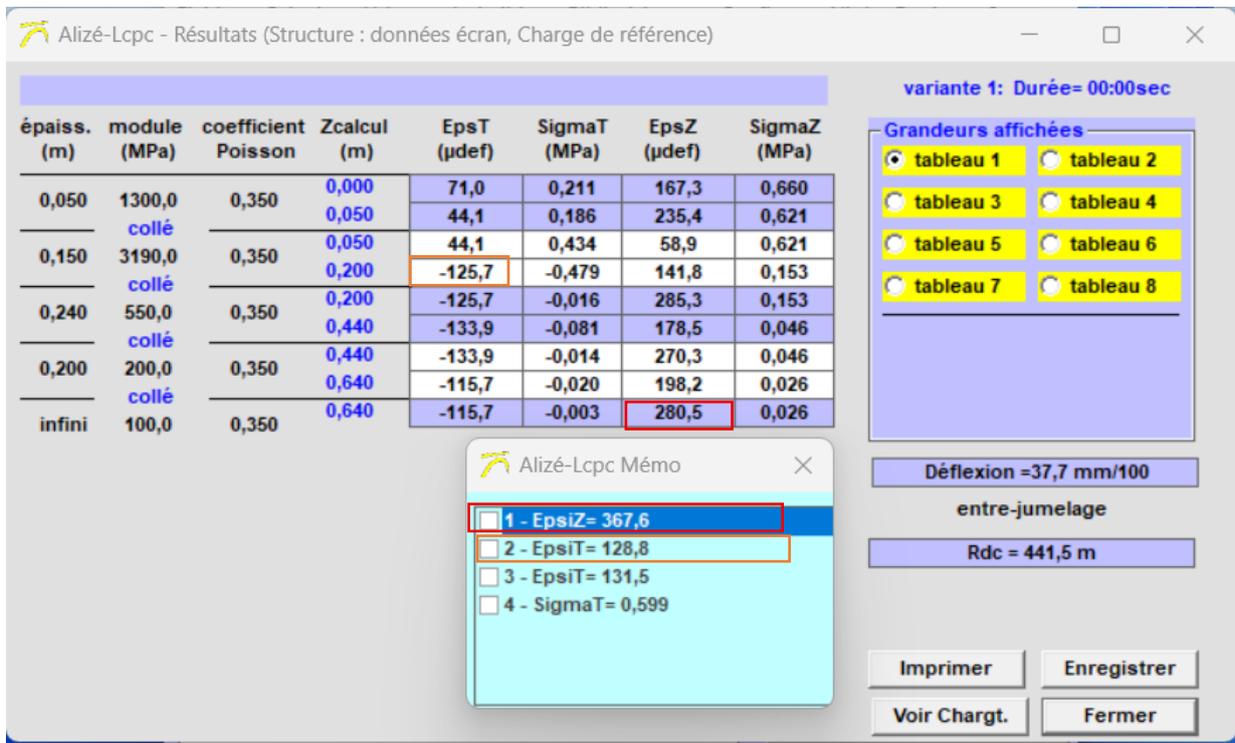


Figure 25: Vérification de la 1ere structure de chaussée améliorée sur Alizé

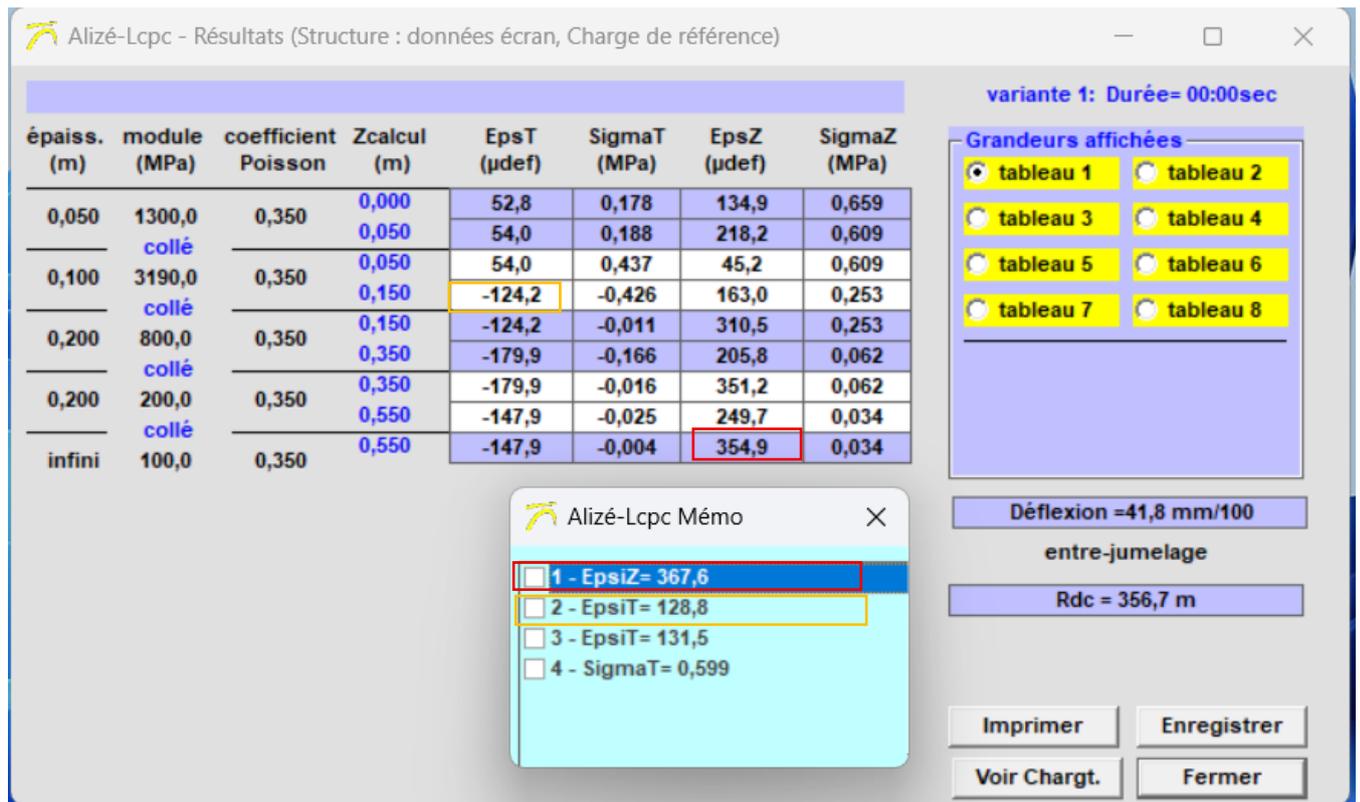


Figure 26: Vérification de la 2eme structure de chaussée améliorée sur Alizé

✓ **Calcul du coût des deux autres structures proposées à partir de la précédente**

Les prix unitaires pour la fourniture et la pose selon le mercuriale des prix unitaires BTP 2025 ainsi que le coût sur 1km de route sont donnés pour chaque structure dans les tableaux ci-dessous :

Tableau 22: Récapitulatif du coût des différents matériaux

1ere structure de chaussée	Prix unitaire (Fourniture et Mise en œuvre) F CFA
BB 5 cm(m3)	222 000
Grave bitume 15 cm(m3)	253 000
GLN (litho stabilisation)	42 500
GLN	6500
2e structure de chaussée	Prix unitaire (Fourniture et Mise en œuvre) F CFA
BB 5 cm(m3)	222 000
Grave bitume 10 cm(m3)	251 000
GLN amélioré au ciment	17 500
GLN	6500

Tableau 23: Coût de Fourniture et de mise en œuvre des structures de chaussée

1ere structure de chaussée	Prix sur 1km (Fourniture et Mise en œuvre) F CFA
BB 5 cm(m3)	83 250 000
Grave bitume 15 cm(m3)	284 625 000
GLN (litho stabilisation)	76 500 000
GLN	9 750 000
Total	454 125 000
2e structure de chaussée	Prix 1km (Fourniture et Mise en œuvre) F CFA
BB 5 cm(m3)	83 250 000
Grave bitume 10 cm(m3)	188 250 000
GLN ciment	26 250 000
GLN	9 750 000
Total	307 500 000

Annexe 4 : Étude hydrologique et hydraulique

✚ Étude hydrologique

Données hydrométriques du Massili utilisée pour l'analyse fréquentielle avec le logiciel Hyfran plus pour obtenir le débit pour une période de retour de 100 (Q_{100}) :

Tableau 24:Données Hydrométriques

Années	Débits maximaux annuels (m3/s)
1975	10
1976	11
1977	17
1978	11,5
1979	12,5
1980	11
1981	13,5
1982	10,5
1983	11
1984	16
1985	11
1986	22,5
1987	10
1988	12
1989	10,5
1990	10
1991	19,9
1992	17,9
1993	8,5
1994	34,5
1995	9
1996	10,5
1997	10
1998	13,5
1999	12,9
2000	10
2001	9
2002	9,5
2003	12,5
2004	16
2005	21,5
2006	10
2007	18,5
2008	17
2009	47
2010	17,1

CONCEPTION ET ÉTUDE TECHNIQUE D'UN PONT SUR LE FLEUVE MASSILI DE LA ROUTE NATIONALE
N°4 AU BURKINA FASO

2011	12
2012	25,5
2013	17,5
2014	15
2015	25
2016	26,25
2017	12
2018	17
2019	19

Ces données sont les débits maximaux annuels allant de 1975 à 2019 relevés sur le massili. L'analyse fréquentielle s'est faite à partir de la loi de Gumbel, ce qui nous a permis d'obtenir les débits suivants à différentes périodes de retour.

Analyse debit max annuel (Loi de GUMBEL)

Gumbel (Method of moments)

Results of the fitting

Number of observations : 45

Parameters

u 12.101730
alpha 5.754528

Quantiles

q = F(X) : non-exceedance probability
T = 1/(1-q)

T	q	XT
10000.0	0.9999	65.1
2000.0	0.9995	55.8
1000.0	0.9990	51.8
200.0	0.9950	42.6
100.0	0.9900	38.6
50.0	0.9800	34.6
20.0	0.9500	29.2
10.0	0.9000	25.1

Figure 27: Résultats des débits obtenus avec la loi de Gumbel

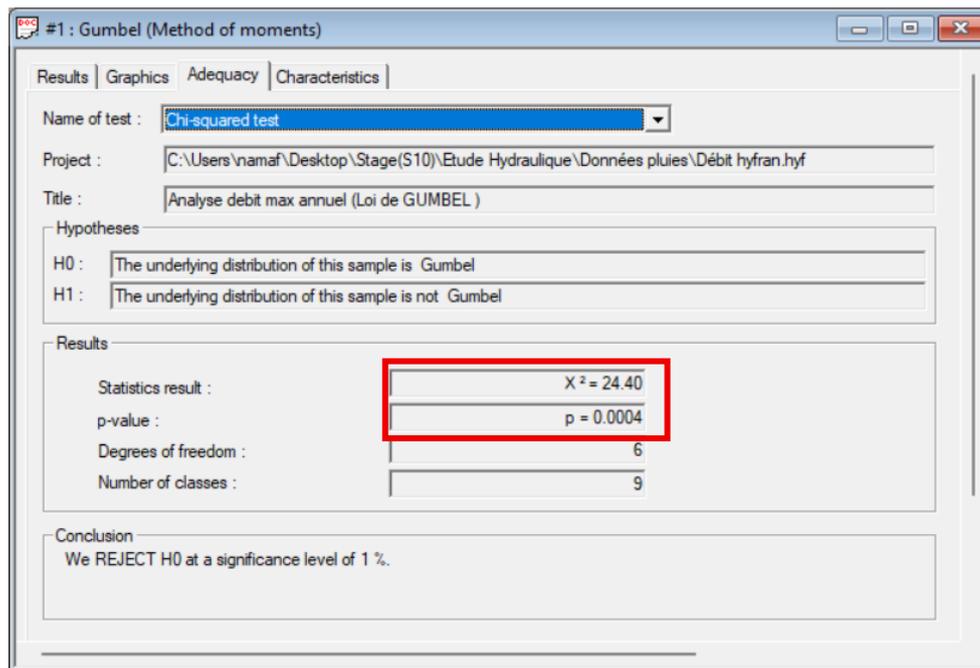


Figure 28: Test d'adéquation (χ^2) avec la loi de Gumbel

Nous observons que $P(\chi^2) \leq 0,05$ donc l'ajustement donné par la loi de Gumbel est rejeté

HYFRANPLUS
(c) INRS-ETE, 2002

Analyse debit max annuel (Loi de Pearson)

Pearson type 3 (Method of moments)

Results of the fitting

Number of observations : 45

Parameters

alpha 0.116285
lambda 0.736567
m 9.089158

Quantiles

q = F(X) : non-exceedance probability
T = 1/(1-q)

T	q	XT
10000.0	0.9999	81.4
2000.0	0.9995	67.9
1000.0	0.9990	62.2
200.0	0.9950	48.9
100.0	0.9900	43.2
50.0	0.9800	37.6
20.0	0.9500	30.3

Figure 29: Résultats des débits obtenus avec la loi de Pearson

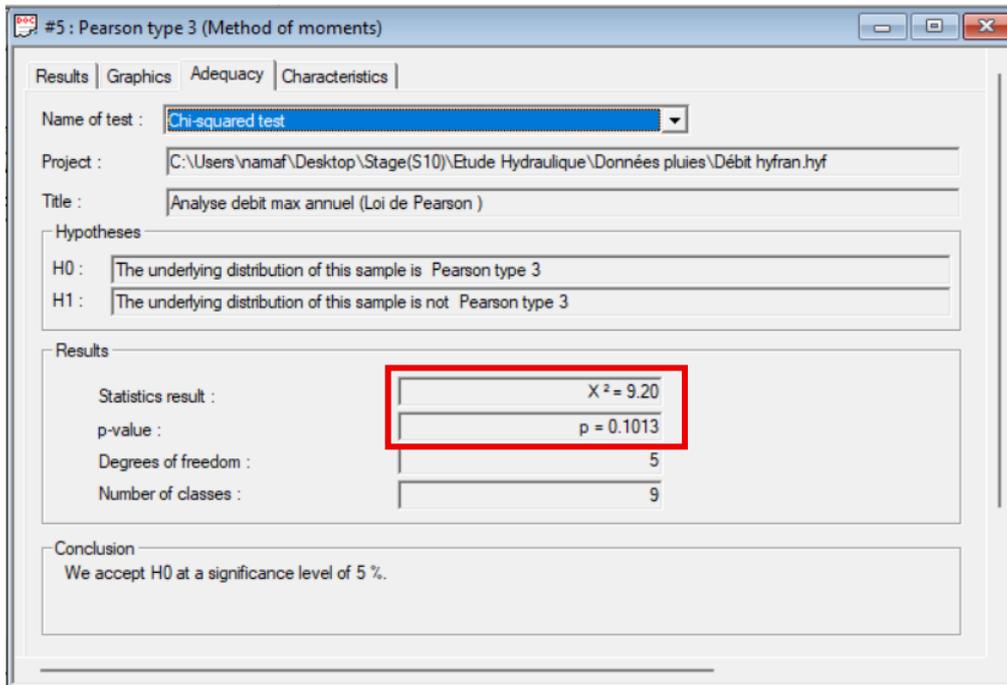


Figure 30: Test d'adéquation (χ^2) avec la loi de Pearson

Nous observons que $P(\chi^2) \geq 0,05$ donc l'ajustement donné par la loi de Pearson est acceptable.

Ainsi pour notre débit centennal nous allons retenir celle obtenue à l'issue de l'analyse fréquentielle avec la loi de Pearson.

Pour une période de retour de 100 ans, on a $Q_{100} = 43,2 \text{ m}^3/\text{s}$

✚ Étude hydraulique

✓ Détermination du débouché Linéaire

Elle est calculée à partir de la formule de LACY qui est la suivante :

$$L = 0.3048 \times \sqrt{35.315} \times b \times \sqrt{Q}$$

Avec :

b : un facteur multiplicatif qui est fonction du terrain pris égale à 1,8

Q : Le Débit centennal obtenu en m^3/s

Après calcul on obtient une valeur théorique de $L = 21,42 \text{ m}$ qui peut être supérieure ou égale à elle-même. Ainsi, après avoir effectué une sortie sur terrain, nous avons pris $L = 23 \text{ m}$ comme débouché linéaire.

✓ Détermination de la hauteur de l'eau (Y_{PHE})

Pour déterminer les Y_{PHE} nous avons appliqué la méthode de la débitance qui est un calcul itératif basé sur la formule de calcul de débit de Manning Strickler. La section de notre canal est rectangulaire.

Formule de Manning Strickler : $Q = K_s \times S_{(y)} \times Rh^{(2/3)}_{(y)} \times \sqrt{I}$

Avec I : la pente ; Rh : Rayon hydraulique ; S : Section mouillé

$\frac{Q}{\sqrt{I}} = K_s \times S_{(y)} \times Rh^{(2/3)}_{(y)} = D_{(y)}$ (Méthode de la débitance)

L'itération est présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 25:Calcul Yphe

Y(m)	Pm	Sm	Rh	(Rh) ^{2/3}	I	(I) ^{1/2}	K	Vitesse	Q
0,5	24	11,5	0,47916667	0,61233779	0,001	0,03162278	30	0,58091464	6,68051834
0,8	24,6	18,4	0,74796748	0,82398975	0,001	0,03162278	30	0,78170532	14,3833778
1	25	23	0,92	0,94592902	0,001	0,03162278	30	0,89738707	20,6399025
1,2	25,4	27,6	1,08661417	1,05693978	0,001	0,03162278	30	1,00270112	27,6745508
1,59	26,18	36,57	1,39686784	1,24959769	0,001	0,03162278	30	1,18547245	43,3527276

On a un $Y_{PHE} = 1,59$ m

✓ **Détermination de l'exhaussement (Δ_h)**

Il est calcul à l'aide de la méthode de Bradley qui propose la formule suivante :

$\Delta_h = K^* \frac{V_a^2}{2g}$ Avec : V_a : la vitesse moyenne de l'écoulement dans la section rétrécie

g : la pesanteur pris égale à 9,81 m/s²

$K^* = K_b + \Delta K_p + \Delta K_e$; avec K_b tenant compte de la contraction latérale M, de la forme des culées et de la longueur à franchir. Dans notre cas, nous avons une rivière à franchir et à l'aide du logiciel google earth et la sortie sur site nous avons estimé la largeur du lit majeur du cours d'eau à 95 m que nous avons utilisé dans la suite de nos calculs.

