



ÉTUDE D'AVANT-PROJET DETAILLE POUR L'AMENAGEMENT ET LE BITUMAGE DE LA ROUTE BOROMO – LANFIERA : CAS DU TRONÇON SIBY OURY LONG DE 5,98 KILOMETRES AU BURKINA FASO.

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE
MASTER
SPECIALITE GENIE CIVIL - BATIMENTS ET TRAVAUX PUBLICS

Présenté et soutenu publiquement le 18 Juillet 2025 par :

TANKOANO Auguste Frinceli (20210418)

Encadreur 2iE : Issa MADOUGOU, Géomètre topographe enseignant à 2ie

Maître de stage : KY Oral ingénieur génie civil –BTP à AGEIM-IC

Structure d'accueil : Agence d'Etude d'Ingénierie et de Maitrise d'œuvre Ingénieurs Conseils,

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Dr Tazen FOWE

Membres et correcteurs : Dr Hassane SEINI MOUSSA

Mr Ovono Célestin MEZUI

Promotion [2024-2025]

DEDICACES

À l'origine de chaque réussite, il y a des visages, des voix, des présences qui, par leur amour, leur soutien ou leur inspiration, nous ont permis de tenir, d'avancer et de croire en nos capacités.

Je dédie ce mémoire :

- À mon père, modèle de rigueur et de persévérance ;
- À ma mère, pour sa tendresse, ses prières et son courage exemplaire ;
- À mes frères, pour leur affection et leur soutien discret ;
- À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à mon parcours académique.

REMERCIEMENTS

Ce rapport est l'aboutissement d'un travail collectif, fruit de nombreuses contributions à divers niveaux. À tous ceux qui, de près ou de loin, ont apporté leur soutien, je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance.

Je remercie tout d'abord l'Institut 2iE et l'ensemble de son corps professoral pour la qualité de l'enseignement dispensé tout au long de ma formation.

Mes remerciements vont également à Monsieur Issa Madougou, encadreur interne, pour sa disponibilité, ses conseils avisés et sa rigueur qui ont grandement contribué à la réalisation de ce travail.

L'étude du présent projet a pu être menée grâce à l'accompagnement de l'Agence d'Étude d'Ingénierie et de Maîtrise d'Œuvre (AGEIM-IC). Je tiens particulièrement à exprimer ma gratitude à :

- Monsieur Hervé Tiraogo Ouédraogo, Directeur Général de AGEIM-IC, pour m'avoir offert l'opportunité d'effectuer ce stage ;
- Monsieur Oral Ky, maître de stage, pour son encadrement technique et son soutien tout au long de cette étude ;
- Monsieur Didier Sama Bawa, Directeur Technique, Monsieur Gilles Guigma, Chef du département Structure et Recherche, ainsi que Madame Diane Ilboudo/Kaboré, ingénierie hydraulicienne, pour leurs conseils et leurs précieuses contributions.

Je remercie enfin mes chers parents, mes frères, ainsi que mes camarades stagiaires pour leur soutien moral et leur présence bienveillante.

SIGLES ET ABREVIATIONS

A	: Aire (surface)
AGEIM- IC	: Agence Générale d'ingénierie et de Maitrise d'œuvre Ingénieurs Conseils
ARP	Aménagement des routes principales
BAEL	: Béton aux états limites
C	: Coefficient de ruissellement
CAM	: Coefficient Agressivité Moyen
CBR	: California Bearing Ratio (Indice de portance Californien)
CEBTP	: Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes de Bâtiments et des Travaux Publics
CIEH	: Comité Inter-africain d'Etude Hydraulique
Cr	: Coefficient de répartition
GNT	: Gravel naturel non traité
HA	: Haute Adhérence
I	: Intensité de la pluie
IFSTTAR	: Institut Français des Sciences et Technologie du Transport de l'Aménagement et de Réseau
Ig	: indice global des pentes
INSTITUT 2IE	: Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
IST	: Infection Sexuellement Transmissible
Kr10	: Coefficient de ruissèlement décennal
Ks	: Coefficient de rugosité
LCPC	: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
OPM	: Optimum Proctor Modifié
ORSTOM	: Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer
Pan	: Pluie annuel
PK	: Point kilométrique
Q	: Débit
Q₁₀	: Débit décennal



RAN	: Régie Abidjan-Niger
RH	: Rayon Hydraulique
RN	: Route Nationale
RR29	: Route Régional 29
S	: Section Hydraulique
SETRA	: Service d'Etude Techniques des Routes et des Autoroutes
Team	: Trafic affecté du coefficient d'agressivité moyen
TCr	: Trafic affecté du Coefficient de répartition
TDR	: Termes de Références
TMJA	: Taux Moyen Journalier Annuel
TTC	: Toutes Taxes Comprises

RESUME

L'étude intitulée « **Étude d'avant-projet détaillé pour l'aménagement et le bitumage de la route Boromo – Lanfiera : cas du tronçon Siby–Oury long de 5,98 km au Burkina Faso** » s'inscrit dans le cadre du Projet de désenclavement des zones à forte production agricole. Elle vise la conception d'une infrastructure routière conforme aux normes nationales, capable de supporter le trafic projeté tout en assurant un bon assainissement via la mise en place de caniveaux et de dalots. Sur la base du TMJA, une projection du trafic à l'horizon a été réalisée et classée selon les prescriptions du guide du CEBTP. Les études techniques ont été menées à partir d'un fond topographique et du logiciel Piste 5, avec une vitesse de base de 60 km/h en agglomération (V85 estimée à 70–75 km/h) et de 100 km/h en rase campagne (V85 estimée à 110–120 km/h), permettant l'élaboration du tracé en plan, du profil en long et du profil en travers. Le dimensionnement de la chaussée s'appuie sur des données géotechniques et comprend une couche de roulement en béton bitumineux de 5 cm, une couche de base de 25 cm en grave naturelle améliorée au ciment, et une couche de fondation de 25 cm en grave naturelle non traitée. Le projet prévoit une route avec un profil en toit à 2,5 % de pente, des déclivités de 7 % pour les R60 et 5 % pour les T100, des rayons minimaux de 450 m (R60) et 900 m (T100), une chaussée de 8 m en ville et 7 m en rase campagne, des accotements de 1,5 m et 2 m respectivement, des caniveaux de 120x120 cm², des dalots, un éclairage solaire et des trottoirs pavés de 1,5 m en zone urbaine. Les impacts environnementaux du projet ont été recensés et des mesures d'atténuation ont été proposées. Le coût total estimé du projet s'élève à 4 872 865 861 FCFA.

Les mots-clés : Tracé, Assainissement, Bitumage, Dimensionnement, Trafic

ABSTRACT

The study titled “Detailed preliminary study for the development and paving of the Boromo–Lanfièra road: case of the Siby–Oury section, 5.98 km long in Burkina Faso” is part of the project to open up areas with high agricultural production. It aims to design a road infrastructure that complies with national standards, capable of supporting the projected traffic while ensuring proper drainage through the installation of gutters and culverts. Based on the Average Annual Daily Traffic (AADT), traffic projections were made and classified according to the CEBTP guidelines. Technical studies were conducted using topographic data and the Piste 5 software, with a base speed of 60 km/h in urban areas (estimated V85 at 70–75 km/h) and 100 km/h in rural areas (estimated V85 at 110–120 km/h), enabling the development of the horizontal alignment, longitudinal profile, and cross-section. The pavement design is based on geotechnical data and includes a 5 cm bituminous concrete wearing course, a 25 cm cement-treated natural gravel base course, and a 25 cm untreated natural gravel subbase. The project provides a crowned profile with a 2.5% slope, maximum gradients of 7% for R60 and 5% for T100, minimum radii of 450 m (R60) and 900 m (T100), an 8 m carriageway in urban areas and 7 m in rural areas, shoulders of 1.5 m and 2 m respectively, 120x120 cm gutters, culverts, solar lighting, and 1.5 m paved sidewalks in urban zones. Environmental impacts of the project were identified and mitigation measures proposed. The total estimated project cost amounts to 4,872,865,861 FCFA.