ΔK_p : tenant compte de l'obstruction j due aux piles, ΔK_e : tenant compte de la contraction M et l'excentrement

N'ayant pas de pile et uniquement des culées qui ne sont pas excentré alors $K^* = K_b$

M est déterminer par le rapport entre le débouché linéaire et la largeur du lit majeur du cours d'eau [5] et K_b déterminer avec l'abaque de Bradley n°1

$M = \frac{23}{95} = 0,2$

- Abaque de Bradley n°1

Détermination du coefficient K_b fonction du rapport de contraction,
du type de culée et de l'ouverture de l'ouvrage.

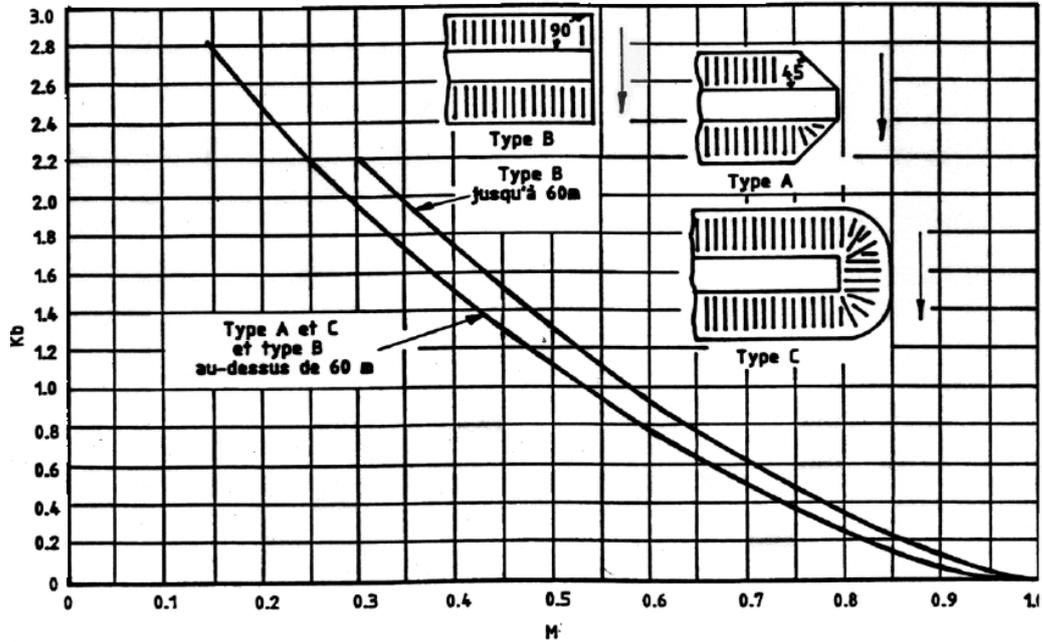


Figure 31: Abaque de Bradley[5]

Tableau 26: Détermination de K^*

Détermination de K^*	
$K^* = K_b$	
Calcul de M	
0,2	
Détermination de K_b (abaque)	
2,45	
K^*	2,45

Tableau 27: Détermination de (Δh)

Détermination de l'exhaussement Maximal (Δh)	
V_a (m/s)	1,18
(Δh) (m)	0,17

✓ **Détermination de la hauteur du pont**

$H_{\text{pont}} = Y_{\text{phe}} + \Delta h + R$ avec R la revanche, selon le BCEOM, comme nous sommes dans une zone à végétation arbustive dense et ayant un pont de moins de 50 m, la revanche doit être prise au moins égale à 2 m. Cependant, nous choisissons une revanche égale à 2,5 m.

On obtient, après calcul, une valeur théorique de $H_{\text{pont}} = 4,26$ m ; Mais pour garantir plus de sécurité, et dans l'optique d'avoir une hauteur supérieure ou égale à la hauteur du pont existant, nous fixons la hauteur du nouvel ouvrage, $H_{\text{pont}} = 5$ m.

Annexe 5 : Conception et Étude technique du pont

✚ Analyse multicritère

Tableau 28: Analyse Multicritères

Critères	Pont à poutre en Béton Armé	Pont dalle en béton armé
Longueur travée courante (Domaine d'emploi courant)	15 à 25 m	15 m
Note sur 5	5	1
Contraintes de construction	Utilisation de quelques engins de levage	Construction sur cintre ou coffrage classique très important
Note sur 5	3	2
Faisabilité local	Technique bien maîtrisé	Technique bien maîtrisé
Note sur 5	3	3
Coût	Moins coûteuse en matériaux et mains d'œuvres	Coûteuse en consommation de matériaux (béton) et mains d'œuvres
Note sur 5	3	2
Coût d'entretien	Contrôles des joints, remplacement des appareils d'appuis	Contrôles des joints, remplacement des appareils d'appuis
Note sur 5	4	4
Temps de construction	Relativement court car les poutres peuvent être préfabriquées	Relativement long car la dalle est entièrement exécutée sur place avec un coffrage complexe
Note sur 5	4	2
Impact environnementale	Les impacts sont presque les mêmes	
Note sur 5	3	3
Total note	25	17

Le pont le plus adapté est le pont à poutre avec une note de 25

✚ Conception du pont à poutre

✓ Description

Un pont à poutre est un ouvrage dont la structure est composée des poutres, des entretoises d'about ou intermédiaire et de l'hourdis. Les poutres sont les éléments porteurs principaux qui supportent les charges en résistant à la flexion. Elles sont disposées parallèlement à l'axe du pont et transmettent les différentes charges aux appuis par le biais de réactions principalement verticale ou quasi verticale. Le tablier est généralement constitué d'une structure linéaire composée de travées soit indépendantes ou continues selon les cas. Les poutres supportent le hourdis destiné à recevoir directement les charges d'exploitation et charges liées aux équipements du tablier. L'entretoise, quant à elle supporte le tablier lorsque l'on veut effectuer le changement des appareils d'appui ainsi que les réactions dues aux vérins.

Dans le cas de notre projet, pour un débouché linéaire de 23 m, nous avons choisi de réaliser un pont à poutre d'une portée de 24 m appui à appui et des entretoises d'about.

✓ **Prédimensionnement des éléments du tablier du pont à poutre**

Le prédimensionnement des différents éléments structuraux se base sur les différentes normes établies et publiées par le SETRA et les cours de conception de pont pour la détermination des dimensions économiques des ouvrages d'art courant.

▪ **Poutre**

- Détermination de hauteur de la poutre (H_p)

L'élançement de la poutre est déterminé comme suit : $\frac{1}{17} \leq \frac{H_p}{L} \leq \frac{1}{15}$ [11] avec L la portée du pont

Pour une portée de 24 m : $1,41 \leq H_p \leq 1,6$; nous prenons alors une hauteur de poutre **$H_p = 1,6 \text{ m} = 160 \text{ cm}$**

- Détermination de la base de la poutre (b_p)

La base est déterminée comme suit : $\frac{H_p}{5} \leq b_p \leq \frac{H_p}{3}$

Pour une hauteur de 1,6 m : $0,32 \leq b_p \leq 0,53$, nous choisissons une base **$b_p = 0,50 \text{ m} = 50 \text{ cm}$**

L'about est pris égale à 0,5 m

- **Détermination de l'entraxe des poutres (b_0)**

De façon générale l'entraxe des poutres est compris entre **1 à 2 m**[12]. Nous avons opté de choisir de prendre l'entraxe des poutres égale à 1,75 pour des raisons techniques de dimensionnement à savoir la diminution des sollicitations.

Donc **$b_0 = 1,75 \text{ m}$**

- **Détermination du nombre de poutres**

Connaissant la largeur totale de notre chaussée sans le TPC qui est de 14,5 m, la base b_p de la poutre ainsi que l'entraxe des poutres, le nombre de poutres est déterminé comme suit :

$$N_{\text{poutre}} = \frac{(l \text{ chaussée} - b_p)}{b_0} + 1$$

$$N_{\text{poutre}} = \frac{(14,5 - 0,5)}{1,75} + 1 = 9 \text{ poutres}$$

$N_{\text{poutre}} = 9 \text{ poutres}$

- **Entretoise**

- **Détermination de la hauteur de l'entretoise**

Elle est déterminée comme suit : $0,8H_p \leq H_e \leq 0,9 H_p$ [12]

On obtient : $1,28 \leq H_e \leq 1,44$, nous choisissons $H_e = 1,4 \text{ m}$

- **Détermination de la base de l'entretoise (be)**

Elle est déterminée comme suit : $be \geq \frac{H_e}{4}$

On obtient : $be \geq 0,35$ nous choisissons $be = 0,35 \text{ m} = 35 \text{ cm}$

- **Détermination du nombre d'entretoise et de la longueur**

Ayant 9 poutres espacées de 1,75 m et étant donné que l'entretoise se situe entre les poutres on a alors **8 entretoises** de part et d'autre de notre tablier, d'une longueur de **1,25 m**.

- **Prédalle**

Nous avons adopté des prédalles non participantes en BA d'épaisseur **5 cm** et débordant dans les poutres de **5 cm** donnant ainsi une largeur de **1,35 m**.

- **Hourdis**

L'épaisseur de l'hourdis est généralement comprise en **14 et 20 cm** [12]. Nous avons choisi une épaisseur d'hourdis de **16 cm**.

✚ **Etude technique du tablier**

- ✓ **Détermination des charges permanentes**

- **Poids propre de la poutre (PP_{Poutre})**

Volume de la poutre : $V_{Poutre} = S \times L$

Avec S : la Surface en m^2 et L la longueur de la poutre qui est de 25 m.

$$S = 1,6 \times 0,5 = 0,8 \text{ m}^2$$

$$V_{Poutre} = 0,8 \times 25 = 20 \text{ m}^3$$

$$PP_{Poutre} = V_{Poutre} \times \gamma_b ; \text{ Avec } \gamma_b \text{ le poids volumique du béton égale à } 25 \text{ kN/m}^3$$

$$PP_{Poutre} = 20 \times 25$$

$$PP_{Poutre} = 500 \text{ kN}$$

▪ **Poids propre de l'entretoise ($PP_{entretoise}$)**

Volume de l'entretoise : $V_{entretoise} = S \times L$

Avec S : la Surface en m^2 et L la longueur de l'entretoise qui est de 1,25 m.

$$S = 1,4 \times 0,35 = 0,49 \text{ m}^2$$

$$V_{entretoise} = 0,49 \times 1,25 = 0,61 \text{ m}^3$$

$PP_{entretoise} = V_{entretoise} \times \gamma_b$ Avec γ_b le poids volumique du béton égale à 25 kN/m^3

$$PP_{entretoise} = 0,61 \times 25$$

$$PP_{entretoise} = 15,25 \text{ kN}$$

▪ **Poids propre de l'hourdis ($PP_{hourdis}$)**

Volume de l'hourdis : $V_{hourdis} = S \times L$

Avec S : la Surface en m^2 et L la longueur de l'hourdis.

$$S = 0,16 \times 14,5 = 2,32 \text{ m}^2$$

$$V_{hourdis} = 2,32 \times 25 = 58 \text{ m}^3$$

$PP_{hourdis} = V_{hourdis} \times \gamma_b$; Avec γ_b le poids volumique du béton égale à 25 kN/m^3

$$PP_{hourdis} = 58 \times 25$$

$$PP_{hourdis} = 1450 \text{ kN}$$

▪ **Poids propre de la prédalle ($PP_{prédalle}$)**

Volume de la prédalle : $V_{prédalle} = S \times L$

Avec S : la Surface en m^2 et L la longueur de la prédalle.

$$S = 0,05 \times 1,35 = 0,07 \text{ m}^2$$

$$V_{prédalle} = 0,07 \times 25 = 1,75 \text{ m}^3$$

$PP_{prédalle} = V_{prédalle} \times \gamma_b$ avec γ_b le poids volumique du béton égale à 25 kN/m^3

$$PP_{prédalle} = 1,75 \times 25$$

$$PP_{prédalle} = 43,75 \text{ kN}$$

▪ **Poids propre du trottoir ($PP_{trottoir}$)**

Avec une surface S de 0,3597 m² et une longueur de 25 m ;

$$V_{trottoir} = 0,3597 \times 25 = 8,99 \text{ m}^3$$

$$PP_{trottoir} = V_{trottoir} \times \gamma_b \text{ avec } \gamma_b \text{ le poids volumique du béton égale à } 25 \text{ kN/m}^3$$

$$PP_{trottoir} = 8,99 \times 25$$

$$PP_{trottoir} = \mathbf{224,75 \text{ kN}}$$

▪ **Poids propre relevé de béton ($PP_{relevé \text{ de béton}}$)**

Avec une surface S de 0,1555 m² et une longueur de 25 m ;

$$V_{relevé \text{ de béton}} = 0,1555 \times 25 = 3,89 \text{ m}^3$$

$$PP_{relevé \text{ de béton}} = V_{relevé \text{ de béton}} \times \gamma_b ; \text{ avec } \gamma_b \text{ le poids volumique du béton égale à } 25 \text{ kN/m}^3$$

$$PP_{relevé \text{ de béton}} = 3,89 \times 25$$

$$PP_{relevé \text{ de béton}} = \mathbf{97,25 \text{ kN}}$$

▪ **Poids propre de l'enrobé ($PP_{enrobé}$)**

$$\text{Volume de l'enrobé : } V_{enrobé} = S \times L$$

Avec S : la Surface en m² et L la longueur sur laquelle est étalé l'enrobé.

$$S = 0,08 \times 11,9 = 0,95 \text{ m}^2$$

$$V_{enrobé} = 0,95 \times 25 = 23,75 \text{ m}^3$$

$$PP_{enrobé} = V_{enrobé} \times \gamma_b \times K_{max} ; \text{ avec } \gamma_b \text{ le poids volumique de l'enrobé égale à } 24 \text{ kN/m}^3$$

$$PP_{enrobé} = 23,75 \times 24 \times 1,4$$

$$PP_{enrobé} = \mathbf{798 \text{ kN}}$$

▪ **Poids propre de l'étanchéité ($PP_{étanchéité}$)**

$$\text{Volume de l'enrobé : } V_{étanchéité} = S \times L$$

Avec S : la Surface en m² et L la longueur sur laquelle est étalé l'étanchéité.

$$S = 0,03 \times 11,9 = 0,357 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{étanchéité}} = 0,357 \times 25 = 8,925 \text{ m}^3$$

$$PP_{\text{étanchéité}} = V_{\text{étanchéité}} \times \gamma_b \times K_{\text{max}} ; \text{ avec } \gamma_b \text{ le poids volumique de l'étanchéité égale à } 22 \text{ kN/m}^3$$

$$PP_{\text{étanchéité}} = 8,925 \times 22 \times 1,4$$

$$PP_{\text{étanchéité}} = \mathbf{274,89 \text{ kN}}$$

▪ **Poids propre de la corniche (PP_{corniche})**

Avec une surface S de 0,3597 m² et une longueur de 25 m ;

$$V_{\text{corniche}} = 0,1597 \times 25 = 3,99 \text{ m}^3$$

$$PP_{\text{corniche}} = V_{\text{corniche}} \times \gamma_b \times K_{\text{max}} ; \text{ avec } \gamma_b \text{ le poids volumique du béton égale à } 25 \text{ kN/m}^3$$

$$PP_{\text{corniche}} = 3,99 \times 25 \times 1,03$$

$$PP_{\text{corniche}} = \mathbf{102,74 \text{ kN}}$$

▪ **Poids propre de la barrière de sécurité BN4**

La BN4 à un poids de 0,65 kN/ml donc on aura son poids propre en kN qui donne :

$$PP_{\text{BN4}} = 0,65 \times L ; \text{ avec } L \text{ sa longueur sur le pont qui est égale à } 25 \text{ m}$$

$$PP_{\text{BN4}} = 0,65 \times 25 = 16,25 \text{ kN}$$

$$PP_{\text{BN4}} = \mathbf{16,25 \text{ kN}}$$

Récapitulatif des charges permanentes			
Eléments	G(kN) non majoré	Nombre	G(kN) majoré par Kmax
Poutre	500	9	4500
Hourdis	1450	/	1450
Entretoise	15,25	16	244
Prédalle	43,75	8	350
Trottoir	224,75	/	224,75
Relevé de béton	97,25	/	97,25
Corniche	99,75	/	102,7425
Enrobé	570	/	798
Étanchéité	196,35	/	274,89
BN4	16,25	2	32,5
Poids propre du tablier sans les équipements (kN)			
6544			
Poids propre du tablier avec les équipements (kN)			
8074,1325			

Le poids propre du tablier sans les équipements est égal à 6544 kN. Elle est la somme du poids des poutres, de l'hourdis, les entretoises et les prédalles. Tandis que celle avec les équipements (enrobé, étanchéité, corniche, relevé de béton, trottoir, BN4) est égale à 8074,13 kN.

✓ **Détermination des surcharges routière civile**

➤ **Paramètres de calcul**

▪ **Largueur roulable (Lr)**

Elle est égale à la Largeur totale du tablier moins la largeur du trottoir (incluant celle de la corniche) et celle du relevé de béton.

Selon la conception du pont on a un relevé de béton de largeur 0,8 m et un trottoir de 1,8 m.

Ainsi $L_r = 14,5 - (0,8 + 1,8) = 11,9 \text{ m}$

▪ **Largeur chargeable**

Dans le cadre de notre étude, la largeur roulable est égale à la largeur chargeable

▪ **Le nombre de voie**

Elle est égale à l'entier de largeur chargeable divisé par 3.

$$N_v = \text{Ent}\left(\frac{L_c}{3}\right); N_v = \text{Ent}\left(\frac{11,9}{3}\right) = 3 \text{ voies}$$

▪ **Largeur d'une voie**

La largeur d'une voie est égale à la valeur obtenue en divisant la largeur du chargeable par le nombre de voie. Ainsi on a la largeur d'une voie qui est égale à 3,97

▪ **Classe du pont**

La classe du pont est fonction de la largeur roulable.

1^{ère} classe : $Lr \geq 7 m$; 2^{ème} classe : $5,50 m < Lr < 7 m$; 3^{ème} classe : $Lr < 5,50 m$

Donc notre pont est de **1^{ère} classe** car la largeur roulable est supérieur à 7 m

Tableau 29:Caractéristiques du pont

Désignations	Valeurs
Largeur roulable	11,9 m
Largeur chargeable	11,9 m
Nombres de voies	3
Largeur d'une voie	3,97 m
Classe du pont	1 ^{ère} classe

➤ **Systeme A**

Le système de charge A est composé de charges uniformément réparties suivant une longueur de chargement et qui correspond à l'arrêt sur le pont d'une ou plusieurs files de véhicules.

Elle est déterminée à partir de l'expression suivante :

$A(l) = 230 + \frac{36000}{l+12}$ [13], Avec L, la longueur chargée qui est égale au porté du pont qui est de 24 m

Elle s'exprime en kN/m^2

Selon le Fascicule N°61 Titre II ,a son article 4.1, la valeur de A(l) doit être multiplié par des coefficient a_1 et a_2 pour le pont ayant une portée unitaire inférieur à 200 m.