Keywords: Alignment, Drainage, Paving, Design, Traffic

SOMMAIRE

DEDICACES.....	i
REMERCIEMENTS	ii
SIGLES ET ABREVIATIONS	iii
RESUME	v
ABSTRACT	vi
LISTE DES FIGURES.....	xi
LISTE DES TABLEAUX	xii
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1 : DESCRIPTION DE LA STRUCTURE D'ACCEUIL ET DU PROJET	2
I. Présentation de la structure	2
I.1. Objectifs	2
I.2. Domaine d'activités	3
I.3. Missions	3
I.4. Organisation	3
II. PRESENTATION DU PROJET	6
II.1. Contexte général du projet.....	6
II.2. Données de l'étude.....	7
II.3. Présentation de la zone d'étude	8
III. Cadre du projet.....	10
III.1. Acteurs du projet	10
III.2. Cadre de l'étude.....	10
III.3. Objectifs du projet	10
III.4. Description du projet	10
CHAPITRE 2 : CONCEPTION GEOMETRIQUE DE LA CHAUSSEE ..	12
I. Etude topographique	12



I.1.Données topographiques	12
I.2.Analyse des données	12
I.3. Implantation	13
II. ETUDE GEOMETRIQUE DE LA CHAUSSEE.....	13
II.1. Présentation du logiciel Piste.....	13
II.2. Caractéristiques géométriques	13
II.3. Tracé en plan.....	14
II.4. Profil en long	15
II.5. Profil en travers.....	16
CHAPITRE 3 : DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE ET ETUDE GEOTECHNIQUE.....	21
I. Le dimensionnement structural de la chaussée.....	21
I.1. Données du trafic	21
I.2. Dimensionnement par la méthode du CEBTP	22
I.3. Vérification avec le logiciel ALIZE.....	25
II. Etudes Géotechniques	31
II.1. Les matériaux d'emprunt	32
CHAPITRE 4 : HYDROLOGIE, HYDRAULIQUE ET ASSAINISSEMENT.....	33
I. Etude hydrologique.....	33
II. Evaluation du débit en zone urbaine	34
II.1. Le drainage proposé.....	34
II.2. Les paramètres hydrologiques	35
II.3. Délimitation des bassins versants et calcul des débits projets	36
II.4. La méthode de Caquot	38
II.5. Etude hydraulique	39
III. Détermination du débit en rase campagne	40



III.1. Paramètres hydrauliques pour la méthode ORSTOM	40
III.2. Résultats du calcul du debit.....	42
III.3. Dimensionnement Hydraulique des Dalots	42
IV. Calcul des sections d'armatures.....	45
CHAPITRE 5 : AMENAGEMENT ET SECURITE, IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET ESTIMATION DU PROJET	46
I. Aménagement et Sécurité.....	46
I.1. Aménagement	46
I.2. Sécurité.....	46
I.3. Signalisation	47
I.4. Eclairage public.....	49
I. Impact environnemental	50
I.1. Cadre législatif	50
II.2. Impact du projet sur l'environnement.....	51
II.3. Impacts positifs	51
II.4. Impacts négatifs	52
II.5. Mesures d'atténuation.....	52
III. Estimation du projet	53
III.1. Définition de postes de travaux	54
II.2. Tableau récapitulatif des postes de travaux	54
CONCLUSION GENERALE.....	58
Bibliographie.....	59
Annexe 1 : Axe en plan de la route étudier	60
Annexe 2 : Hydrologie et Hydraulique.....	63
Annexe 3 : Dimensionnement structurel des dalots aux logiciel	81
Annexe 4 : Dimensionnement manuel du dalot	107
Annexe 5 : Plans d'exécutions	146



Annexe 6 : Devis estimatifs et quantitatifs 158

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme de AGEIM-IC	5
Figure 2 Localisation du tracé de la route	9
Figure 3: Profil en travers type courant	16
Figure 4: Profil en travers courant en rase campagne type déblais	17
Figure 5:: Profil en travers courant en rase campagne type remblais.....	17
Figure 6:tracé combiné	19
Figure 7:Tableau des résultats des vérifications obtenus par ALIZEE	28
Figure 8:Tableau des résultats des vérifications obtenus par ALIZEE pour la structure 2	30
Figure 9: Bassins versants urbains	37
Figure 10:Les assemblages des bassins versants	38
Figure 11:bassins versant en rase campagne	41
Figure 12:récapitulatif des types de traits de signalisation horizontale.....	49
Figure 13:récapitulatif des types de traits de signalisation transversale.....	49



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1:Tableau récapitulatifs des paramètres fondamentaux du tracé en plan selon l'ARP	15
Tableau 2: tableau des paramètres du profil en long	15
Tableau 3: Données du calcul du trafic	22
Tableau 4: Tableau récapitulatif des trafics cumulés	23
Tableau 5:Tableau des essieux équivalents	23
Tableau 6: Tableau des classes de portances (4)	24
Tableau 7:Récapitulatif des structures de chaussée ayant un trafic T2 et un sol S4 7	24
Tableau 8: données d'entrées du trafic	25
Tableau 9:données d'entrées des matériaux bitumineux	26
Tableau 10: données d'entrées des matériaux naturels	26
Tableau 11: récapitulatif des données d'entrée de la modélisation de la structure de chaussée sur alizé LCPC.....	27
Tableau 12: récapitulatif des données d'entrée de la modélisation de la structure de chaussée sur alizé LCPC.....	30
Tableau 13: Tableau récapitulatif des valeurs admissibles et obtenues.	31
Tableau 14:Tableau récapitulatifs des débits équivalents	39
Tableau 15:récapitulatifs des dimensions des caniveaux	40
Tableau 16:récapitulatifs des dimensions ouvrages de franchissements transversaux.....	40
Tableau 17: récapitulatif des valeurs d'entrée de la méthode ORSTOM.....	42
Tableau 18: récapitulatif des dimensions des dalots	43
Tableau 19:Tableau des charges, surcharges et des coefficients de pondérations	44
Tableau 20 :Tableau des sections d'acières	45
Tableau 21: récapitulatifs de la signalisation verticale.....	48
Tableau 22:Tableau récapitulatif de la description des impacts.....	53
Tableau 23:Tableau des ouvrages élémentaires	54
Tableau 24:Tableau de la détermination de quelques prix d'ouvrages élémentaires	55
Tableau 25:Tableau récapitulatifs des postes de travaux	56



INTRODUCTION GENERALE

Les routes jouent un rôle essentiel dans le développement socio-économique d'un pays, facilitant la circulation des personnes et des marchandises, et contribuant ainsi à l'essor des échanges commerciaux. Ce rôle est particulièrement crucial dans les zones à fort potentiel agricole, comme celle concernée par ce projet.

Dans ce contexte, les autorités burkinabè, en partenariat avec leurs soutiens techniques et financiers, ont initié le Projet de désenclavement des zones à fort potentiel agricole. Ce projet vise notamment la construction et le bitumage de la Route Régionale 29 (RR29), qui reliera les villes de Boromo, Safané et Lanfiera par une infrastructure moderne adaptée aux besoins croissants de mobilité.