Le coefficient a_1 est fonction du nombre de voie chargée et de la classe du pont

Tableau 30: Coefficient multiplicateurs de A(l)[12]

a_1 Nombre de voies chargées	1	2	3	4	≥ 5	
Classe du pont	<i>I</i>	1	1	0,9	0,75	0,7
	<i>II</i>	1	0,9			
	<i>III</i>	0,9	0,8			

Dans le cadre de notre étude $a_1 = 0,9$ car notre pont est de 1^{ère} classe et le nombre de voie est égale à 3.

Le coefficient a_2 est donné par la formule suivante : $a_2 = \frac{V_0}{V}$ avec V_0 qui est fonction de la classe du pont et prend les valeurs suivantes : 1^{ère} classe : 3,5 m ; 2^{ème} classe : 3 m et 3^{ème} classe : 2,75 m.

$V_0 = 3,5$ m Car pont de 1^{ère} classe

V est la largeur d'une voie qui est de 3,97 dans notre cas.

Ainsi $a_2 = \frac{3,5}{3,97} = 0,88$

$A(l)$ est calculer selon que les 3 voies sont chargées.

Tableau 31: Récapitulatif du calcul de $A(l)$

Système de charges A					
Longueur Chargé(m)	$A(l)(\text{kN/m}^2)$	$(400-0.2L) (\text{kN/m}^2)$	$A1=A(l) \times a_1$	Max ($A1, (400-0.2L)$)	$A2(\text{kN/m}^2)$
24	12,3	3,952	11,07	11,07	9,7416

$A(l)=11,07 \times 0,88 = 9,7416 \text{ kN/m}^2$

➤ **Système B**

Les charges du système B sont affectées d'un coefficient de majoration dynamique qui s'applique à tous les 4 Systèmes (Bc, Bc Niger, Bt, Br) selon le Fascicule N°61 Titre II ,a son article 5.5.

Les coefficients de majoration dynamique est calculé à partir de la forme suivante :

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1+0,2 \times L} + \frac{0,6}{1+4 \frac{G}{S}} \quad [13] \text{ Avec}$$

L : Longueur de l'élément(m)(portée), G : Poids total de l'élément(kN) dans notre cas est égale à Poids propre totale du tablier, S : Poids maximal des essieux qui peut être disposé sur la travée ou la portée.

Cette formule est également valable pour la surcharges militaire Mc120.

▪ **Système Bc standard**

Le système Bc est constitué au moins d'un ou au maximum deux camions par files ou voie selon le Fascicule N°61 Titre II . Transversalement, le nombre de files de camions disposés est inférieur ou égal au nombre de voies. Par ailleurs, La file de roue la plus excentrée doit rester à une distance minimale de 0,75 m s'il s'agit d'un dispositif de sécurité ou 0,25 m s'il s'agit d'une bordure. Dans notre cas il s'agit d'une bordure. Les camions du système Bc sont composés de 3 essieux à roue simple munie de pneumatique dont les caractéristiques sont présentées dans l'image ci-dessous :

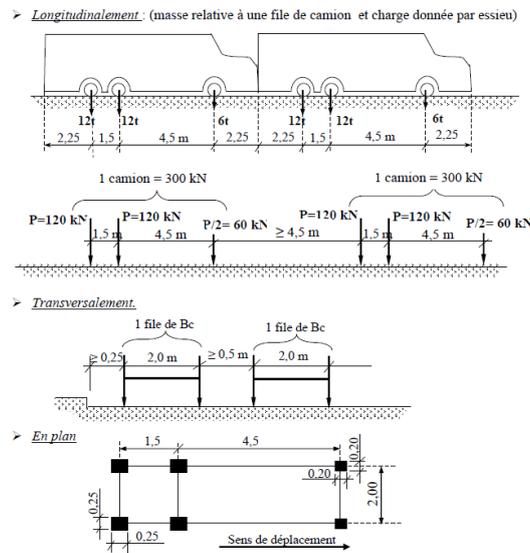


Figure 32: Camion Bc[13]

Selon la classe du pont et du nombre de voies ou files considérées, les valeurs des charges du système Bc son multipliées par des coefficient bc donnés selon le Fascicule N°61 Titre II. Les coefficients bc sont donnés dans le tableau ci-dessous

Tableau 32: Coefficients bc[13]

Nombre de voies ou files chargées		1	2	3	4	5
Classe du pont	<i>I</i>	1,2	1,1	0,95	0,8	0,7
	<i>II</i>	1	1			
	<i>III</i>	1	0,8			

Dans le cadre de notre étude les coefficient bc sont :

Pour 1 file Chargé	1,2
Pour 2 file Chargé	1,1
Pour 3 file Chargé	0,95

▪ **Détermination poids maximal des essieux(S) et le coefficient de majoration dynamique selon le nombre de voie chargée**

$S = n \times M \times bc$ avec n : nombre de voie ou file, M : Masse de camion Bc (une file de deux camions de 300 kN) est égale à 600 kN

Pour 1 voie S	720
Pour 2 voies S	1320
Pour 3 voies S	1710

Les coefficients de majoration dynamique sont donnés dans le tableau ci-dessus

Pour 1 voie (δ)	1,08
Pour 2 voies (δ)	1,09
Pour 3 voies (δ)	1,09

▪ **Système Bc Niger**

A la différence avec le Bc Standard c'est qu'elle est composée de 4 essieux à roue simple munie de pneumatiques avec des charges différentes que celles du Bc standard. Elle est uniquement considérée pour les pays de la zone UEMOA. Ces caractéristiques sont données suivant l'image ci-dessous :

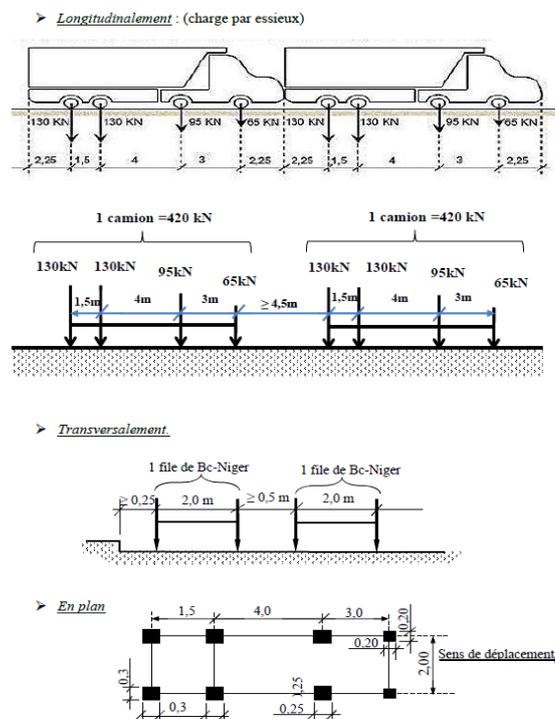


Figure 33:Camion Bc Niger[13]

▪ **Détermination poids maximal des essieux(S) et le coefficient de majoration dynamique selon le nombre de voie chargée**

$S = n \times M \times bc$ avec n : nombre de voie ou file, M : Masse de camion Bc Niger égale à 840 kN

Pour 1 voie S	1008
Pour 2 voies S	1848
Pour 3 voies S	2394

Les coefficients de majoration dynamique sont donnés dans le tableau ci-dessus

Pour 1 voie (δ)	1,08
Pour 2 voies (δ)	1,10
Pour 3 voies (δ)	1,11

▪ **Système Bt**

Un tandem se compose de deux essieux munis de deux roues simples pneumatiques qui pourraient représenter les engins de chantier. Les Caractéristiques du système Bt sont présentées sur l'image ci-dessous :

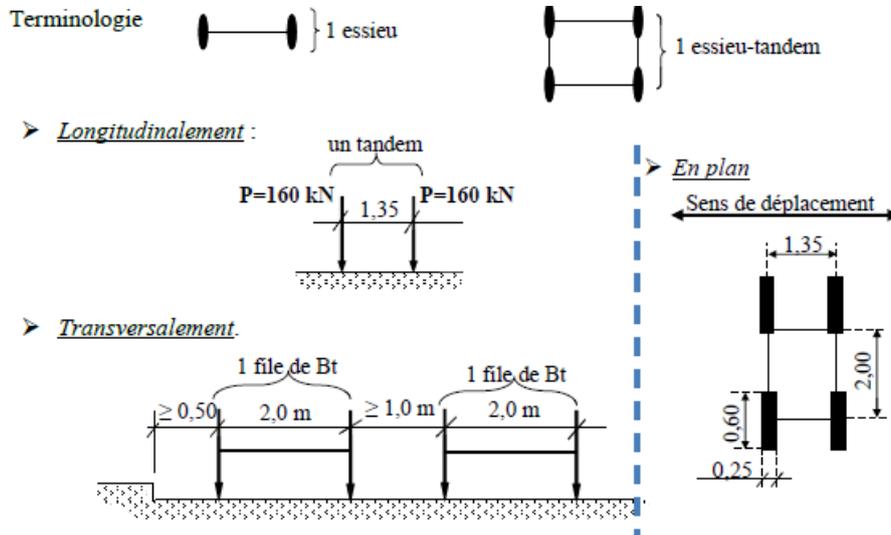


Figure 34:Camion Bt[13]

Le coefficient de majoration de de Bt est fonction de la classe du pont. Pour un pont de 1^{ère} classe bt vaut 1 et 0,9 pour un pont de 2^{ème} place.

Dans notre cas $bt=1$

▪ **Détermination poids maximal des essieux(S) et le coefficient de majoration dynamique**

$S = 4 \times M \times bt$ avec M : Masse de camion Bt égale à 160 kN

$S = 640 \text{ kN}$

Le coefficient de majoration dynamique est égal à 1,08

▪ **Système Br**

Elle est composée d'une roue isolée de 10 t qui peut être disposée partout sur le tablier.

Le coefficient de majoration dynamique est égal à 1,07. Ces caractéristiques sont présentées sur l'image ci-dessous :

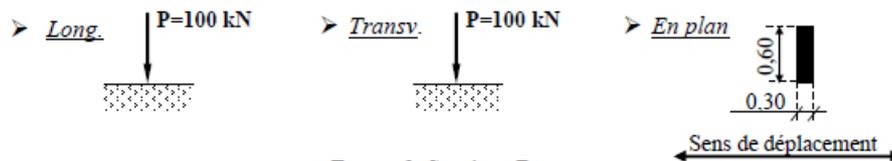


Figure 35: Camion Br[13]

✓ **Surcharges routières Militaire**

On a deux classes de système de charges militaires qui sont le M80 et M 120. Chaque classe comporte également deux systèmes qui sont :

Mc : véhicule type chenille et Me : groupe de 2 essieux. On a donc le Mc 80, Mc120, Me 80, Me120. Le système Mc à chenille est plus utilisé et le Mc120 est plus contraignant que le Mc 80. Nous fixons alors l'hypothèse des passages des MC120 sur notre tablier. Elle possède également un coefficient de majoration dynamique comme les systèmes B.

▪ **Système Mc120**

Repartie sur deux chenilles supportant chacune 55 tonnes, le système Mc 120 est un char de 110 t qui peut circuler sur toute la largeur de la chaussée. Dans notre cas, on ne peut que placer un seul char sur le tablier car la distance entre deux chars est de 36,60 m. Ces caractéristiques sont présentées sur l'image ci-dessous :

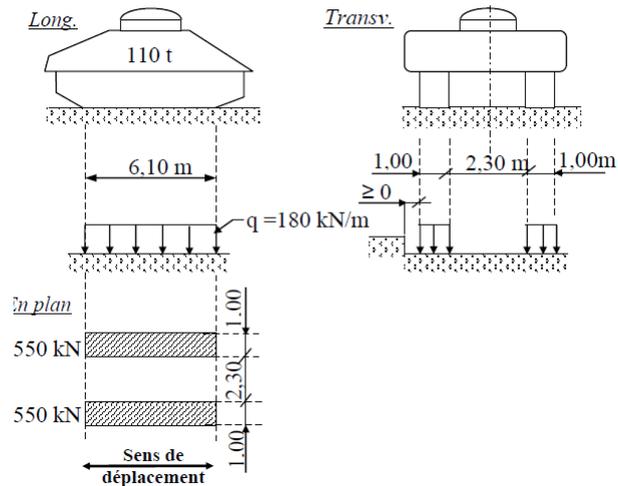


Figure 36: Système Mc 120[13]

$$S=110 \text{ t}=1100 \text{ kN}$$

$$\delta = 1,08$$

- **Convoi exceptionnel de type D**

Elle est constituée de deux remorques supportant chacune 140 tonnes réparties sur la chaussée comme un rectangle uniformément chargé. La distance entre axe des deux rectangles est de 19 m. Ces caractéristiques sont données dans l'image ci-dessous.

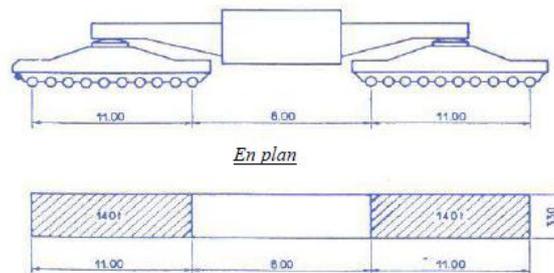


Figure 37: Convoi exceptionnel type D[13]

- **Convoi exceptionnel de type E**

Elle est également constituée de deux remorques supportant chacune 200 tonnes réparties sur la chaussée comme un rectangle uniformément chargé. La distance entre axe des deux rectangles est de 33 m. Ces caractéristiques sont données dans l'image ci-dessous.

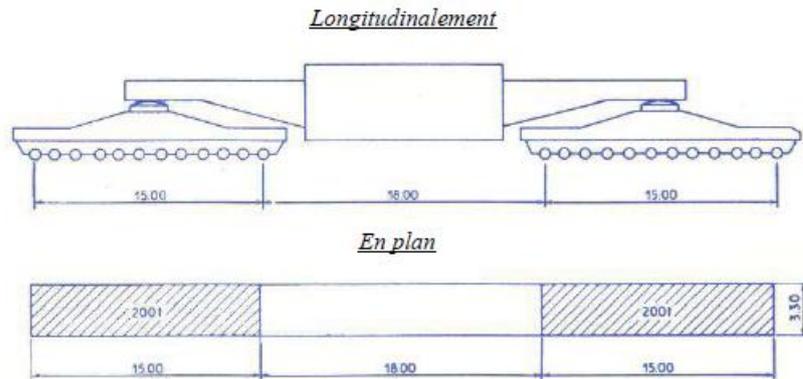


Figure 38 : Convoi exceptionnel type E[13]

S=200 T=2000 kN

✓ **Autres surcharges**

▪ **Surcharges sur le trottoir**

Dans le cadre de notre étude, nous avons fixé la surcharge du trottoir égale à 1,5 kN/m²

▪ **Freinage A(l)**

Elle se calcul par l'expression suivant : $\frac{A(l)}{20+0,0035 \times S}$ [13] avec S : la superficie chargée en m² qui vaut : 285,6 m².

Ainsi le freinage A(l) donne : F.A(l) = 0,463 kN

- Freinage Bc et Bc Niger

Selon le Fascicule N°61 Titre II , Le freinage du au camion Bc est de 300 kN. Le freinage Bc Niger est de 420 kN.

✓ **Modélisation du tablier et de l'entretoise avec le logiciel Robot structural Analysis**

▪ **Présentation du logiciel**

Produit Autodesk, Robot Structural Analysis Professional 2025 est un outil numérique de calcul structurel spécialement conçu pour les ouvrages de génie civil. Il facilite l'évaluation et l'analyse des efforts internes par la méthode des éléments finis. Il propose de nombreuses fonctionnalités pour analyser les efforts statiques et dynamiques, tout en facilitant la vérification pour les structures en béton armé et les charpentes métalliques. De façon générale, il permet la modélisation complète de la structure, de la définition de la géométrie jusqu'à l'application des charges ainsi que le calcul des efforts et sollicitations. Le calcul structurel s'appuie sur des

éléments plaques, facilitant la proposition de solution proche au problème sous l'effet des différentes charges appliquées.

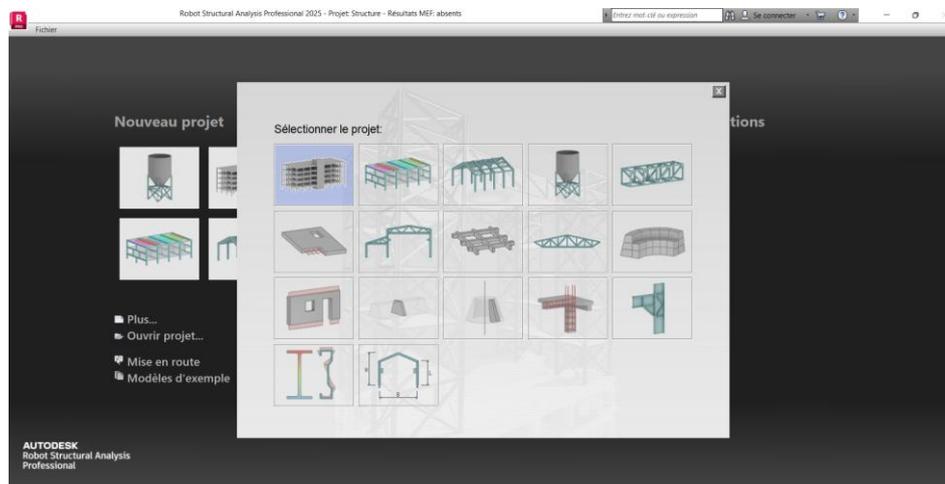


Figure 39: Interface de Robot structural Analysis

■ **Modélisation du tablier et de l'entretoise**

Cette étape consiste à réaliser les différents éléments du tablier, à savoir (les poutres, entretoise, hourdis) tout en conservant les mêmes caractères géométriques et mécaniques définis précédemment. Elles nous permettent de faire une représentation proche de la réalité de notre ouvrage. Dans le cadre de notre étude, on a un pont à poutre à une travée sans encorbellement. Chaque poutre repose sur des appareils d'appui représenté par les appuis simples.

La modélisation de l'ouvrage comprend :

- Définition de la structure : Configuration général de l'ouvrage ;
- Conception structurelle ;
- Définition des matériaux : Caractérisation du béton et de l'acier utilisé
- Définition des cas de charges et des combinaisons
- Vérification et Calcul du tablier

Par ailleurs, l'entretoise ne supportant pas les mêmes charges que le tablier à été modélisé seul pour la détermination de ses sollicitations.

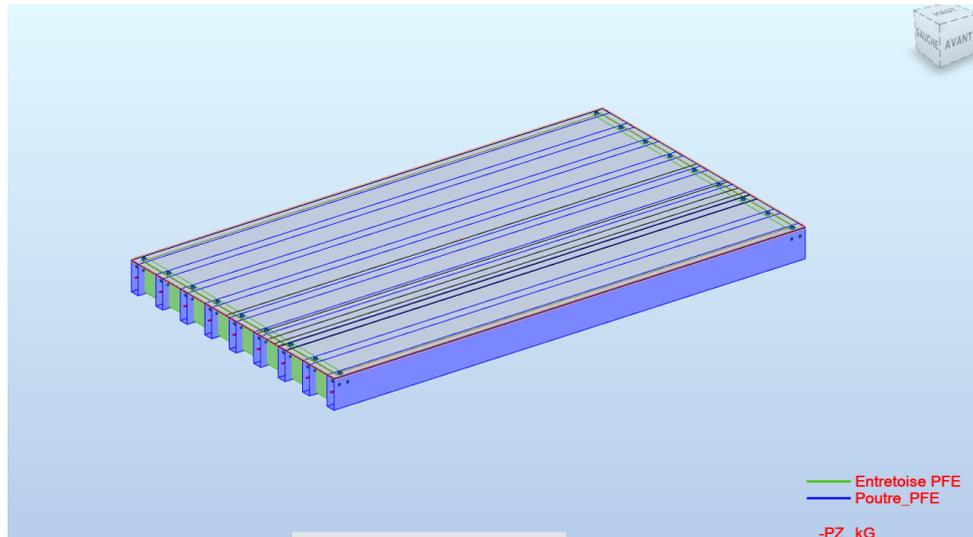


Figure 40: Modélisation du Tablier

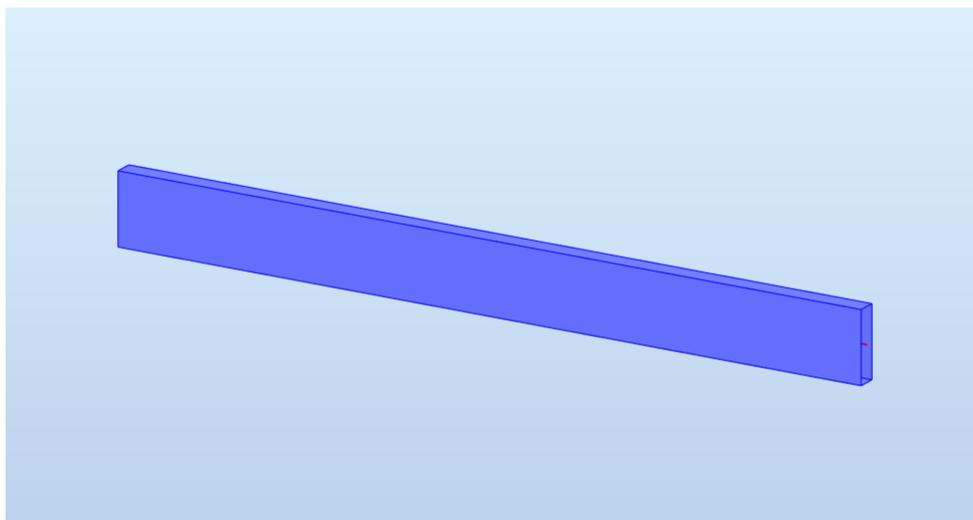


Figure 41: Modélisation de l'entretoise

▪ **Application des différentes charges considérées sur le tablier**

Charges permanentes	Surcharges d'exploitations
Poids propre du tablier	A(l)
Charges permanentes additionnelle	Bc
	Bc niger
	Bt
	Br
	Mc120
	M D
	M E
	Freinage A(l)
	Freinage Bc
	Freinage Bc niger

Le poids propre de tout le tablier est calculé automatiquement par le logiciel. Elle est le premier cas de charge

Les surcharges B_c , ont été appliqué suivant qu'elle soit centré sur l'axe du tablier et excentré selon que nous avons 2 voie chargé et 3 voie chargée. B_r est appliqué à l'axe du tablier. Les surcharges B_t , M_c 120, M_D , M_E sont également appliqué suivant qu'elle soit centré sur l'axe du tablier et excentré.

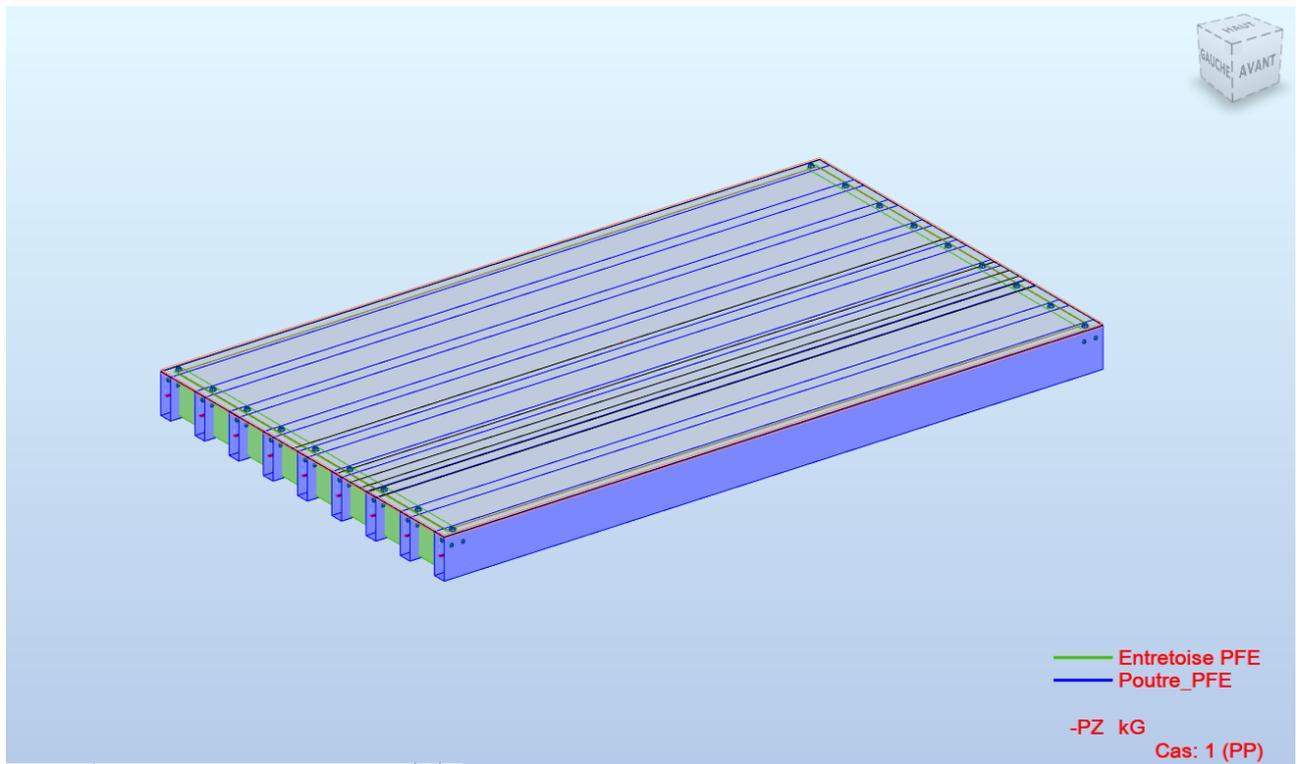


Figure 42: Génération du poids propre

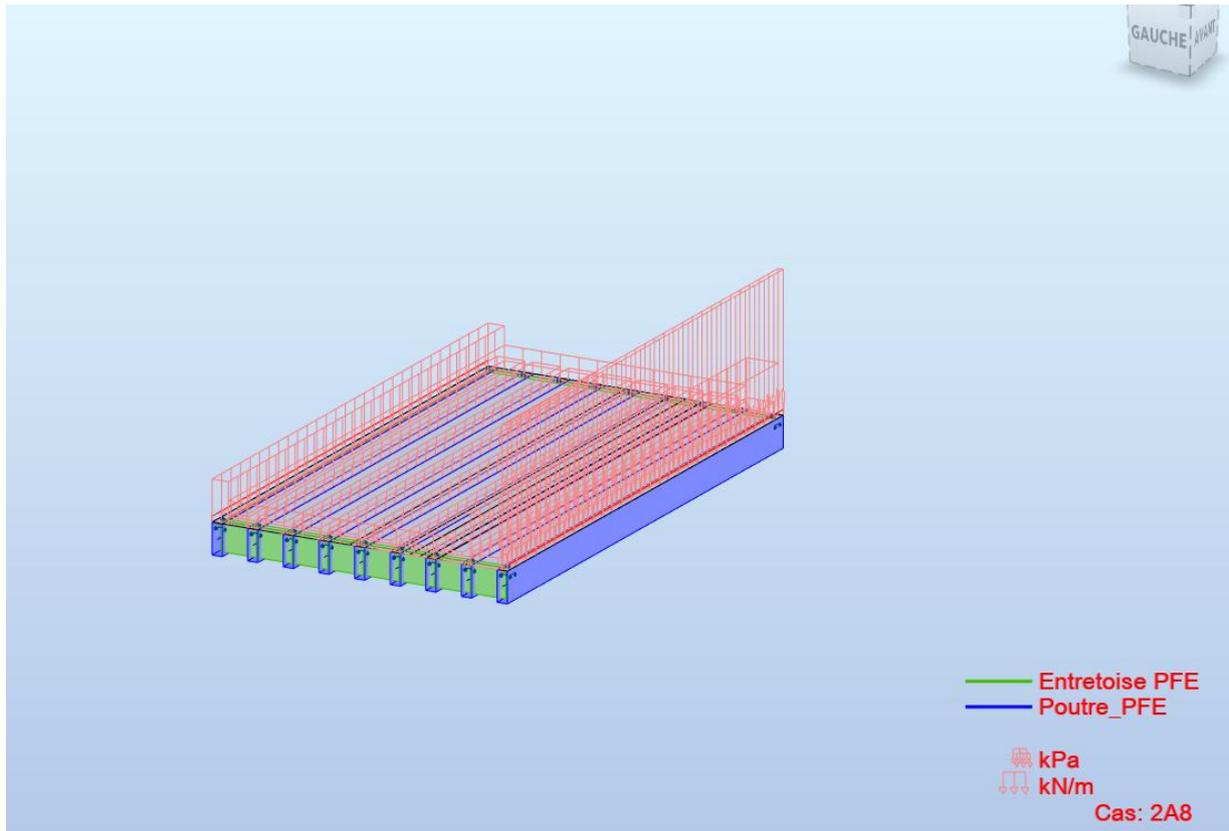


Figure 43: Application des charges additionnelles permanentes

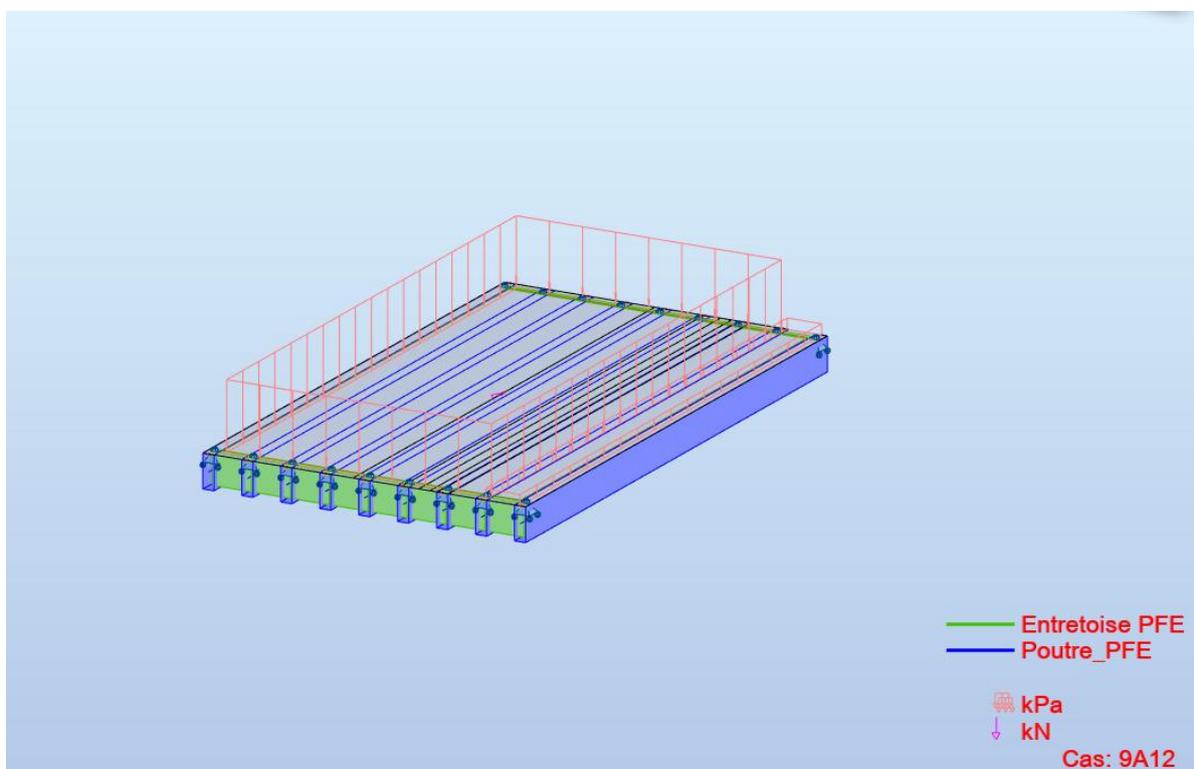


Figure 44 : Application A(1) et des autres surcharges

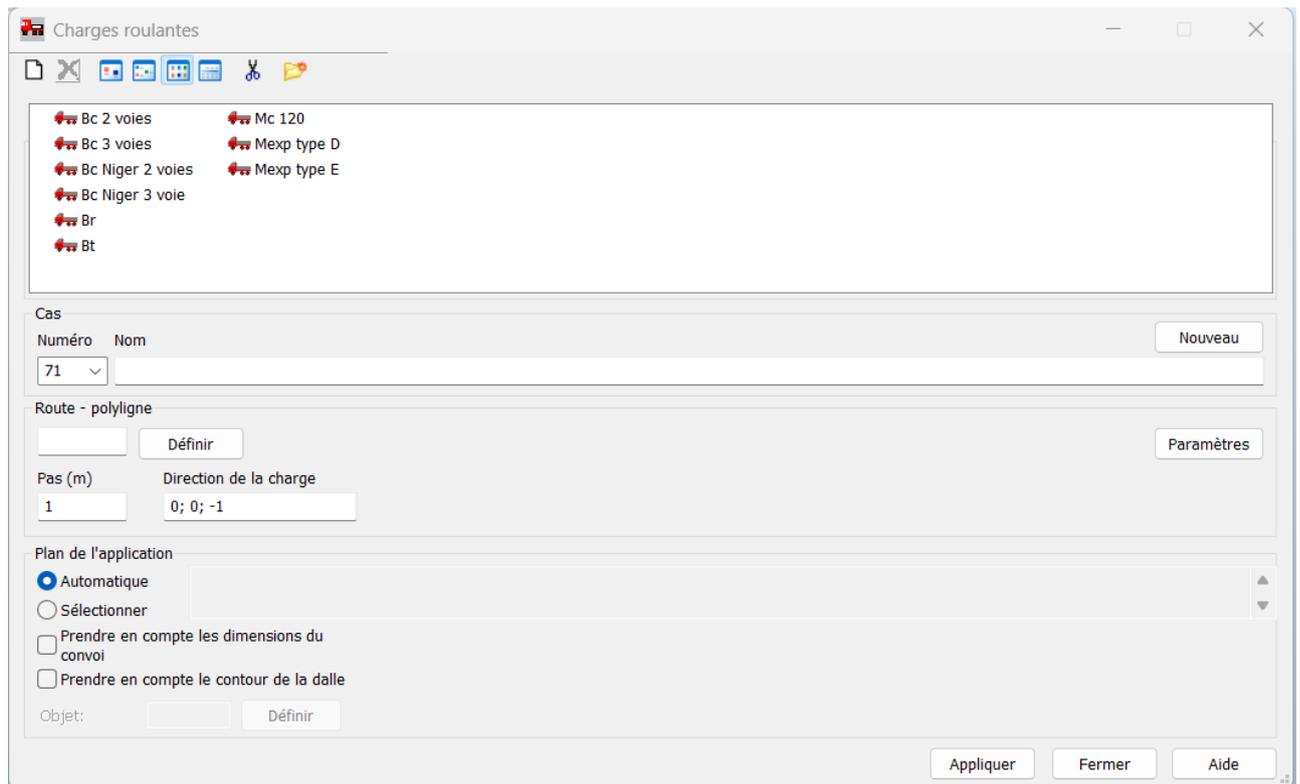


Figure 45: Configuration et définition des différentes charges roulantes

▪ **Application des différentes charges considérées sur l'entretoise**

Le calcul des sollicitations de l'entretoise a été effectué sous les efforts qu'elle doit supporter dû aux charges permanente et aux vérins. Les appuis simples symbolisent les vérins.

Les efforts des différentes charges permanente appliquées sont les différentes réactions obtenues après calcul de tout le tablier au niveau des différents nœuds de jonction entre les poutres et les entretoises.