L'étude porte sur un tronçon de près de six kilomètres entre Siby et Oury, dont une partie importante traverse une zone urbaine. Elle s'inscrit dans le cadre d'une démarche rigoureuse visant à définir un tracé optimal, à dimensionner la chaussée selon les normes en vigueur, à concevoir les ouvrages hydrauliques nécessaires, ainsi qu'à assurer un aménagement global respectueux de l'environnement. Cette démarche intègre également une analyse approfondie des coûts pour garantir la faisabilité financière du projet.

À travers cette étude, l'objectif est de concevoir une route durable, sécurisée et fonctionnelle, capable de répondre efficacement aux exigences du trafic projeté tout en minimisant les impacts environnementaux et sociaux.



CHAPITRE 1 : DESCRIPTION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET

Dans le cadre de la validation du cycle de Master en Génie Civil, l'auteur du présent rapport a effectué un stage pratique au sein de l'Agence Générale d'Étude d'Ingénierie et de Maîtrise d'Œuvre – Ingénieur Conseil (AGEIM-IC), du 1er août 2024 au 31 décembre 2024. Ce chapitre a pour objectif de présenter la structure d'accueil ainsi que le projet faisant l'objet de ce rapport.

I. Présentation de la structure

AGEIM-IC (Agence Générale d'Études et d'Ingénierie Multisectorielle - Ingénierie Conseils) est un bureau d'ingénierie conseil fondé en janvier 2000, dirigé par Monsieur Tiraogo Hervé Ouédraogo, son Directeur Général. L'agence s'est spécialisée dans plusieurs domaines clés tels que les travaux publics, les infrastructures de transport, les aménagements hydrauliques, les bâtiments, les ouvrages d'art, ainsi que les études d'impact environnemental.

Le siège social de l'entreprise est situé à Ouagadougou, au Burkina Faso, plus précisément dans la cité des 1200 logements (64 Rue 14.10, villas 205 et 206). Ses coordonnées complètes sont :

Adresse postale : 10 BP 13478 Ouagadougou 10, Burkina Faso

Téléphone : (+226) 25 36 97 11 / 25 36 91 98

Fax : (+226) 25 36 34 03

E-mail : ageim@ageim-ic.com

Site web : www.ageim-ic.com

Avec plus de vingt ans d'expérience, AGEIM-IC est aujourd'hui présente dans plus d'une quinzaine de pays en Afrique de l'Ouest et en Afrique Centrale. À travers son expertise, elle a contribué à la réalisation de nombreux projets d'envergure, participant activement au développement des pays de la sous-région.

I.1. Objectifs

AGEIM Ingénieurs Conseils grâce à son expertise et à son expérience dans le domaine du génie civil a pour objectifs de contribuer au développement des pays dans lesquels elle intervient.



1.2. Domaine d'activités

Grâce à la richesse et à la diversité des profils de ses collaborateurs (ingénieurs en génie civil, génie rural, topographie, économistes, environnementalistes, etc.), AGEIM Ingénieur Conseil dispose de compétences multidisciplinaires lui permettant d'intervenir efficacement dans plusieurs domaines, notamment :

- les infrastructures routières ;
- les périmètres hydro-agricoles ;
- les aménagements hydrauliques ;
- les ouvrages d'art ;
- les travaux de topographie.

1.3. Missions

L'agence a pour mission :

- L'Identification de projet ; - les reconnaissances des sites de projets ; - l'étude préliminaire ; - l'étude technique ; - les dossiers de consultation des entreprises ; - la supervision et le contrôle des travaux - les suivis et les maintenances ;	- les études d'impact environnemental ; - les études d'impact économique - les aménagements forestiers ; - la gestion des ressources naturelles ; - l'étude de diagnostics conjoints ; - la conception de projets de gestion et de développement des terroirs ; - la cartographie.
--	--

1.4. Organisation

L'organisation de AGEIM-IC s'articule autour d'un directeur général et d'un directeur général adjoint. De manière synthétique, cette entreprise est organisée comme suit :

- une direction générale, elle comprend outre le directeur général adjoint, l'assistante de direction et le secrétariat :
 - ✓ un auditeur interne et un contrôleur de gestion ;
- un responsable de la qualité.
 - ✓ un département aménagement hydraulique
 - ✓ un département infrastructures de transport ;
 - ✓ un département environnement et économie;



- une direction de la communication et des ressources humaines ;
- une direction administrative et financière comprenant :
 - ✓ un département comptable et financier;
 - ✓ . un département administratif.
- une direction technique comprenant :
 - ✓ une cellule topographique;
 - ✓ une cellule développement ;
 - ✓ une cellule projet.

Pour une meilleure compréhension de cette organisation nous vous proposons l'organigramme de la société



Organigramme de AGEIM Ingénieurs Conseils

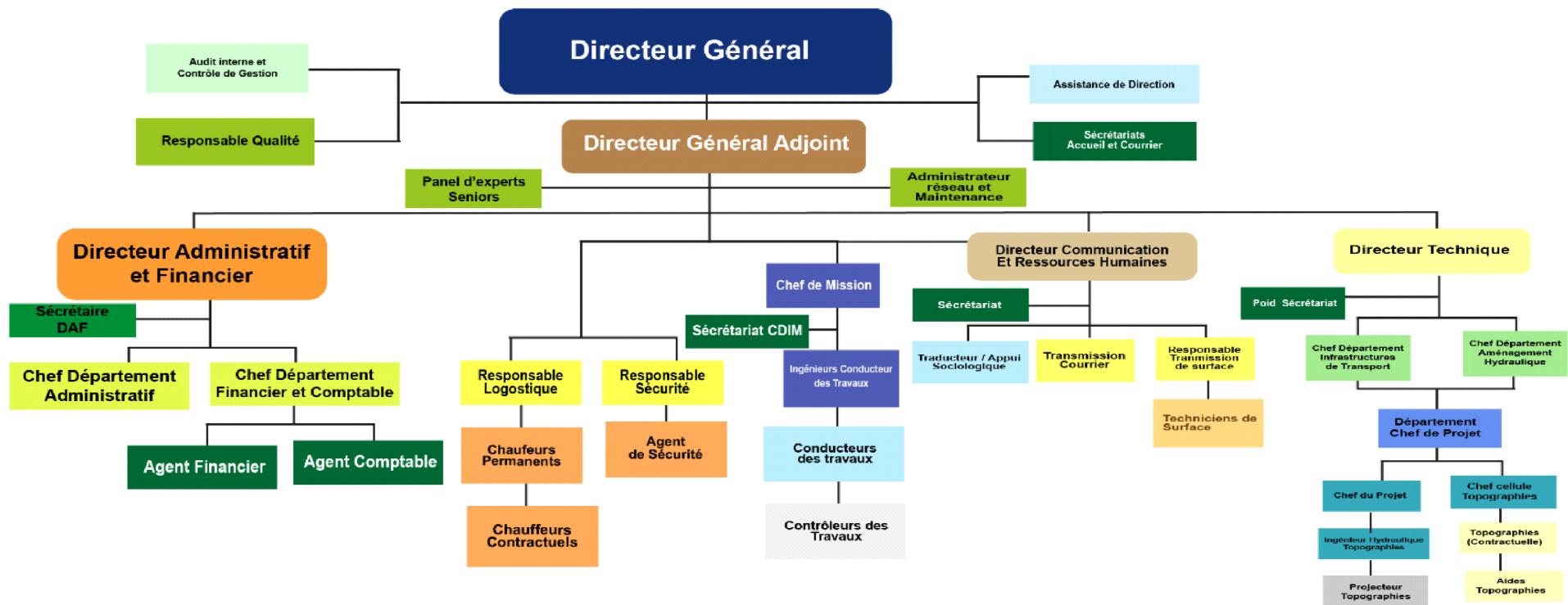


Figure 1: Organigramme de AGEIM-IC

Source : AGEJM-IC

II. PRESENTATION DU PROJET

II.1. Contexte général du projet

Le Burkina Faso est un pays enclavé doté d'un réseau routier classé d'environ 15304 kilomètres dont environ 30% seulement est bitumés. Ce réseau bitumé est constitué en grande partie de routes nationales (RN) qui permettent de fluidifier les échanges avec les pays voisins.