Ces différents efforts des différentes charges permanentes sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 33: Charges appliqué à l'entretoise

N° de nœud	PP	BB	Etanchéité	Corniche	Trottoir	R- Béton	Prédalle	BN4	Total(kN)
21	292,16	-3,19	-1,10	53,71	63,34	-0,18	9,27	9,08	423,09
22	342,43	43,09	14,86	-4,28	48,88	0,06	23,97	-1,35	462,66
23	333,86	53,86	18,57	3,49	5,34	-0,14	20,83	0,64	436,45
24	337,82	58,92	20,32	-0,91	1,40	-0,21	22,11	-0,23	439,22
25	336,84	59,00	20,34	-0,12	-0,49	-0,20	21,78	-0,02	437,13
26	337,77	59,65	20,57	-0,26	-0,39	-0,28	22,11	-0,23	438,94
27	333,90	55,84	19,25	-0,14	-0,38	2,19	20,84	0,64	432,14
28	342,42	60,19	20,75	0,05	0,17	4,38	23,97	-1,35	450,58
29	292,16	11,29	3,89	-0,18	-0,50	42,99	9,27	9,08	368

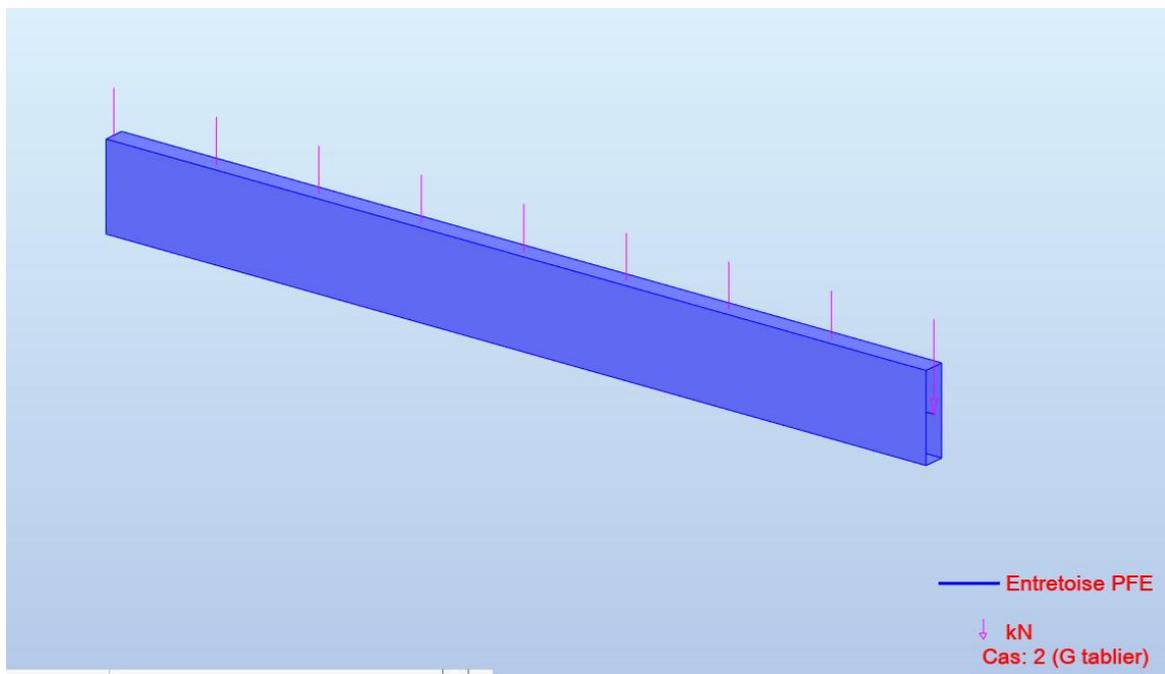


Figure 46: Application des charges sur l'entretoise

▪ **Combinaisons de calcul**

Pour obtenir les différentes sollicitations liées aux charges appliquées sur l'ouvrage, il convient de combiner les différentes actions. Ces combinaisons expriment les différentes situations de chargement que l'on peut avoir sur notre tablier. Nous avons donc 20 Combinaison à ELU et 20 Combinaison à l'ELS.

Les combinaisons sont récapitulées dans le tableau suivant :

Légende du tableau de combinaisons des charges

N° Cas de charge	Désignations
1	PP
2	BB
3	Etanchéité
4	Corniche
5	Trottoir
6	Relevé de Béton
7	Prédalle
8	BN4
9	Qtrottoir
10	A(l)
11	Freinage A(l)
12	Freinage Bc
13	Freinage Bc niger
14	Bc 2 v centré
15	Bc 2 v excentré
16	Bc 3 v Centré
17	Bc 3v excentré
18	Bc niger 2 v centré
19	Bc niger 2v excentré
20	Bc niger 3v centré
21	Bc niger 3v excentré
22	Bt centré
23	Bt excentré
24	Br
25	M c 120 centré
26	M c 120 excentré
27	M D centré
28	M D excentré
29	M E centré
30	M Excentré

Tableau 34: Tableau des combinaisons de charges

	Nom	COMB	Cas	Coef	Cas	Coef																		
ELU	ELU1	ELU	1	1,35																				
	ELU2	ELU	1	1,35	2	1	3	1,35	4	1,35	5	1,35	6	1,35	7	1,35	8	1,35						
	ELU3	ELU	1	1,35	2	1	3	1,35	4	1,35	5	1,35	6	1,35	7	1,35	8	1,35	10	1,6	11	1,6	9	1,6
	ELU4	ELU	1	1,35	2	1	3	1,35	4	1,35	5	1,35	6	1,35	7	1,35	8	1,35	14	1,744	12	1,6	9	1,6
	ELU5	ELU	1	1,35	2	1	3	1,35	4	1,35	5	1,35	6	1,35	7	1,35	8	1,35	15	1,744	12	1,6	9	1,6
	ELU6	ELU	1	1,35	2	1	3	1,35	4	1,35	5	1,35	6	1,35	7	1,35	8	1,35	16	1,744	12	1,6	9	1,6
	ELU7	ELU	1	1,35	2	1	3	1,35	4	1,35	5	1,35	6	1,35	7	1,35	8	1,35	17	1,744	12	1,6	9	1,6
	ELU8	ELU	1	1,35	2	1	3	1,35	4	1,35	5	1,35	6	1,35	7	1,35	8	1,35	18	1,76	13	1,6	9	1,6
	ELU9	ELU	1	1,35	2	1	3	1,35	4	1,35	5	1,35	6	1,35	7	1,35	8	1,35	19	1,76	13	1,6	9	1,6
	ELU10	ELU	1	1,35	2	1	3	1,35	4	1,35	5	1,35	6	1,35	7	1,35	8	1,35	20	1,776	13	1,6	9	1,6
	ELU11	ELU	1	1,35	2	1	3	1,35	4	1,35	5	1,35	6	1,35	7	1,35	8	1,35	21	1,776	13	1,6	9	1,6
	ELU12	ELU	1	1,35	2	1	3	1,35	4	1,35	5	1,35	6	1,35	7	1,35	8	1,35	22	1,728	9	1,6		
	ELU13	ELU	1	1,35	2	1	3	1,35	4	1,35	5	1,35	6	1,35	7	1,35	8	1,35	23	1,728	9	1,6		
	ELU14	ELU	1	1,35	2	1	3	1,35	4	1,35	5	1,35	6	1,35	7	1,35	8	1,35	24	1,712	9	1,6		
	ELU15	ELU	1	1,35	2	1	3	1,35	4	1,35	5	1,35	6	1,35	7	1,35	8	1,35	25	1,458	9	1,6		
	ELU16	ELU	1	1,35	2	1	3	1,35	4	1,35	5	1,35	6	1,35	7	1,35	8	1,35	26	1,458	9	1,6		
	ELU17	ELU	1	1,35	2	1	3	1,35	4	1,35	5	1,35	6	1,35	7	1,35	8	1,35	27	1,35	9	1,6		
	ELU18	ELU	1	1,35	2	1	3	1,35	4	1,35	5	1,35	6	1,35	7	1,35	8	1,35	28	1,35	9	1,6		
	ELU19	ELU	1	1,35	2	1	3	1,35	4	1,35	5	1,35	6	1,35	7	1,35	8	1,35	29	1,35	9	1,6		
	ELU20	ELU	1	1,35	2	1	3	1,35	4	1,35	5	1,35	6	1,35	7	1,35	8	1,35	30	1,35	9	1,6		
ELS	ELS1	ELS	1	1																				
	ELS2	ELS	1	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	1	7	1	8	1						
	ELS3	ELS	1	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	1	7	1	8	1	10	1,2	11	1,2	9	1
	ELS4	ELS	1	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	1	7	1	8	1	14	1,308	12	1,2	9	1
	ELS5	ELS	1	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	1	7	1	8	1	15	1,308	12	1,2	9	1
	ELS6	ELS	1	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	1	7	1	8	1	16	1,308	12	1,2	9	1

CONCEPTION ET ÉTUDE TECHNIQUE D'UN PONT SUR LE FLEUVE MASSILI DE LA ROUTE NATIONALE N°4 AU BURKINA FASO

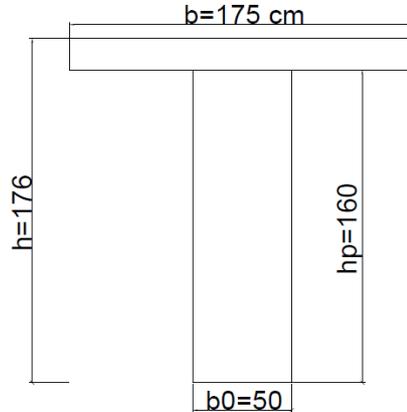
ELS7	ELS	1	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	1	7	1	8	1	17	1,308	12	1,2	9	1
ELS8	ELS	1	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	1	7	1	8	1	18	1,32	13	1,2	9	1
ELS9	ELS	1	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	1	7	1	8	1	19	1,32	13	1,2	9	1
ELS10	ELS	1	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	1	7	1	8	1	20	1,332	13	1,2	9	1
ELS11	ELS	1	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	1	7	1	8	1	21	1,332	13	1,2	9	1
ELS12	ELS	1	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	1	7	1	8	1	22	1,296	9	1		
ELS13	ELS	1	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	1	7	1	8	1	23	1,296	9	1		
ELS14	ELS	1	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	1	7	1	8	1	24	1,284	9	1		
ELS15	ELS	1	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	1	7	1	8	1	25	1,08	9	1		
ELS16	ELS	1	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	1	7	1	8	1	26	1,08	9	1		
ELS17	ELS	1	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	1	7	1	8	1	27	1	9	1		
ELS18	ELS	1	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	1	7	1	8	1	28	1	9	1		
ELS19	ELS	1	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	1	7	1	8	1	29	1	9	1		
ELS20	ELS	1	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	1	7	1	8	1	30	1	9	1		

Ce tableau présente l'ensemble des combinaisons effectuées pour le calcul de notre tablier

Annexe 6 : Dimensionnement Manuel des éléments de la superstructure

✓ Dimensionnement de la poutre

La poutre est dimensionnée comme une poutre de section en T



Le moment fléchissant maximal au niveau de la poutre obtenus après calcul du tablier : $M_u = 5749,67 \text{ kN.m}$

▪ Données de calcul

Resistance caractéristique du béton : $F_{c28} = 30 \text{ Mpa}$;

Résistance à la compression du Béton : $f_{bu} = \frac{0,85 \times f_{c28}}{\theta \times \gamma_b} = \frac{0,85 \times 30}{1 \times 1,5} = 17 \text{ Mpa}$

Acier : Fe 500 ; Nuance d'acier : $f_{su} = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ Mpa}$

▪ Calcul du moment de référence (M_{tu})

$M_{tu} = (d - \frac{1}{2}h_0) \times f_{bu} \times b \times h_0$ Avec $d = 0,9 \times h = 0,9 \times 1,76 = 1,584 \text{ m}$

$M_{tu} = (1,584 - \frac{1}{2} \times 0,16) \times 17 \times 1,75 \times 0,16$

$M_{tu} = 7,15904 \text{ MN.m} = 7159,04 \text{ kN.m}$

$M_u < M_{tu}$; donc la section d'armature tendue (A_{st}) sont calculé en considérant que la poutre est une poutre rectangulaire de largeur b .

Donc $A_{st} \neq 0$ et $A_{sc} = 0$

$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}}$; avec $Z_u = d \times (1 - 0,4\alpha_u)$

$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u})$; avec $\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{5749,67 \cdot 10^{-3}}{1,75 \times 1,584^2 \times 17} = 0,08$

$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,08}) = 0,104$

$Z_u = d \times (1 - 0,4\alpha_u) = 1,584 \times (1 - 0,4 \times 0,104) = 1,518$

$$A_{st} = \frac{5749,67 \cdot 10^{-3}}{1,518 \times 434,78}$$

$$A_{st} = 8,711 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 = 87,11 \text{ cm}^2$$

Choix des aciers :

12HA32 couvrant une section de 96,51 cm² supérieur à la section d'armature théorique.

- **Vérification de la Condition de Non-fragilité**

$$A_{min} = \frac{I}{\left(d - \frac{h_0}{3}\right) \times v} \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$v = h - v' ; \text{ Avec } v' = \frac{b_0 \times h^2 + (b - b_0) \times h_0^2}{2 \times (b_0 \times h + (b - b_0) \times h_0)} = \frac{0,5 \times 1,76^2 + (1,75 - 0,5) \times 0,16^2}{2 \times (0,5 \times 1,76 + (1,75 - 0,5) \times 0,16)} = 0,732 \text{ m}$$

$$v = 1,76 - 0,732 = 1,028 \text{ m}$$

$$I = b_0 \times \frac{h^3}{3} + (b - b_0) \times \frac{h_0^3}{3} - (b_0 \times h + (b - b_0) \times h_0) \times v'^2$$

$$I = 0,5 \times \frac{1,76^3}{3} + (1,75 - 0,5) \times \frac{0,16^3}{3} - (0,5 \times 1,76 + (1,75 - 0,5) \times 0,16) \times 0,732^2$$

$$I = 0,332 \text{ m}^4$$

$$A_{min} = \frac{0,332}{\left(1,584 - \frac{0,16}{3}\right) \times 1,028} \times \frac{2,4}{500}$$

$$A_{min} = 1,013 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 = 10,13 \text{ cm}^2$$

A_{min} < A_{st} donc la condition de non fragilité est vérifié

- **Vérification de l'effort tranchant et calcul des aciers transversaux**

On a un effort tranchant maximal $V_u = 1056,91$

Vérifions que :

$$\tau_u(\text{contrainte tangentielle de la poutre}) < \tau_{ul}(\text{Contrainte tangentielle limite})$$

- **Contrainte tangentielle de la poutre**

$$\tau_u = \frac{V_u}{d \times b_0} \text{ Avec } d = 0,9 \times h_p = 0,9 \times 1,6 = 1,44 \text{ m}$$

$$\tau_u = \frac{1056,91 \cdot 10^{-3}}{1,44 \times 0,5}$$

$$\tau_u = 1,46 \text{ Mpa}$$

- **Contrainte tangentielle limite**

$$\tau_{ul} = \min \left\{ \frac{5 \text{ Mpa}}{\gamma_b}, \frac{0,2 \times f_{c28}}{1,5} \right\} = \frac{0,2 \times 30}{1,5} = 4 \text{ Mpa}$$

$$\tau_u = 4 \text{ Mpa}$$

$\tau_u < \tau_{ul}$ (*Condition vérifier*)

- Calcul des armatures transversaux φ_t

$$\varphi_t \geq \frac{1}{3} \varphi_{tmax} = \frac{1}{3} \times 32 = 10,66 \text{ mm} ; \text{ on prend } \varphi_t = 12 \text{ mm}$$

$$A_t = 4HA12 \text{ soit } 4,52 \text{ cm}^2$$

- Calcul de l'espacement

$$S_{t0} \leq \frac{0,9f_{su} \times A_t}{(\tau_u - 0,3ft28) \times b_0} = \frac{0,9 \times 434,78 \times 4,52}{(1,46 - 0,3 \times 2,4) \times 50} = 47,80 \text{ cm}$$

On prend $S_{t0} = 20 \text{ cm}$

Vérifions que :

$$\frac{A_t \times f_e}{b_0 \times S_{t0}} \geq 0,4 \text{ Mpa} \Rightarrow \frac{4,52 \times 500}{50 \times 20} = 2,26 \text{ Mpa} > 0,4 \text{ Mpa}$$

Et

$$S_{t0} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 0,9 \times d = 0,9 \times 144 = 129,6 \text{ cm} \\ 40 \text{ cm} \end{array} \right. \text{ donc } S_{t0} \leq 40 \text{ cm}$$

- Calcul de la section d'armatures du au moment résiduel en appui

On a un moment Résiduel maximal $M_{Ra} = 169,97 \text{ kN.m}$

$$A_{st} = \frac{M_{ra}}{Z_u \times f_{su}} ; \text{ avec } Z_u = d \times (1 - 0,4\alpha_u) , d = 1,44 \text{ m}, b_0 = 0,5 \text{ m}$$

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u}) ; \text{ avec } \mu_u = \frac{M_u}{b_0 \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{169,97 \cdot 10^{-3}}{0,5 \times 1,44^2 \times 17} = 9,64 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 9,64 \cdot 10^{-3}}) = 0,012$$

$$Z_u = d \times (1 - 0,4\alpha_u) = 1,44 \times (1 - 0,4 \times 0,012) = 1,43$$

$$A_{st} = \frac{169,97 \cdot 10^{-3}}{1,43 \times 434,78}$$

$$A_{st} = 2,73 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 2,73 \text{ cm}^2$$

Remarque :

Nous observons que cette section d'armature est très petite par rapport à A_{smin} calculé.

Ainsi pour pouvoir reprendre ces sollicitations résiduelles et répondre à celle dû au levage de la poutre pour son transport, nous placerons A_{smin} comme acier de montage de la poutre.

- Détermination des armatures de peau

Selon l'article A.8.3 du BAEL 91 révisée 99, les sections des armatures de peau est d'au moins 3 cm^2 par mètre de longueur de paroi mesurée perpendiculairement à leur direction.

$$\text{Ainsi on a : } A_{peau} = 3 \times hp = 3 \times 1,60 = 4,8 \text{ cm}^2 \text{ par face}$$

Choix des Aciers de montage et de peau

Aciers de montage : 4HA20 couvrant une section de $12,57 \text{ cm}^2$ supérieur à la section d'armature théorique.

Acier de peau : **4HA14 par face couvrant une section de $6,16 \text{ cm}^2$ supérieur à la section d'armature théorique.**

✓ **Dimensionnement de l'entretoise**

A l'issue du calcul de l'entretoise avec le logiciel robot nous avons obtenus :

$$M_{max}(travée) = 165,21 \text{ kN.m} ; M_{max}(appui) = 505,99 \text{ kN.m}$$

L'entretoise est dimensionnée comme une poutre de section rectangulaire



▪ **Données de calcul**

Resistance caractéristique du béton : $F_{c28} = 30 \text{ Mpa}$;

$$\text{Résistance à la compression du Béton : } f_{bu} = \frac{0,85 \times f_{c28}}{\theta \times \gamma_b} = \frac{0,85 \times 30}{1 \times 1,5} = 17 \text{ Mpa}$$

$$\text{Acier : Fe 500 ; Nuance d'acier : } f_{su} = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ Mpa}$$

$$\mu_{l(500)} = 0,37$$

$$d = 0,9 \times h = 0,9 \times 1,4 = 1,26 \text{ m}$$

▪ **Calcul de la section d'armature en travée**

$$A_{st_{travée}} = \frac{M_{max}(travée)}{Z_u \times f_{su}} ; \text{ avec } Z_u = d \times (1 - 0,4\alpha_u)$$

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u}) ; \text{ avec } \mu_u = \frac{M_{max}(travée)}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{165,21 \cdot 10^{-3}}{0,35 \times 1,26^2 \times 17} = 0,017 < \mu_l$$

On n'a donc pas d'acier comprimé.

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,017}) = 0,021$$

$$Z_u = d \times (1 - 0,4\alpha_u) = 1,26 \times (1 - 0,4 \times 0,021) = 1,25$$

$$A_{st_{travée}} = \frac{165,21 \cdot 10^{-3}}{1,25 \times 434,78}$$

$$A_{st_{travée}} = 3,03 \cdot 10^{-4} m^2 = 3,03 cm^2$$

▪ **Calcul de la section d'armature en appui**

$$A_{st_{appui}} = \frac{M_{max}(appui)}{Z_u \times f_{su}} ; \text{ avec } Z_u = d \times (1 - 0,4\alpha_u)$$

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u}) ; \text{ avec } \mu_u = \frac{M_{max}(appui)}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{505,99 \cdot 10^{-3}}{0,35 \times 1,26^2 \times 17} = 0,067$$

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,067}) = 0,087$$

$$Z_u = d \times (1 - 0,4\alpha_u) = 1,26 \times (1 - 0,4 \times 0,087) = 1,22$$

$$A_{st_{appui}} = \frac{505,99 \cdot 10^{-3}}{1,22 \times 434,78}$$

$$A_{st_{appui}} = 9,54 \cdot 10^{-4} m^2 = 9,54 cm^2$$

▪ **Vérification de la condition de non-fragilité**

Calcul de A_{smin}

$$A_{smin} = 0,23 \times b_0 \times d \times \frac{ft_{28}}{f_e} = 0,23 \times 0,35 \times 1,26 \times \frac{2,4}{500}$$

$$A_{smin} = 4,87 \cdot 10^{-4} m^2 = 4,87 cm^2$$

$A_{st_{travée}} < A_{smin}$ (Condition non vérifier) donc $A_{st_{travée}} = A_{smin}$

$A_{st_{appui}} > A_{smin}$ (Condition vérifier)

Choix des Aciers :

Travée : 3HA16 couvrant une section de $6,03 cm^2$ supérieur à la section d'armature théorique.

Appui : 6HA16 couvrant une section de $12,06 cm^2$ supérieur à la section d'armature théorique.

▪ **Vérification de l'effort tranchant et calcul des aciers transversaux**

On a un effort tranchant maximal $V_u = 593,18$

Vérifions que :

$$\tau_u(\text{contrainte tangentielle de la poutre}) < \tau_{ul}(\text{Contrainte tangentielle limite})$$

▪ **Contrainte tangentielle de la poutre**

$$\tau_u = \frac{V_u}{d \times b_0} \text{ Avec } d = 0,9 \times hp = 0,9 \times 1,4 = 1,26 m$$

$$\tau_u = \frac{593,18 \cdot 10^{-3}}{1,26 \times 0,35}$$

$$\tau_u = 1,35 Mpa$$

▪ **Contrainte tangentielle limite**

$$\tau_{ul} = \min \left\{ \begin{array}{l} 5 \text{ Mpa} \\ \frac{0,2f_c28}{\gamma_b} = \frac{0,2 \times 30}{1,5} = 4 \text{ Mpa} \end{array} \right.$$

$$\tau_{ul} = 4 \text{ Mpa}$$

$$\tau_u < \tau_{ul} (\text{Condition vérifier})$$

▪ **Calcul des armatures transversaux φ_t**

$$\varphi_t \geq \frac{1}{3} \varphi_{lmax} = \frac{1}{3} \times 16 = 5,33 \text{ mm} ; \text{ on prend } \varphi_t = 8 \text{ mm}$$

$$A_t = 4HA8 \text{ soit } 2,01 \text{ cm}^2$$

▪ **Calcul de l'espacement**

$$S_{t0} \leq \frac{0,9f_{su} \times A_t}{(\tau_u - 0,3ft28) \times b_0} = \frac{0,9 \times 434,78 \times 2,01}{(1,35 - 0,3 \times 2,4) \times 35} = 35,66 \text{ cm}$$

$$\text{On prend } S_{t0} = 20 \text{ cm}$$

Vérifions que :

$$\frac{A_t \times f_e}{b_0 \times S_{t0}} \geq 0,4 \text{ Mpa} \Rightarrow \frac{A_t \times 500}{35 \times 20} = 1,43 > 0,4 \text{ Mpa} \quad \text{Et}$$

$$S_{t0} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 0,9 \times d = 0,9 \times 144 = 129,6 \text{ cm} \\ 40 \text{ cm} \end{array} \right. \text{ donc } S_{t0} \leq 40 \text{ cm}$$

$$\text{Pour les aciers de peau on a : } A_{peau} = 3 \times h = 3 \times 1,4 = 4,2 \text{ cm}^2$$

Choix des aciers de peau : 3HA14 couvrant une section de 4,62 cm² supérieur à la section d'armature théorique.

✓ **Vérification de l'effort tranchant et calcul des aciers transversaux de l'hourdis**

Cette vérification se fait suivant une poutre de base (b_0) égale à 1 m et une hauteur (h) égale à 0,16 m

$$\text{On a un effort tranchant maximal } V_u = 432,37 \text{ kN}$$

Vérifions que :

$$\tau_u (\text{contrainte tangentielle de la poutre}) < \tau_{ul} (\text{Contrainte tangentielle limite})$$

▪ **Contrainte tangentielle de l'hourdis**

$$\tau_u = \frac{V_u}{d \times b_0} \text{ Avec } d = 0,9 \times h = 0,9 \times 0,16 = 0,144 \text{ m}$$

$$\tau_u = \frac{432,37 \cdot 10^{-3}}{0,144 \times 1}$$

$$\tau_u = 3 \text{ Mpa}$$

▪ **Contrainte tangentielle limite**

$$\tau_{ul} = \min \left\{ \frac{5 \text{ Mpa}}{\gamma_b}, \frac{0,2 \times 30}{1,5} = 4 \text{ Mpa} \right.$$

$$\tau_{ul} = 4 \text{ Mpa}$$

$$\tau_u < \tau_{ul} (\text{Condition vérifier})$$

Conclusion : Donc pas besoin d'armatures transversales dans la dalle

✓ **Dimensionnement des sections d'armature à mettre dans l'hourdis**

▪ **Suivant les moments obtenus dans le sens de X (Sens de portée principale)**

Les moments obtenus suivant X sont :

- Moment en appui (M_a) = 39,77 kN.m ; Moment en travée (M_t) = 61,66 kN.m

• **Données de calcul**

Resistance caractéristique du béton : $f_{c28} = 30 \text{ Mpa}$;

Résistance à la compression du Béton : $f_{bu} = \frac{0,85 \times f_{c28}}{\theta \times \gamma_b} = \frac{0,85 \times 30}{1 \times 1,5} = 17 \text{ Mpa}$

Acier : Fe 500 ; Nuance d'acier : $f_{su} = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ Mpa}$

$$\mu_{l(500)} = 0,37$$

$$d = 0,9 \times h = 0,9 \times 0,16 = 0,144 \text{ m}$$

• **Calcul de la section d'armature en travée**

$$A_{st_{travée}} = \frac{M_t}{Z_u \times f_{su}} ; \text{ avec } Z_u = d \times (1 - 0,4\alpha_u)$$

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u}) ; \text{ avec } \mu_u = \frac{M_t}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{61,66 \cdot 10^{-3}}{1 \times 0,144^2 \times 17} = 0,17 < \mu_l$$

On n'a donc pas d'acier comprimé.

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,17}) = 0,23$$

$$Z_u = d \times (1 - 0,4\alpha_u) = 0,144 \times (1 - 0,4 \times 0,23) = 0,13$$

$$A_{st_{travée}} = \frac{61,66 \cdot 10^{-3}}{0,13 \times 434,78}$$

$$A_{st_{travée}} = 1,091 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 = 10,91 \text{ cm}^2 \text{ pour } 1 \text{ ml}$$

• **Calcul de la section d'armature en appui**

$$A_{st_{appui}} = \frac{M_a}{Z_u \times f_{su}} ; \text{ avec } Z_u = d \times (1 - 0,4\alpha_u)$$

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u}) ; \text{ avec } \mu_u = \frac{M_a}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{39,77 \cdot 10^{-3}}{1 \times 0,144^2 \times 17} = 0,11$$

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,11}) = 0,15$$

$$Z_u = d \times (1 - 0,4\alpha_u) = 0,144 \times (1 - 0,4 \times 0,15) = 0,14$$

$$A_{st_{appui}} = \frac{39,77 \cdot 10^{-3}}{0,14 \times 434,78}$$

$$A_{st_{appui}} = 6,53 \cdot 10^{-4} m^2 = 6,53 cm^2 \text{ pour } 1 ml$$

- **Suivant les moments obtenus dans le sens de Y (Sens de portée principale)**

Les moments obtenus suivant Y sont :

- Moment en appui (M_a)= 27,20 kN.m ; Moment en travée (M_t)= 58,10 kN.m
- **Calcul de la section d'armature en travée**

$$A_{st_{travée}} = \frac{M_t}{Z_u \times f_{su}} ; \text{ avec } Z_u = d \times (1 - 0,4\alpha_u)$$

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u}) ; \text{ avec } \mu_u = \frac{M_t}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{58,10 \cdot 10^{-3}}{1 \times 0,144^2 \times 17} = 0,16 < \mu_l$$

On n'a donc pas d'acier comprimé.

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,16}) = 0,22$$

$$Z_u = d \times (1 - 0,4\alpha_u) = 0,144 \times (1 - 0,4 \times 0,22) = 0,13$$

$$A_{st_{travée}} = \frac{58,10 \cdot 10^{-3}}{0,13 \times 434,78}$$

$$A_{st_{travée}} = 1,029 \cdot 10^{-3} m^2 = 10,29 cm^2 \text{ pour } 1ml$$

- **Calcul de la section d'armature en appui**

$$A_{st_{appui}} = \frac{M_a}{Z_u \times f_{su}} ; \text{ avec } Z_u = d \times (1 - 0,4\alpha_u)$$

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u}) ; \text{ avec } \mu_u = \frac{M_a}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{27,20 \cdot 10^{-3}}{1 \times 0,144^2 \times 17} = 0,08$$

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,08}) = 0,10$$

$$Z_u = d \times (1 - 0,4\alpha_u) = 0,144 \times (1 - 0,4 \times 0,10) = 0,14$$

$$A_{st_{appui}} = \frac{27,20 \cdot 10^{-3}}{0,14 \times 434,78}$$

$$A_{st_{appui}} = 4,46 \cdot 10^{-4} m^2 = 4,46 cm^2 \text{ pour } 1ml$$

- **Vérification de la condition de non-fragilité**

Calcul de A_{smin}

$$A_{smin} = 0,23 \times b_0 \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0,23 \times 1 \times 0,144 \times \frac{2,4}{500}$$

$$A_{smin} = 1,58 \cdot 10^{-4} m^2 = 1,58 cm^2$$

$$A_{st_{travée}} > A_{smin} (\text{Condition vérifier})$$

$$A_{st_{appui}} > A_{smin} (\text{Condition vérifier})$$

Choix des Aciers :

Suivant X :

Travée : **6HA16** espacé de **20 cm** couvrant une section de **12,06cm²** supérieur à la section d'armature théorique.

Appui : **6HA12** espacé de **20 cm** couvrant une section de **6,79 cm²** supérieur à la section d'armature théorique.

Suivant Y :

Travée : **6HA16** espacé de **20 cm** couvrant une section de **12,06cm²** supérieur à la section d'armature théorique.

Appui : **6HA12** espacé de **20 cm** couvrant une section de **6,79 cm²** supérieur à la section d'armature théorique.

Annexe 7 : Aspect d'impact environnementale

+ Quelques Politiques environnementales et sociales et cadres législatif et réglementaire du Burkina Faso

Comme Politiques environnementales et sociales nous pouvons énumérer :

- La politique Nationale en matière d'environnement, adoptée janvier 2007 par le gouvernement, elle à pour but de donner un cadre de référence visant à prendre en compte les enjeux environnementaux les différentes politiques et stratégie de développement. Parmi les enjeux environnementaux à prendre compte dans ce projet on a :
 - L'assurance d'un environnement et d'un cadre de vie sain et de qualité pour les populations ;
 - Une gestion efficace des ressources naturelles ;
- La politique d'aménagement du territoire, elle sert de guide pour orienter les études d'aménagement et les acteurs sur le terrain pour désigner les orientations stratégiques de l'étude nationales prospectives 2025. Elle s'appuie sur 3 principaux axes :
 - La croissance des activités économiques sur l'ensemble du territoire ;
 - L'intégration Social grâce aux fondements culturels en vue de bâtir une société moderne
 - La gestion de l'environnement, centré sur la sécurité foncière, la réhabilitation des ressources naturelles dégradées et l'amélioration du cadre de vie
- La Politique Nationale de l'Eau, adoptée en 1998, Elle a pour but de favoriser le développement durable en donnant des solutions liées aux problèmes d'accessibilité à l'eau, pour d'elle ne soit pas un obstacle à la croissances socio-économique. Elle a quatre principaux objectifs :
 - Garantir une satisfaction durable des besoins en eau ;
 - Prévenir contre les actions agressives de l'eau,
 - Anticiper les conflits liés à la gestion des eaux partagées

Comme cadre législatif et réglementaire nous pouvons énumérer :

- Loi N°006-2013/AN du 02 Avril 2013 portant code de l'environnement au Burkina Faso

Cette loi à son article 25 stipule que toute activité pouvant avoir un impact important sur l'environnement, doit obtenir l'accord préalable du ministère de l'Environnement. Cet accord est basé sur une Evaluation environnementale stratégique (EES), une Notice d'impact environnementale qui servent à évaluer la faisabilité du projet ainsi que les études économiques, financières et techniques stipule l'Article 26.

- Loi N°006-2001/AN portant orientation relative à la gestion de l'eau

Elle stipule à son article 24 que les aménagements hydrauliques, la réalisation d'ouvrages, de travaux et d'activités par toute personnes (publique ou privée) exige une autorisation ou une déclaration dès qu'ils provoquent :

- Des prélèvements d'eau superficiels ou souterrains, qu'ils soient restitués ou non
- Un changement du niveau ou de l'écoulement des eaux
- Des rejets ou dépôt qu'ils soient polluant ou même non polluant

- Constitution du 02 juin 1991 et ses modifications

La législation environnementale du Burkina Faso prend appui sur la constitution qui dit à son préambule que : « Le peuple souverain du Burkina Faso est conscient de la nécessité absolue de protéger l'environnement »

Les richesses et ressources naturelles sont au peuple et doivent être utiliser pour améliorer ses conditions de vie tout en respectant les règles de développement durable selon l'article 14.A l'article 29, la protection et la promotion de l'environnement sont un devoir pour tous. L'article 15 assure le droit de propriété, ajoutant que celui-ci ne peut être exercé de façon nuisible à l'utilité sociale ou aux droits d'autrui, et qu'une indemnisation doit être versée en cas d'expropriation pour cause d'utilité publique.