Cependant cette faible proportion de routes bitumées constitue un frein aux échanges intra-nationaux d'autant plus que le Burkina est un pays dont l'économie repose majoritairement sur l'agriculture.

C'est fort de ce constat que le secteur du transport a adopté une stratégie en cinq (05) grands axe couvrant la période de 2011-2025.

Dans le cadre de cette stratégie et avec la volonté de mettre l'accent sur les zones à forte production agricole, le gouvernement Burkinabé à travers le ministère des infrastructures et du désenclavement à lancer la phase des études de faisabilité technico-économiques environnementales et d'avant-projet détaillé des travaux d'aménagement et de bitumage des routes de désenclavement des zones à forte production(1).

C'est dans cette perspective que les études pour la construction et le bitumage de la route régional 29 (RR29) ont été menés.

II.1.1. Justification du projet

Le projet de construction et de bitumage de la route régionale RR29 vise à faciliter la circulation des personnes, des biens, des marchandises et des productions locales au sein des localités concernées. En favorisant une meilleure accessibilité, il permettra aux populations de participer plus activement au développement de l'économie locale, avec des retombées positives à l'échelle nationale.

Ce projet contribuera ainsi à une croissance économique inclusive et durable, tout en améliorant les conditions de vie des habitants.

II.1.2. Etats des lieux

Le tronçon objet de la présente étude s'étend sur une longueur de 5,98 kilomètres. Il a récemment bénéficié d'un entretien périodique. Ce segment comporte au total onze ouvrages hydrauliques, dont six buses et cinq dalots, qui présentent un état de conservation globalement satisfaisant.

Une étude hydrologique et hydraulique sera menée afin de s'assurer que ces ouvrages assurent convenablement l'évacuation des débits provenant des bassins versants qu'ils desservent. Si

nécessaire, des renforcements ou des remplacements seront envisagés. Par ailleurs, des détériorations ont été constatées sur la chaussée existante. Celles-ci pourraient être attribuées à divers facteurs, notamment à l'intensité de l'activité économique locale, qui engendre un trafic important et, par conséquent, accélère la dégradation de la structure routière.

II.2. Données de l'étude

Les données de base utilisées dans le cadre de cette étude proviennent essentiellement de la structure d'accueil. Elles ont constituées le socle des travaux réalisés durant le stage. Il s'agit notamment des termes de référence du projet, du fond topographique de la zone d'étude, des données géotechniques, des relevés pluviométriques ainsi que des résultats de comptage routier. L'étude étant toujours en cours au moment du stage, l'ensemble des informations nécessaires n'étaient pas encore disponible. Il a donc été nécessaire de formuler certaines hypothèses, en s'appuyant sur les normes en vigueur ainsi que sur des projets routiers similaires déjà exécutés.

II.2.1. Termes de références du projet

Le document stratégique, établi par le ministère des infrastructures, joue un rôle central dans la planification et la conduite des projets routiers. Il définit de manière claire et précise les objectifs globaux du projet, les attentes en termes de qualité, de délais et de budget, ainsi que les modalités concrètes de mise en œuvre. Ce document sert de cadre de référence essentiel pour toutes les parties prenantes impliquées, qu'il s'agisse des maîtres d'ouvrage, des bureaux d'études, des entreprises de construction ou des autorités de contrôle. En détaillant les spécifications techniques, les normes à respecter, les exigences environnementales et les procédures administratives, il garantit une cohérence dans l'exécution des travaux et facilite la coordination entre les acteurs. Par ailleurs, il constitue un outil fondamental pour assurer la conformité du projet avec les politiques nationales en matière d'infrastructures, tout en permettant une gestion rigoureuse des ressources et des risques.

II.2.2. Fond topographique

Le fond topographique, réalisé par AGEIM, représente la zone d'étude avec tous les détails situés le long du tracé. Il comprend notamment les limites de la chaussée existante, les ouvrages de franchissement, les limites des habitations, les établissements publics tels que les écoles, les édifices religieux ou coutumiers, les sites d'emprunt, les bornes kilométriques et de lotissement, ainsi que les panneaux, les bas-fonds et les passages d'eau.



II.2.3. Données géotechniques

Ces données sont essentielles pour le dimensionnement structurel de la chaussée, car elles permettent d'évaluer la portance de la plateforme ainsi que de caractériser les sites d'emprunt. Pour ce projet, le Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics (LNBTP) est chargé de réaliser les essais, qui étaient en cours durant la période du stage. En se basant sur les Termes de Référence exigeant une plateforme de classe S4, la valeur de CBR la plus défavorable retenue est de 15.

II.2.4. Données pluviométriques

Ces données climatiques ont été collectées par la station des services météorologiques du Burkina Faso implantée dans la ville de Boromo. Elles comprennent les hauteurs maximales de précipitations enregistrées quotidiennement ainsi que mensuellement, sur une période étendue de 31 ans, couvrant les années 1980 à 2011. Ces informations sont essentielles pour l'étude, car elles permettent d'évaluer les conditions pluviométriques auxquelles la route sera exposée, et ainsi de dimensionner correctement les ouvrages d'assainissement et de drainage afin de garantir leur efficacité et la durabilité de l'infrastructure routière face aux fortes précipitations.

II.2.5. Comptage routier

Le comptage routier consiste à mesurer le volume et les caractéristiques du trafic sur un tronçon donné. Réalisé conformément aux instructions des Termes de Référence (TDR), ce comptage assure la collecte de données fiables et représentatives. Il permet notamment d'identifier la composition du trafic, ainsi que la provenance et la destination des usagers. Pour ce projet, le comptage effectué en 2023 a révélé un trafic moyen journalier de 78 poids lourds, avec un taux de croissance annuel estimé à 5 %. Ces informations sont essentielles pour le dimensionnement de la chaussée et la planification des infrastructures routières adaptées au trafic projeté.

II.3. Présentation de la zone d'étude

La route dont la construction et le bitumage sont l'objet de ce projet est située dans la région de la Boucle du Mouhoun. Cette route, dénommée RR29, commence dans la ville de Boromo, chef-lieu de la province des Balés, au niveau de l'embranchement de la Route Nationale numéro 1 reliant la capitale Ouagadougou à la ville de Bobo-Dioulasso, et se termine dans la ville de Lanfiera, dans la province du Sourou, en passant par Safané dans la province du Mouhoun.

Le tronçon objet de cette étude est le tronçon de Siby, situé à une trentaine de kilomètres du PK 0, débutant à l'entrée de la ville de Siby et s'étendant sur 5,98 kilomètres jusqu'à la commune de Oury.

La commune rurale de Siby, située dans la province des Balés, comptait 18 559 habitants selon le recensement de 2019. Elle est composée de plusieurs villages, dont les plus importants sont : Siby, Souho, Bitiako, Ballao, Boromissi, Sécac, Kalemboly et Sorobouly. La population est majoritairement composée des Bobo, avec une présence significative de groupes ethniques comme les Mossi et les Peulh. Les langues principales parlées sont le bobo, le mooré (langue des Mossi) et le peulh. Les activités professionnelles dominantes sont l'agriculture (culture céréalière, maraîchage), l'élevage, le commerce et l'artisanat. La commune bénéficie également d'une position stratégique grâce au passage du chemin de fer Abidjan-Ouaga, ce qui favorise les échanges commerciaux.

La commune rurale de Oury, également située dans la province des Balés, comptait 21 660 habitants en 2019. Elle comprend plusieurs villages dont : Oury (chef-lieu), Barga, Dolo, Fati, Founzan, Kindi, Kouloura, Lougué, Nabitenga, Nabintenga, Nakoué, Namboubara, Nangouna, Nédagouna, Nédou, Séri, Souna, Tiouna et Zorkoum. La population d'Oury est majoritairement composée des Bobo et des Mossi, avec également une présence notable de Peulh. Les langues parlées sont similaires à celles de Siby, avec le bobo, le mooré et le peulh largement utilisés. Les principales activités économiques sont l'agriculture (production de céréales, cultures maraîchères), l'élevage, ainsi que le commerce de produits agricoles. L'économie locale est également soutenue par des activités artisanales et des échanges commerciaux entre villages.



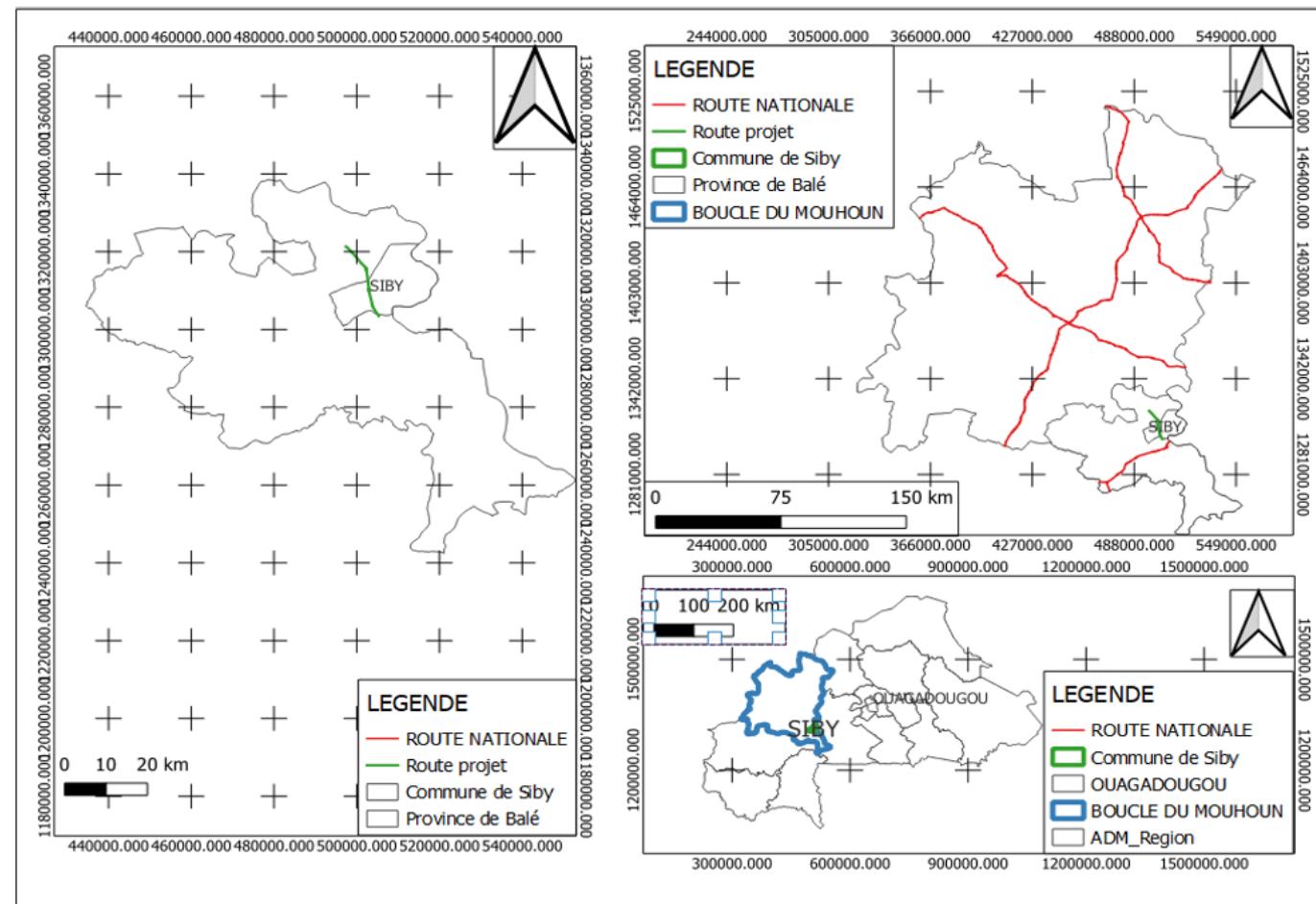


Figure 2 Localisation du tracé de la route

III. Cadre du projet

III.1. Acteurs du projet

Les différents intervenants sur le projet sont les suivants :

- le maître d'ouvrage : Ministère des Infrastructures et du Développement du Burkina Faso;
- le maître d'ouvrage délégué : Direction de la Normalisation et des Etudes technique du ministère des infrastructures;
- le maître d'œuvre : AGEIM Ingénieur/conseil

III.2. Cadre de l'étude

Ce stage a pour objectif la réalisation d'une étude d'avant-projet détaillée portant sur un tronçon de 5 980 mètres de la route régionale RR29, débutant à la ville de Siby. Cette étude vise à définir de manière précise les paramètres techniques nécessaires à l'aménagement et au bitumage de cette portion routière afin d'assurer une infrastructure durable et conforme aux normes en vigueur.

Les principales phases de cette étude comprennent la conception géométrique de la route, qui prend en compte les contraintes topographiques et la sécurité des usagers, ainsi que le dimensionnement de la chaussée basé sur les données géotechniques et le trafic projeté. Par ailleurs, une étude hydraulique approfondie sera menée pour assurer un système d'assainissement efficace, notamment par la mise en place de caniveaux et d'ouvrages hydrauliques adaptés.

Enfin, le projet intégrera une estimation détaillée des coûts, permettant d'évaluer la faisabilité économique de l'opération. Ce travail global vise à fournir une base solide pour la réalisation future des travaux, dans le but d'améliorer la mobilité, soutenir le développement local et contribuer à l'essor économique de la région.

III.3. Objectifs du projet

S'inscrivant dans le cadre du projet de désenclavement des zones à forte production agricole, ce projet de bitumage poursuit plusieurs objectifs essentiels.



L'objectif global est de contribuer à un développement social équitable et durable du Burkina Faso, en améliorant les infrastructures de transport et en facilitant l'accès aux services et marchés pour les populations locales.

Plus spécifiquement, ce projet vise à désenclaver la zone à forte production agricole concernée, en facilitant la circulation des personnes, des biens et des marchandises, ce qui favorisera le développement économique régional et améliorera les conditions de vie des habitants.