Annexe 8 : Plans d'exécutions

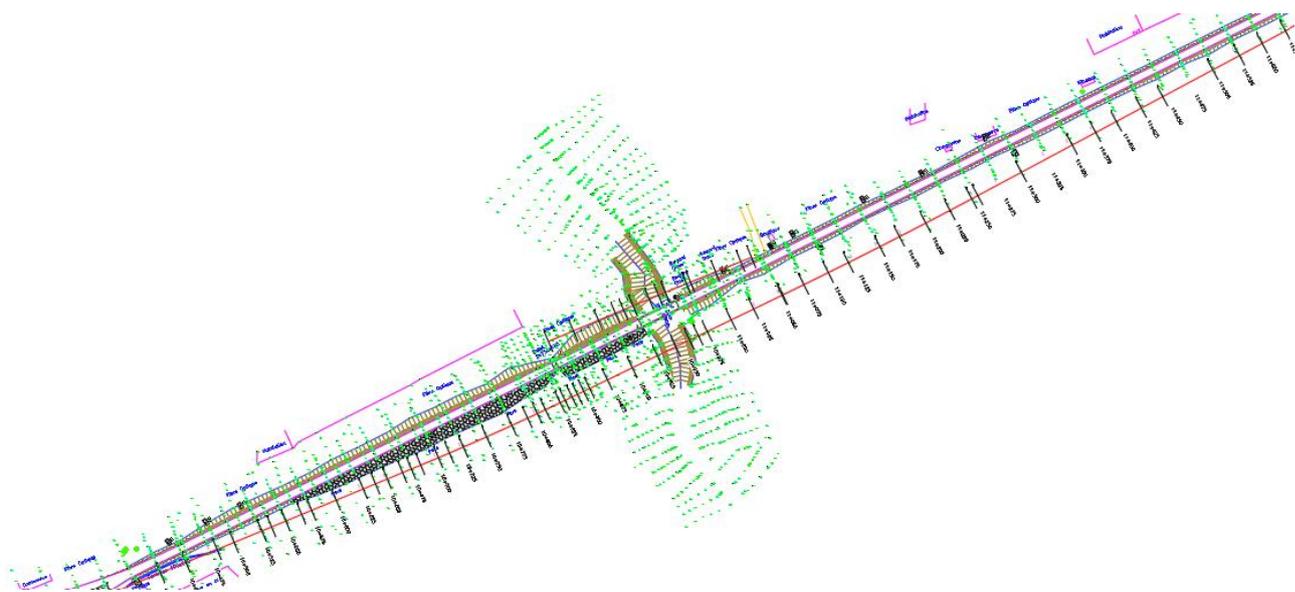


Figure 47:Fond topographique

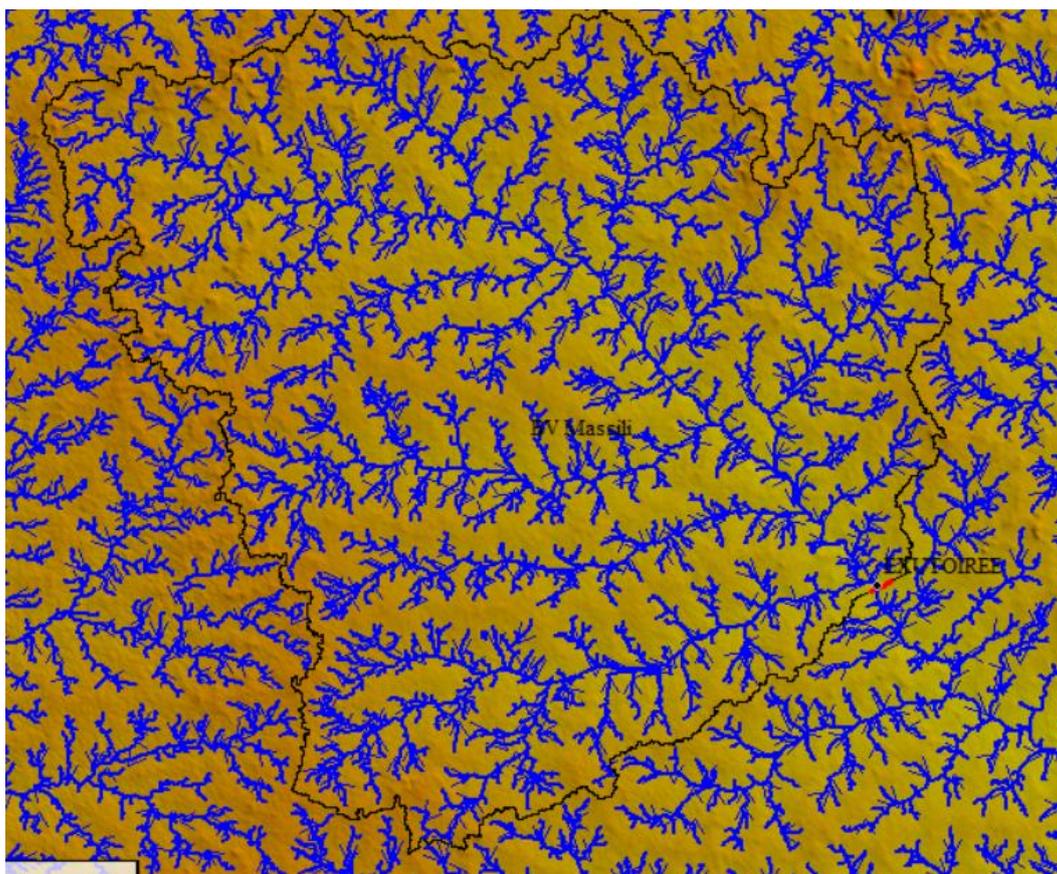


Figure 48: Délimitation du Bassin Versant

CONCEPTION ET ÉTUDE TECHNIQUE D'UN PONT SUR LE FLEUVE MASSILI DE LA ROUTE NATIONALE
N°4 AU BURKINA FASO

NAMA Miguel Fadil
Projet d'élargissement et de modernisation de la RN4
2iE/AGEIM

PROFIL EN LONG

Elém	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0.000	275.120
D1	PENTE= -0.013 %	392.756		
			392.756	275.070
PAR1	S= 393.3920 Z= 275.0700 R = 5000.00	0.149		
			392.904	275.070
D2	PENTE= -0.010 %	274.102		
			667.007	275.043
PAR2	S= 667.4944 Z= 275.0432 R = 5000.00	66.986		
			733.993	275.485
D3	PENTE= 1.330 %	239.894		
			973.887	278.676
PAR3	S= 1040.3856 Z= 279.1182 R = -5000.00	48.727		
			1022.614	279.087
D4	PENTE= 0.355 %	728.838		
			1751.452	281.677
LONGUEUR DE L'AXE 1751.452				

NAMA Miguel Fadil
Projet d'élargissement et de modernisation de la RN4
2iE/AGEIM

AXE EN PLAN

Elém	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			0.000	678300.850	1375738.253
D1	ANG = 25.144g	434.845			
			434.845	678702.217	1375905.568
C1	XC= 677740.291 YC= 1378213.099 R = 2500.000	145.617			
			580.461	678834.916	1375965.479
D2	ANG = 28.852g	221.793			
			802.255	679034.319	1376062.591
C2	XC= 676845.070 YC= 1380557.832 R = 5000.000	202.283			
			1004.537	679214.339	1376154.815
D3	ANG = 31.428g	746.915			
			1751.452	679872.075	1376508.743
LONGUEUR DE L'AXE 1751.452					

NAMA Miguel Fadil
Projet d'élargissement et de modernisation de la RN4
2iE/AGEIM

VOLUMES TERRASSEMENT

N° PROF	ABSCISSE CURVILIGN	REMBLAI VOLUME	DEBLAI VOLUME	DECAPAGE VOLUME	PURGE VOLUME
1	0.000	0.1	0.1	0.0	0.0
2	0.043	70.2	40.0	19.8	0.0
3	25.079	179.3	29.5	39.5	0.0
4	50.129	288.9	16.8	40.9	0.0
5	75.748	487.6	0.0	41.5	0.0
6	100.558	614.6	0.0	41.4	0.0
7	126.158	1074.8	0.0	62.0	0.0
8	175.746	1354.6	0.0	61.6	0.0
9	201.071	1138.4	0.0	45.7	0.0
10	232.015	1370.9	0.0	41.1	0.0
11	248.996	1786.2	0.0	39.9	0.0
12	276.613	1660.0	0.0	33.6	0.0
13	286.288	1182.6	0.0	21.7	0.0
14	300.522	1484.9	0.0	27.3	0.0
15	316.286	1534.5	0.0	24.0	0.0
16	326.176	2085.6	0.0	32.4	0.0
17	350.657	3554.3	0.0	50.3	0.0
18	377.584	2864.8	0.0	39.2	0.0
19	389.762	1935.2	0.0	24.1	0.0
20	401.509	2102.9	0.0	27.6	0.0
21	416.799	2047.5	0.0	25.0	0.0
22	425.532	1504.6	0.0	18.9	0.0
23	434.845	2365.6	0.0	28.5	0.0
24	452.491	2504.8	0.0	30.7	0.0
25	463.542	2279.3	0.0	26.6	0.0
26	477.429	3288.8	0.0	40.3	0.0
27	500.791	4321.1	0.0	52.6	0.0
28	526.283	3762.9	0.0	44.8	0.0
29	542.327	2460.2	0.0	28.1	0.0
30	552.210	1643.2	0.0	19.8	0.0
31	560.449	2123.4	0.0	25.4	0.0

CONCEPTION ET ÉTUDE TECHNIQUE D'UN PONT SUR LE FLEUVE MASSILI DE LA ROUTE NATIONALE
N°4 AU BURKINA FASO

31	560.449	2123.4	0.0	25.4	0.0
32	575.514	1808.9	0.0	22.0	0.0
33	580.461	1119.8	0.0	13.3	0.0
34	587.554	1213.1	0.0	14.5	0.0
35	593.111	1097.6	0.0	13.1	0.0
36	599.520	1144.6	0.0	13.6	0.0
37	605.608	2223.2	0.0	26.5	0.0
38	623.789	3847.1	0.0	46.4	0.0
39	649.198	4733.3	0.0	55.2	0.0
40	674.729	3260.0	0.0	31.7	0.0
41	693.663	3281.0	0.0	23.6	0.0
42	707.788	2673.8	0.0	26.9	0.0
43	716.840	1481.9	0.0	19.4	0.0
44	725.877	1231.6	0.0	31.7	0.0
45	750.344	1507.8	0.0	42.6	0.0
46	773.341	1361.0	0.0	44.1	0.0
47	802.255	281.0	10.3	23.2	0.0
48	803.093	458.0	0.0	19.4	0.0
49	824.671	343.0	37.1	36.9	0.0
50	849.778	602.8	0.0	37.5	0.0
51	870.440	610.7	0.0	43.4	0.0
52	902.932	435.6	0.0	41.8	0.0
53	923.143	269.4	0.0	36.9	0.0

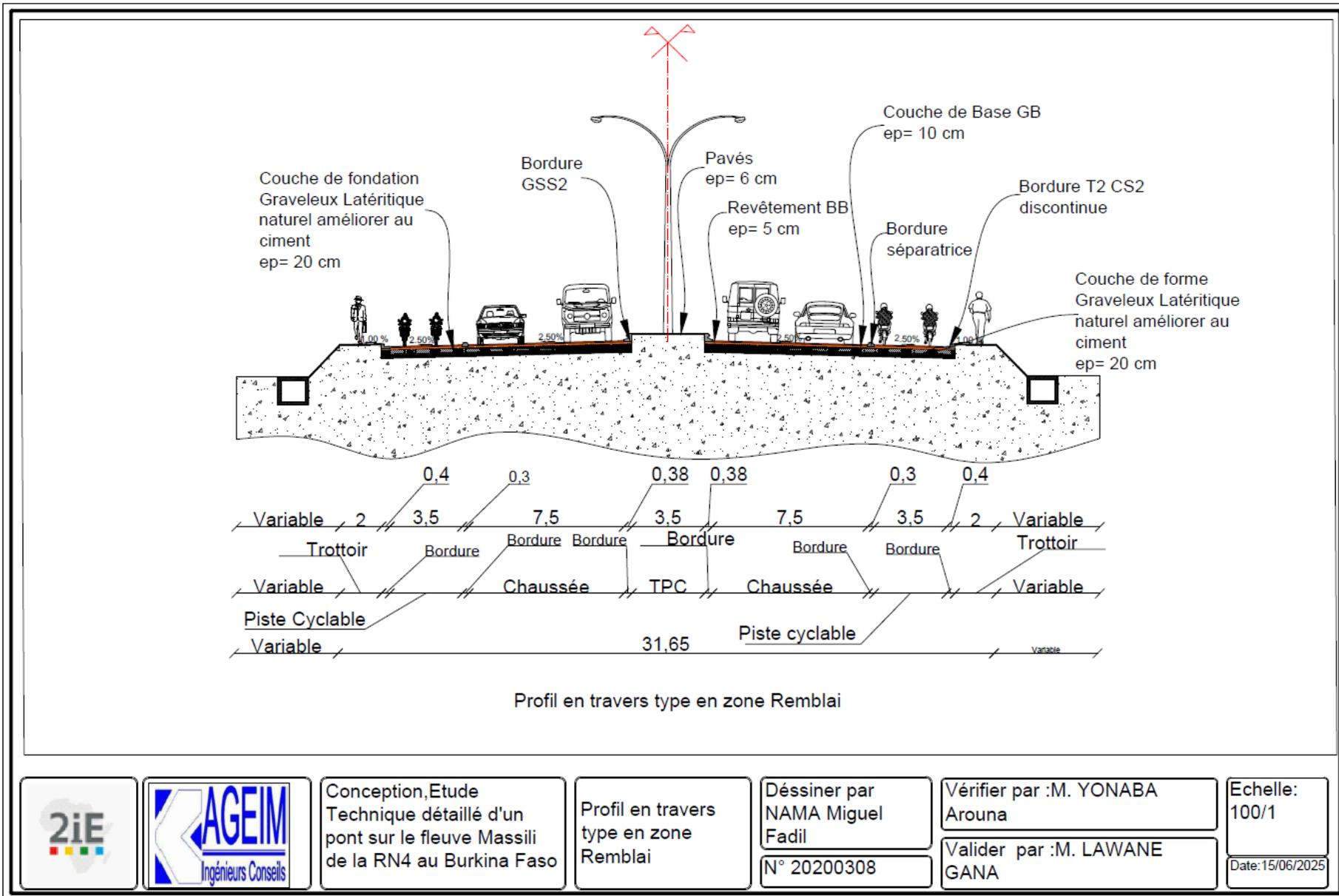
1 / 2

2iE/AGEIM

VOLUMES TERRASSEMENT

N° PROF	ABSCISSE CURVILIGN	REMBLAI VOLUME	DEBLAI VOLUME	DECAPAGE VOLUME	PURGE VOLUME
54	950.396	159.8	36.3	39.8	0.0
55	975.557	336.9	0.1	37.9	0.0
56	998.250	0.9	347.8	22.3	0.0
57	1004.537	30.5	586.6	40.4	0.0
58	1050.080	254.5	171.9	75.6	0.0
59	1103.161	137.7	281.2	58.2	0.0
60	1127.674	48.9	297.8	34.6	0.0
61	1149.123	49.0	397.3	36.5	0.0
62	1175.293	112.6	95.9	36.6	0.0
63	1197.583	342.3	12.4	57.8	0.0
64	1249.861	701.5	0.0	63.8	0.0
65	1277.755	558.3	0.0	41.2	0.0
66	1301.443	666.1	0.0	39.1	0.0
67	1325.783	616.2	0.0	38.7	0.0
68	1350.401	633.4	0.0	39.9	0.0
69	1376.257	658.7	0.0	40.4	0.0
70	1401.434	612.5	0.0	38.6	0.0
71	1425.865	593.5	0.0	38.9	0.0
72	1451.151	594.4	2.6	40.1	0.0
73	1477.150	533.1	4.2	38.5	0.0
74	1501.557	418.9	19.8	37.4	0.0
75	1526.153	501.6	35.1	40.9	0.0
76	1552.720	410.1	65.8	39.9	0.0
77	1576.781	334.6	85.9	37.6	0.0
78	1601.230	277.1	130.1	38.6	0.0
79	1626.426	166.4	176.7	38.3	0.0
80	1650.960	100.2	247.7	38.1	0.0
81	1676.525	57.0	387.4	37.7	0.0
82	1701.356	33.3	464.1	37.5	0.0
83	1726.445	33.8	541.8	37.8	0.0
84	1751.307	17.3	272.9	18.9	0.0
85	1751.452	0.1	1.6	0.1	0.0
		100048	4797	2980	0

CONCEPTION ET ÉTUDE TECHNIQUE D'UN PONT SUR LE FLEUVE MASSILI DE LA ROUTE NATIONALE N°4 AU BURKINA FASO



Conception, Etude Technique détaillé d'un pont sur le fleuve Massili de la RN4 au Burkina Faso

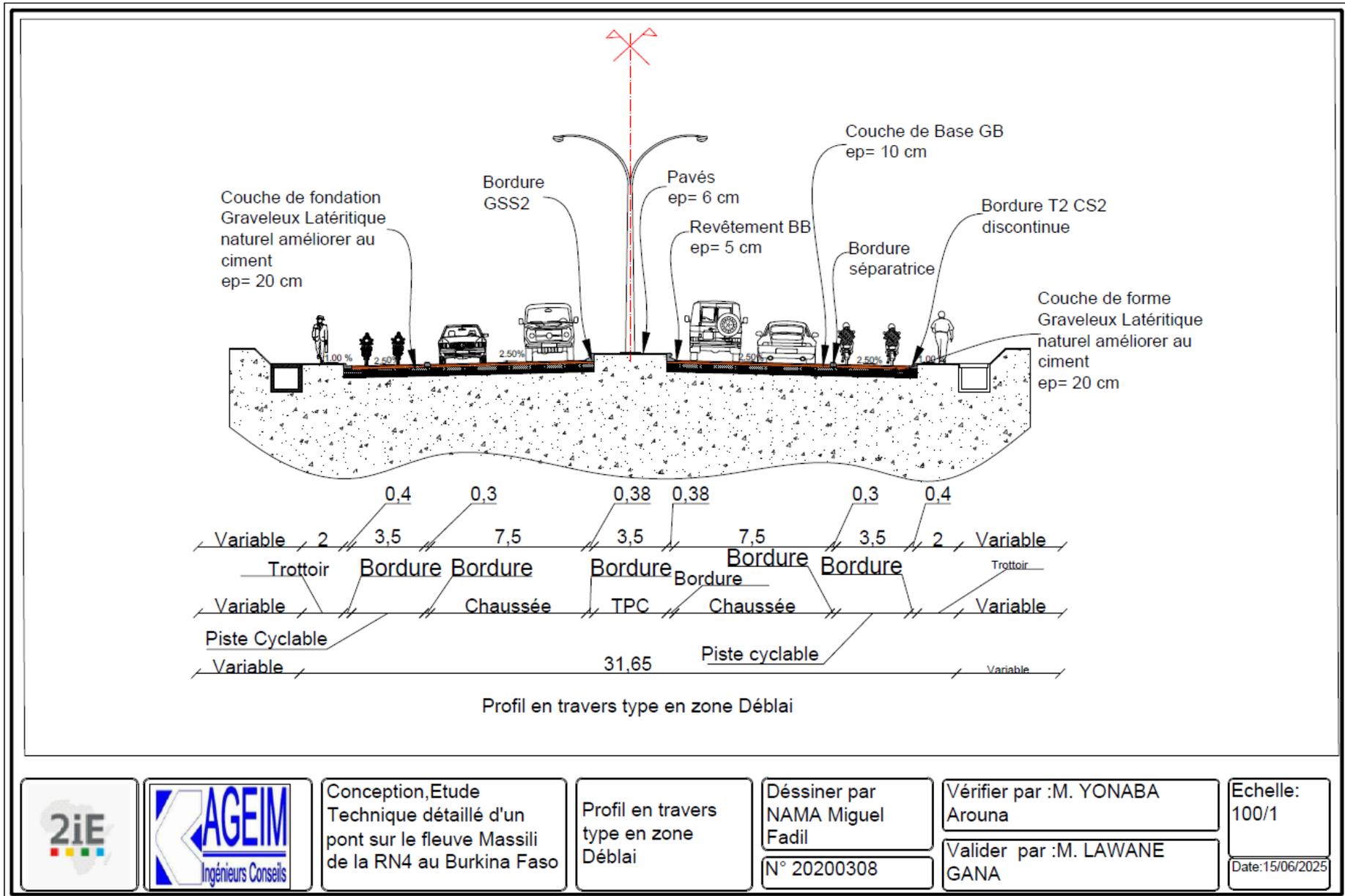
Profil en travers type en zone Remblai

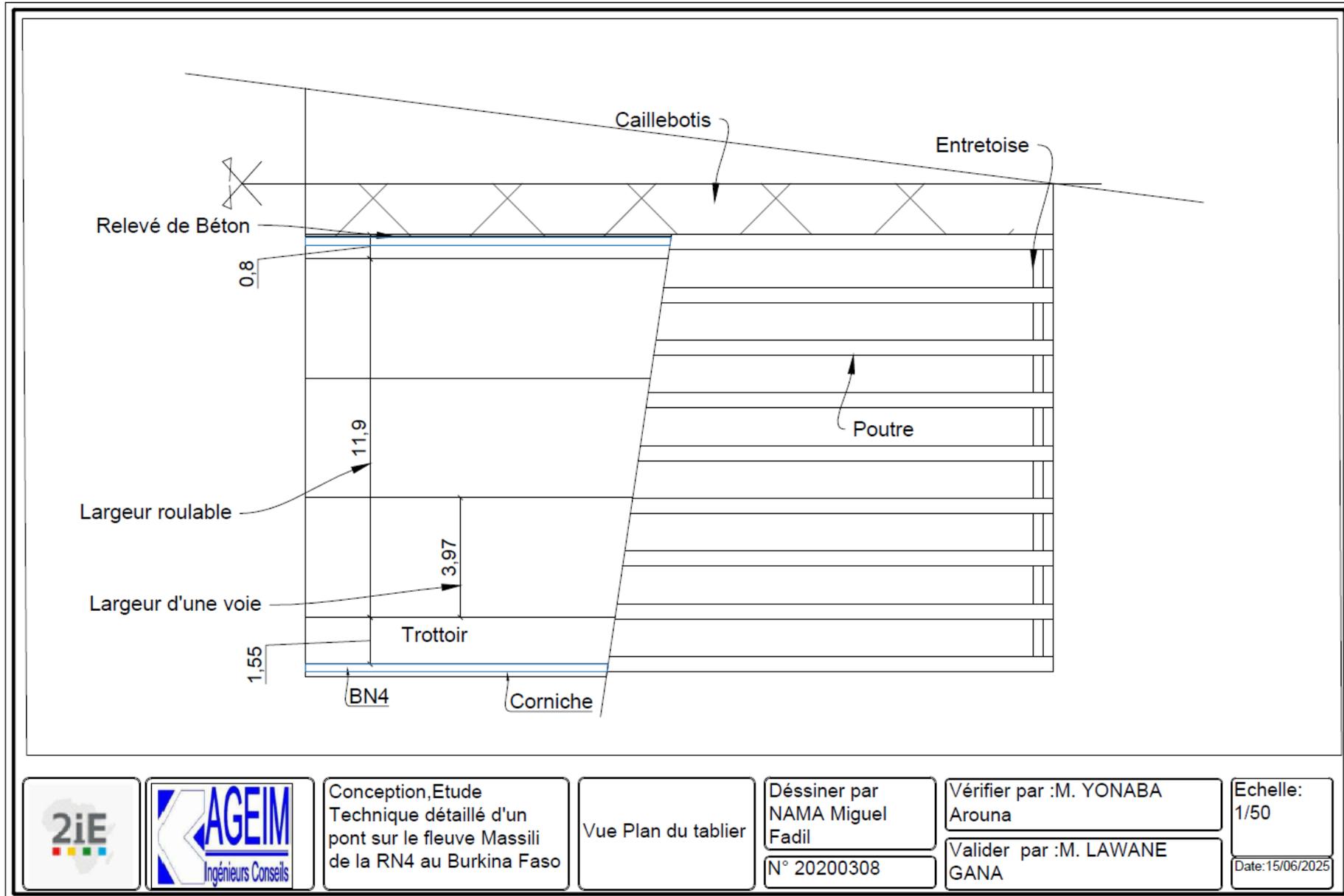
Dessiner par NAMA Miguel Fadil
N° 20200308

Vérifier par : M. YONABA Arouna
Valider par : M. LAWANE GANA

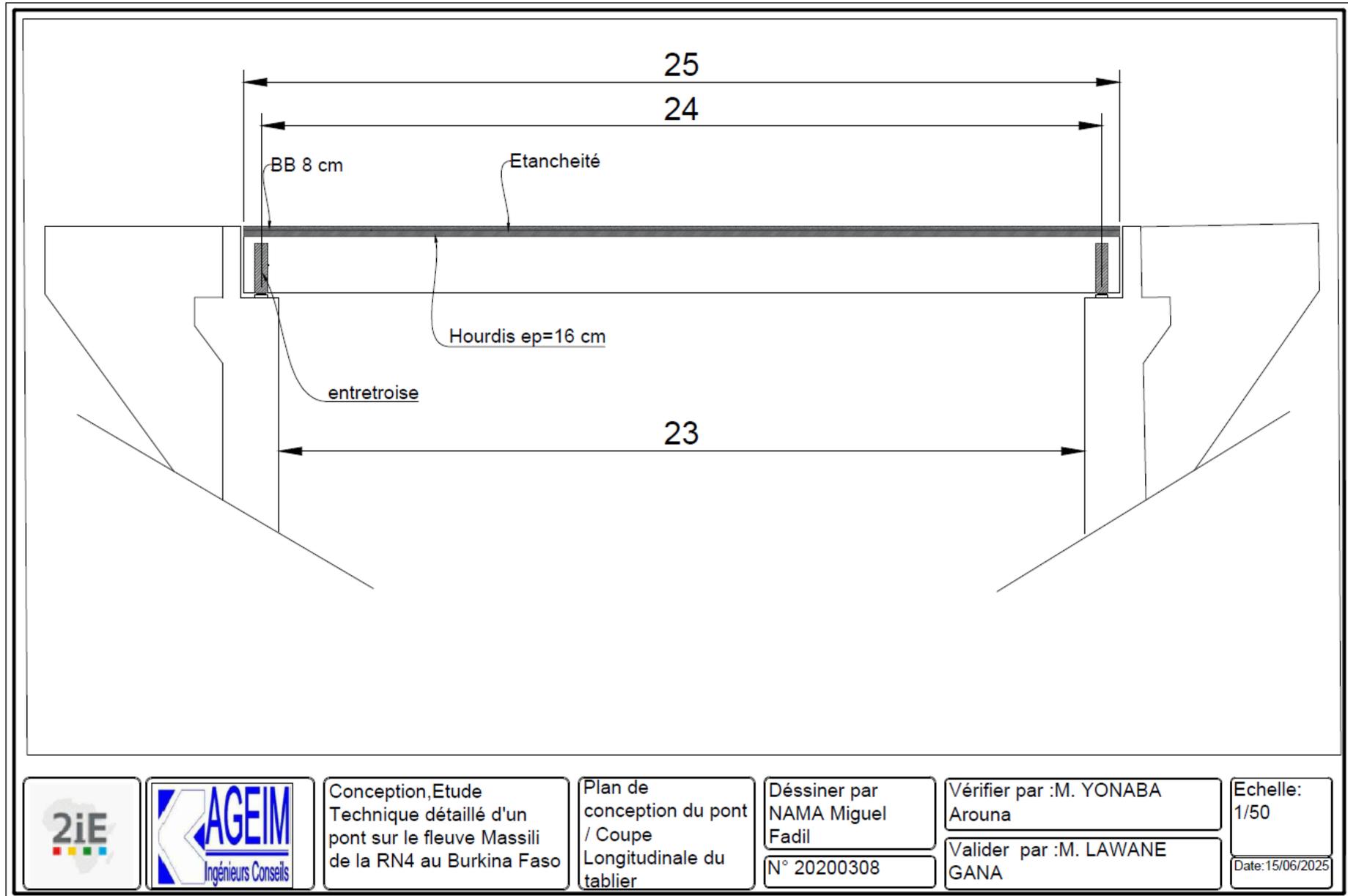
Echelle: 100/1
Date: 15/06/2025

CONCEPTION ET ÉTUDE TECHNIQUE D'UN PONT SUR LE FLEUVE MASSILI DE LA ROUTE NATIONALE N°4 AU BURKINA FASO

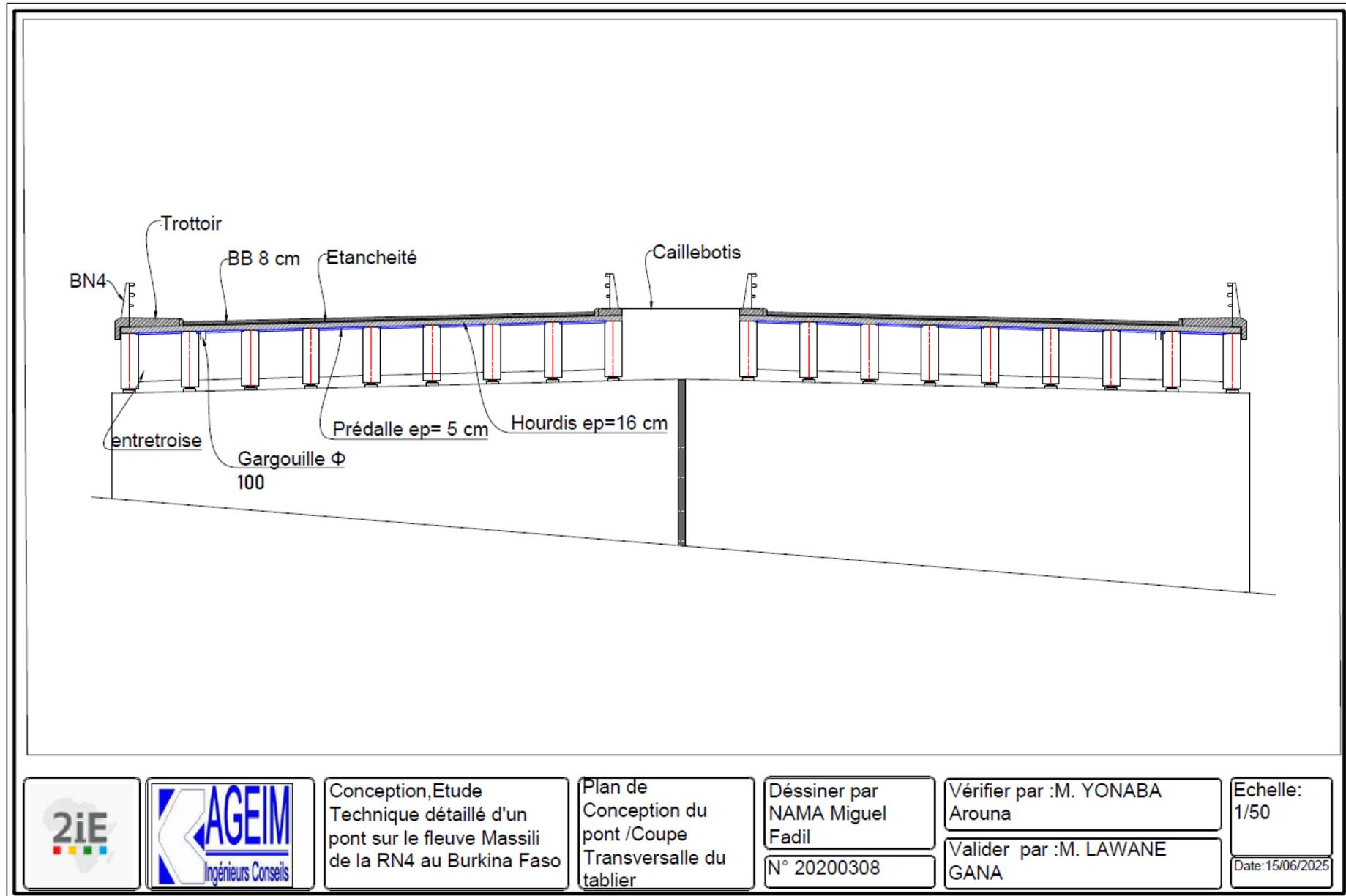




CONCEPTION ET ÉTUDE TECHNIQUE D'UN PONT SUR LE FLEUVE MASSILI DE LA ROUTE NATIONALE N°4 AU BURKINA FASO



CONCEPTION ET ÉTUDE TECHNIQUE D'UN PONT SUR LE FLEUVE MASSILI DE LA ROUTE NATIONALE N°4 AU BURKINA FASO



Conception, Etude Technique détaillé d'un pont sur le fleuve Massili de la RN4 au Burkina Faso

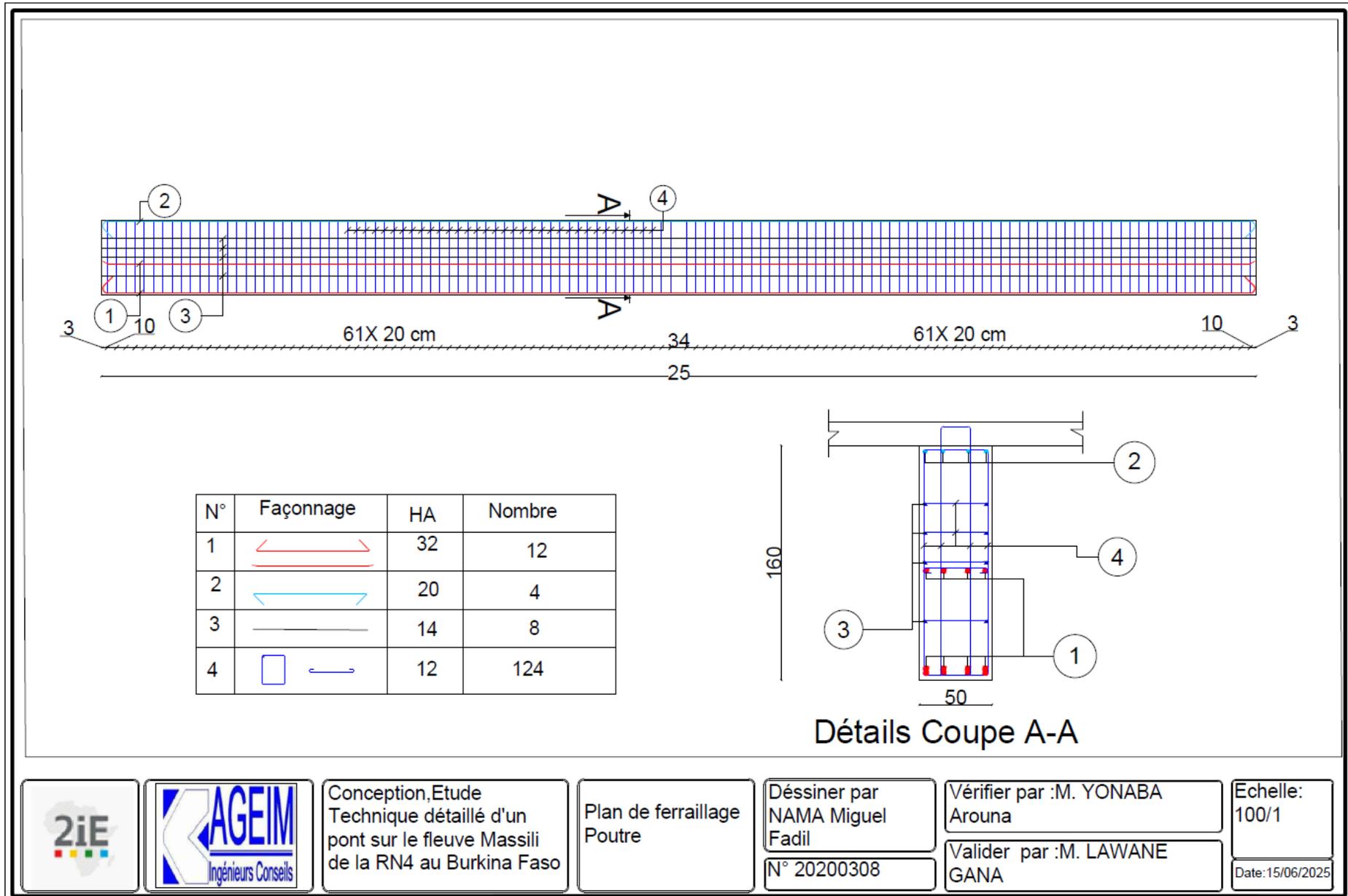
Plan de Conception du pont / Coupe Transversale du tablier

Déssiner par NAMA Miguel Fadil
N° 20200308

Vérifier par :M. YONABA Arouna
Valider par :M. LAWANE GANA

Echelle: 1/50
Date:15/06/2025

CONCEPTION ET ÉTUDE TECHNIQUE D'UN PONT SUR LE FLEUVE MASSILI DE LA ROUTE NATIONALE N°4 AU BURKINA FASO



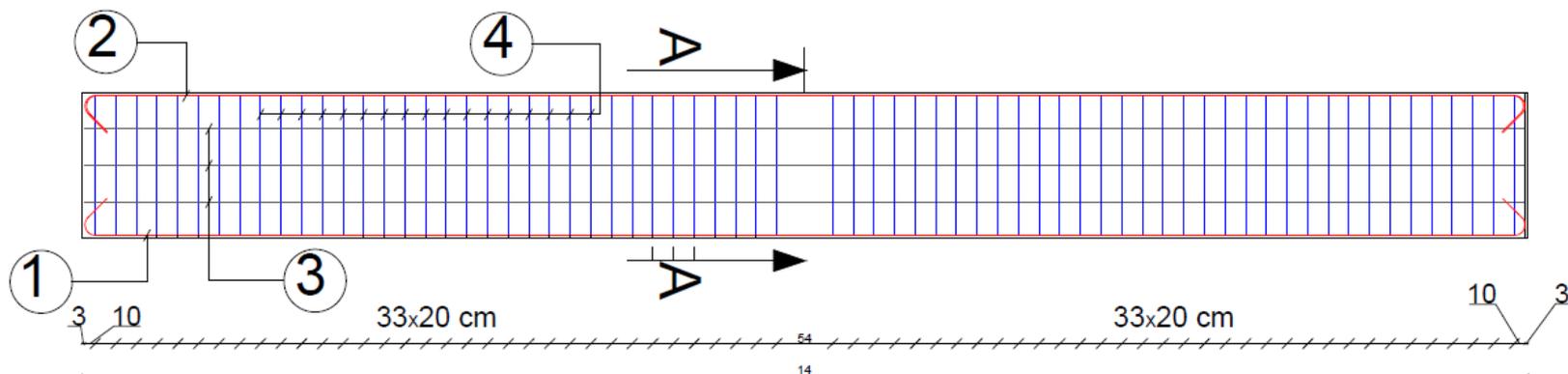
Conception, Etude Technique détaillé d'un pont sur le fleuve Massili de la RN4 au Burkina Faso

Plan de ferrailage Poutre

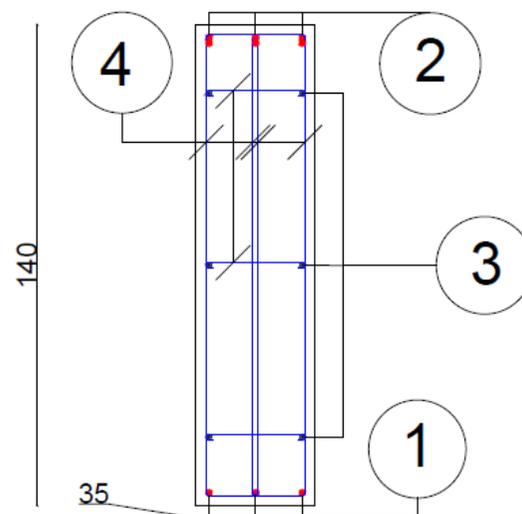
Déssiner par NAMA Miguel Fadil
N° 20200308

Vérifier par : M. YONABA Arouna
Valider par : M. LAWANE GANA

Echelle: 100/1
Date: 15/06/2025



N°	Façonnage	HA	Nombre
1		16	3
2		16	6
3		14	6
4		8	68



Détails COUPE A-A



Conception, Etude
Technique détaillé d'un
pont sur le fleuve Massili
de la RN4 au Burkina Faso

Plan de ferrailage
Entretoise

Déssiner par
NAMA Miguel
Fadil

N° 20200308

Vérifier par :M. YONABA
Arouna

Valider par :M. LAWANE
GANA

Echelle:
100/1

Date: 15/06/2025