III.4. Description du projet

III.4.1. Description de l'état des routes

L'état initial de la route concernée par le projet présente les caractéristiques suivantes :

- une emprise dont la largeur varie selon que l'on se trouve en zone urbaine ou en rase campagne ;
- une implantation anarchique de constructions précaires sur l'emprise de la route ;
- une route en terre existante, globalement en assez bon état ;
- des ouvrages hydrauliques en bon état, dont les sections feront l'objet d'une vérification ;
- une faible capacité à supporter un trafic poids lourds important, ce qui engendre des dégradations prématuées ;
- un drainage insuffisant ou parfois inexistant, entraînant des problèmes d'érosion et de stagnation des eaux en saison pluvieuse ;
- une signalisation routière quasi inexistante ou inadaptée, limitant la sécurité des usagers ;
- un trafic mixte composé de véhicules légers, poids lourds, ainsi que de piétons et d'animaux, avec des risques potentiels pour la sécurité ;
- une faible accessibilité en période de pluies, impactant la mobilité des populations et la circulation des marchandises ;
- une absence d'aménagements pour les piétons et les cyclistes en zone urbaine, ce qui présente un danger accru pour ces usagers vulnérables.



III.4.2. Description de la route souhaitée

À l'issue de notre étude, nous devrons obtenir :

- un tracé en plan, des profils en long, des profils en travers types ainsi que des tracés combinés de la route ;
- le dimensionnement de la chaussée accompagné des recommandations géotechniques nécessaires à sa construction ;
- une étude hydraulique et d'assainissement complets de la zone concernée ;
- un aménagement adapté pour une route à double sens sans terre-plein central, avec des largeurs de chaussée et d'accotements variables selon les caractéristiques de chaque zone du projet.

Ce chapitre a permis de présenter la structure d'accueil ainsi que le projet objet de l'étude. Le chapitre suivant portera sur la conception géométrique de la chaussée.

CHAPITRE 2 : CONCEPTION GEOMETRIQUE DE LA CHAUSSEE

L'étude géométrique de la route vise à définir les caractéristiques géométriques optimales du tracé afin de garantir un niveau de confort et de sécurité satisfaisant pour les usagers. Elle prend en compte non seulement le standard d'aménagement retenu (type de route, vitesse de référence, etc.), mais également le contexte d'implantation du projet, qu'il soit en milieu urbain, périurbain ou rural. Ces paramètres influencent directement le choix des éléments tels que les rayons de courbure, les largeurs de chaussée, les accotements ou encore les pentes longitudinales.

I. Etude topographique

1.1.Données topographiques

L'étude topographique constitue une étape cruciale dans la mise en œuvre d'un projet routier, car elle permet de recueillir avec précision l'ensemble des informations relatives au terrain naturel, indispensables à une conception technique sécurisée, adaptée et économiquement cohérente. Elle renseigne sur le relief, les pentes, les formes du sol, les limites des concessions ainsi que sur les divers aménagements existants. Pour ce projet, les levés ont été effectués par les équipes de la société AGEIM-IC et ont été rattachés au système de nivellation général du Burkina Faso, conformément aux exigences des termes de référence. Ils ont également été connectés aux repères topographiques de l'Institut Géographique du Burkina. Cette étude a permis de relever la polygonale principale ainsi que les éléments présents le long du tracé, tels que les constructions précaires, les arbres, les panneaux, les ouvrages hydrauliques ou encore les fossés. L'ensemble de ces données a ensuite été exploité dans le logiciel AutoCAD pour produire un plan topographique intégré à la carte de lotissement de la zone, servant de base à la conception géométrique de la route.

1.2.Analyse des données

L'analyse préliminaire des données issues des levés topographiques met en évidence plusieurs constats importants :

- l'ensemble de la zone concernée par le projet a fait l'objet d'un levé topographique complet ;
- tous les éléments nécessaires à la conception de la route ont été correctement relevés ;



- la zone d'étude commence par une portion urbaine d'un peu plus d'un kilomètre, avant de se prolonger en zone rurale ;
- l'emprise de la route varie significativement en fonction du type de milieu traversé, qu'il soit urbain ou rural.

I.3. Implantation

Conformément aux recommandations des termes de référence et aux règles de l'art en matière de conception géométrique routière, l'implantation de l'axe en plan a été réalisée selon les principes suivants :

- adoption de longueurs de cotes adaptées à la nature du terrain, variant de 10 à 50 mètres, avec un espacement maximal de 100 mètres pour garantir une précision suffisante du tracé ;
- matérialisation de l'axe par des piquets en fer scellés dans du béton, complétés par des bornes de déport positionnées hors de l'emprise afin d'éviter leur destruction en cas de travaux ou d'occupation de la voie ;
- numérotation des bornes gravée directement dans le béton pour assurer une identification durable ;
- calculs planimétriques et altimétriques précis des sommets et des bornes de déport, avec rattachement aux repères topographiques nationaux de l'Institut Géographique du Burkina pour assurer la compatibilité avec le système de référence national ;
- établissement de croquis de repérage pour chaque section de la polygonale, indiquant clairement les coordonnées, l'orientation, les longueurs, les points particuliers, et la signalisation éventuelle ;
- prise en compte des obstacles existants (concessions, réseaux, végétation, etc.) lors de l'implantation, afin d'anticiper les éventuelles contraintes techniques et les adaptations nécessaires en phase de conception.

II. ETUDE GEOMETRIQUE DE LA CHAUSSEE

La conception géométrique de la route constitue une phase clé du projet durant laquelle les différents plans nécessaires à sa réalisation sont élaborés. Cette étape s'appuie sur les données topographiques collectées ainsi que les normes techniques en vigueur afin de définir avec précisions avec le tracé, le profil en long, les profils en travers et les caractéristiques



géométriques de l'infrastructure. Cette phase de conception a été réalisée à l'aide du logiciel Piste.

II.1. Présentation du logiciel Piste

Le logiciel PISTE 05 est un outil informatique développé par le SETRA (Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes) destiné à l'aide à la conception de projets linéaires en génie civil. Il permet aux projeteurs de concevoir une large gamme d'infrastructures routières, allant des chemins ruraux ou de remembrement jusqu'aux projets d'autoroutes. Le logiciel intègre les différentes étapes de la conception géométrique, y compris le tracé en plan, le profil en long, le profil en travers, ainsi que le calcul des terrassements et des volumes.

II.2. Caractéristiques géométriques

Dans le cadre de la conception routière, la première étape consiste à déterminer le type de voie à dimensionner afin de choisir le manuel de dimensionnement approprié. Pour ce projet, et suivant les recommandations des Termes de Référence (TDR), le manuel ARP (Aménagement des Routes Principales) a été retenu.

Ce manuel couvre les routes interurbaines principales, à l'exception des autoroutes et des voies express à deux chaussées. Il distingue trois types de routes :

- Les types L, qui correspondent aux autoroutes (non traitées dans ce projet) ;
- Les types T, routes express à une seule chaussée, adaptées au trafic sur moyenne ou longue distance ;
- Les types R, routes multifonctionnelles, représentant les artères interurbaines classiques.

La conception géométrique s'appuie sur la définition de deux vitesses clés : la vitesse de référence et la vitesse de base. La vitesse de référence correspond à la vitesse idéale prise en compte dans les normes pour fixer les éléments géométriques (rayons de courbure, pentes, distances de visibilité), tandis que la vitesse de base est une vitesse représentative du comportement réel des usagers en circulation.

Dans ce projet, la vitesse de référence retenue est de 60 km/h en zone urbaine (agglomération) et de 100 km/h en rase campagne, conformément aux prescriptions de l'ARP. La vitesse de



base, estimée à partir de l'analyse des comportements des usagers, est légèrement supérieure, avec une V85 (vitesse à laquelle 85 % des usagers circulent en dessous) comprise entre 70 et 75 km/h en agglomération, et entre 110 et 120 km/h en rase campagne.

Ce double choix permet d'assurer que la conception du tracé répond à la fois aux exigences normatives et à la réalité du terrain, garantissant ainsi la sécurité, le confort et la fluidité du trafic.

II.3. Tracé en plan

Le tracé en plan correspond à la projection horizontale de l'axe de la route sur un plan. Il se compose d'une succession d'alignements droits et de courbes de rayons divers, dont le raccordement doit respecter les normes définies par l'ARP. Ces prescriptions, fondées sur la vitesse de référence, visent à assurer la sécurité et le confort des usagers en garantissant une bonne maniabilité et une visibilité adaptée tout au long du parcours.

II.3.1. Les caractéristiques géométriques du tracé en plan

Les caractéristiques retenues pour la conception des tronçons en zone urbaine correspondent aux normes d'une route de catégorie R₆₀ :

- Le rayon minimal est fixé à 120 mètres, le rayon déversé minimal à 450 mètres, tandis que le rayon minimal non déversé est de 600 mètres.
- Afin de limiter les excès de vitesse, d'éviter les éblouissements dus aux phares des véhicules et de préserver l'intégration paysagère, il est recommandé de ne pas avoir d'alignements droits trop longs.
- Les raccordements circulaires entre deux alignements droits doivent comporter un rayon minimal de 120 mètres, en tenant compte des exigences de visibilité dans les courbes ainsi que des accélérations liées à l'effet centrifuge.
- Le tracé doit permettre aux véhicules prioritaires, comme les ambulances, de circuler à grande vitesse en toute sécurité.
- Les courbes doivent également être adaptées pour permettre la circulation des véhicules longs.



Pour la conception en rase campagne, les caractéristiques sont celles d'une route de catégorie T100 :

- Le rayon minimal, qu'il soit déversé ou non déversé, est fixé à 900 mètres, avec un rayon minimal non déversé de 425 mètres.

Tableau 1: Tableau récapitulatif des paramètres fondamentaux du tracé en plan selon l'ARP

Catégorie de la route	R60	T100
Rayon minimal(m)	120	425
Rayon au devers minimal(m)	450	900
Rayon non deversé minimal(m)	600	1300

II.3.2. Les contraintes

En milieu urbain, l'emprise est contrainte par le lotissement, ce qui limite la largeur disponible pour la chaussée. L'axe de la route doit donc être centré afin d'optimiser l'occupation de l'espace disponible. En zone rurale, en revanche, l'axe du projet a été calé sur celui de la route existante, facilitant ainsi son intégration dans le tracé actuel.

II.4. Profil en long

Il est lui aussi une succession d'alignement droit et de raccordement. A la différence que le profil en long est une représentation altimétrique du tronçon qui aboutit à la ligne rouge (ligne projet). En zone urbaine la ligne de projet doit s'adapter au terrain naturel afin de réduire les volumes de terrassements.

Le profil en long se caractérise par une succession de pente et rampe raccorde par des éléments circulaires ou paraboliques.

La conception d'un profil en long doit respecter quelques règles tel que :

- S'adapter au terrain naturel pour minimiser les travaux de terrassements ;
- Avoir un bon équilibre entre les remblais et les déblais ;

La conception doit permettre de maintenir la route hors d'eau afin de minimiser les travaux d'assainissement.

Tableau 2: tableau des paramètres du profil en long

Catégorie de la route	R60	T100
Déclivité maximal	7%	5%
Rayon minimal en angle saillant(m)	1500	6000
Rayon minimal en angle sortant (m)	1500	3000

II.5. Profil en travers

En conception routière, il est essentiel de réaliser deux types de profils en travers : les profils en travers courants et les profils en travers types. Ces profils correspondent à des coupes transversales de la chaussée, offrant une vue de face qui permet de visualiser la structure et la composition de la route à différents points du tracé.

Les profils en travers courants représentent les sections spécifiques relevées directement sur le terrain, illustrant les variations naturelles du sol et les caractéristiques locales du projet. Ils sont généralement réalisés à l'aide du logiciel AUTOCAD, qui permet une modélisation précise et détaillée.

Les profils en travers types, quant à eux, sont des sections standards ou modèles qui définissent la composition et l'épaisseur des différentes couches de la chaussée (revêtement, couche de base, fondation, etc.) ainsi que les éléments périphériques tels que les accotements ou les trottoirs. Ces profils sont conçus à partir des données géotechniques et des normes en vigueur et sont réalisés avec le logiciel PISTE 05, spécialisé dans la conception routière.

II.5.1 Profil en travers courant

Le profil en travers courant est une représentation en vue de face de chaussé avec la particularité de représenter les différentes couches de la chaussée ainsi que les équipements que comporte la chaussée. Pour cette étude et conformément aux termes de référence il a été réalisé trois types de profil en travers et ceux en fonctions de la zone du projet :

- Pour la chaussée en zone urbaine :

Chaussée revêtue en béton bitumineux : 2x 8.00 m=16.00m

Accotement revêtu en béton bitumineux : 2x 2.00 m=4.00m

Caniveaux de section variable

Trottoirs pavés

Caniveaux

Bordures

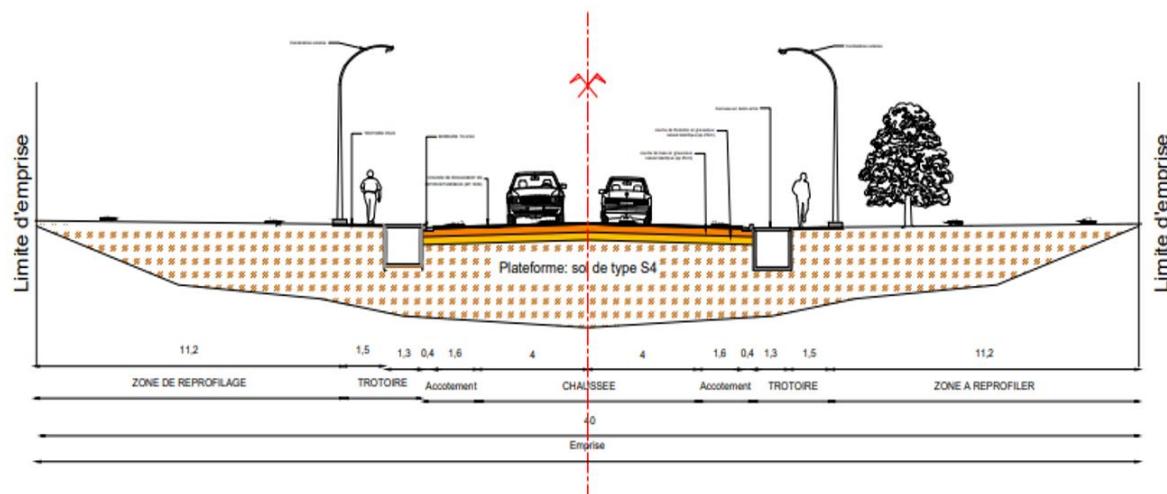


Figure 3: Profil en travers type courant

Source : TANKOANO Auguste 2024

- Pour la chaussée en rase-campagne :

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Une chaussée revêtue en béton bitumineux : 2x 7.00 m=14.00m • Accotement revêtu en béton bitumineux de 2x 1.50m=3.00 |
|---|

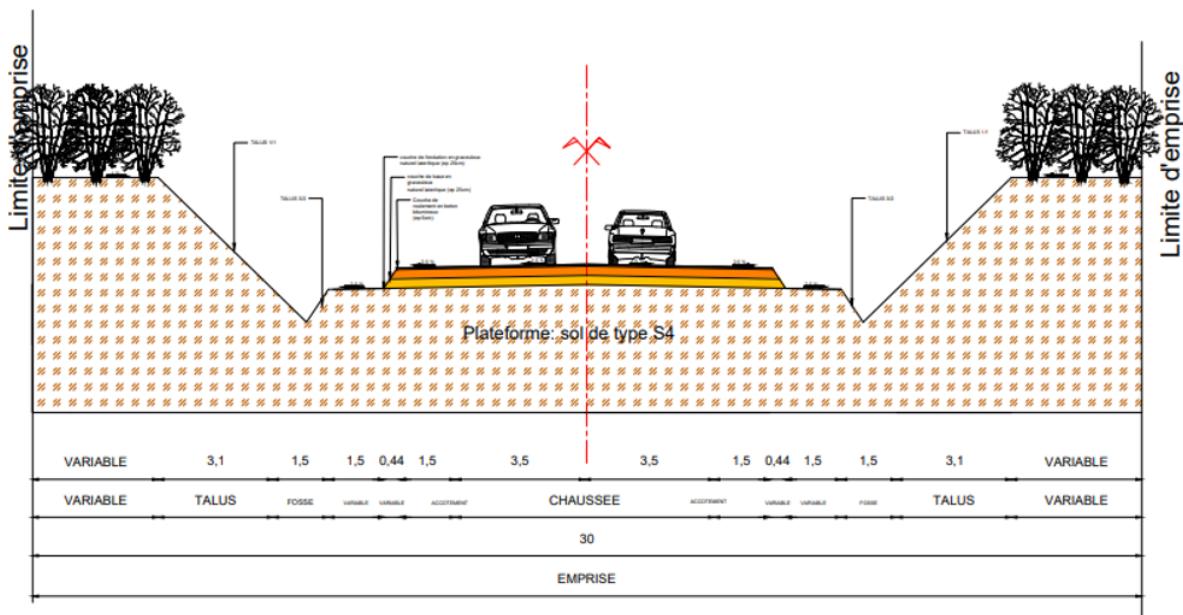


Figure 4: Profil en travers courant en rase campagne type déblais

Source : TANKOANO Auguste 2024

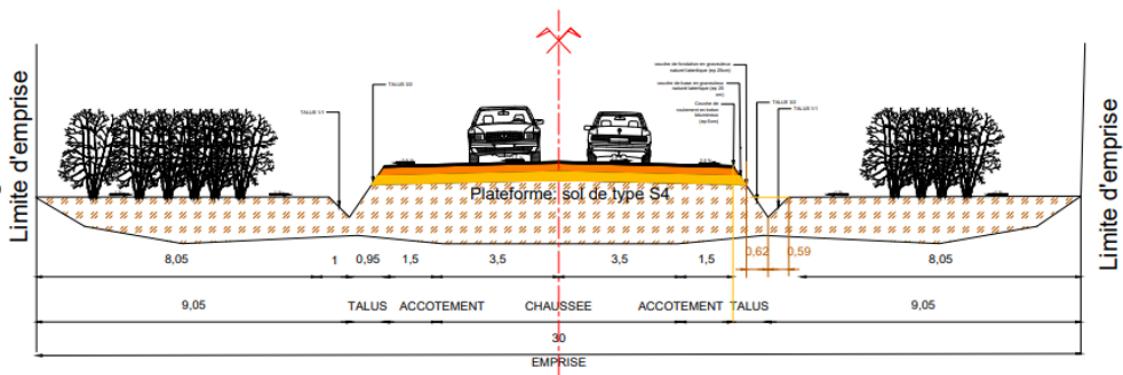


Figure 5: Profil en travers courant en rase campagne type remblais

Source : TANKOANO Auguste 2024

II.5.2 Profil en travers type

Le profil en travers type représente une coupe transversale théorique perpendiculaire à l'axe de la chaussée. Il a pour rôle de décrire la composition verticale de la route, en indiquant la nature, la position et l'épaisseur des différentes couches constitutives de la structure de chaussée. On y retrouve notamment la couche de roulement, la couche de base, la couche de

fondation, les accotements, les fossés éventuels ainsi que les dimensions totales de la plateforme.

Ce profil est établi en conformité avec les normes de dimensionnement routier applicables, en tenant compte des caractéristiques du trafic projeté, des conditions géotechniques du sol, du niveau de service attendu et de la durabilité souhaitée pour l'infrastructure. Il constitue un document de référence essentiel, tant pour la planification que pour l'exécution des travaux.

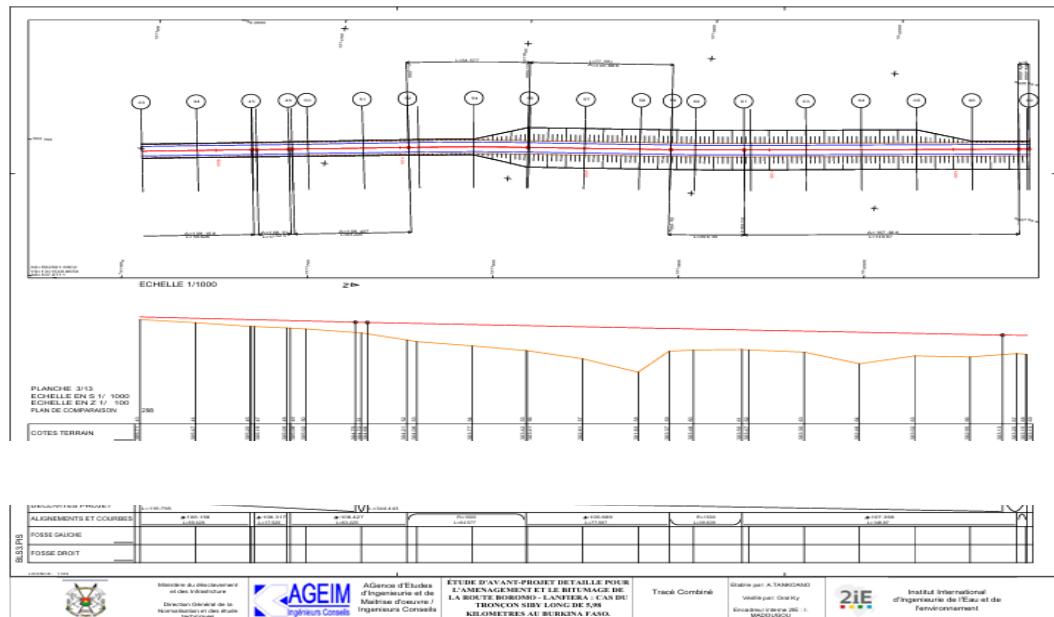
Dans le cadre de cette étude, les profils en travers types ont été élaborés à l'aide du logiciel Piste 5. Ce dernier permet une modélisation précise et rapide des différentes couches, tout en facilitant leur intégration dans l'ensemble du projet géométrique. Ces profils types servent ensuite de base pour la production des profils en travers courants, adaptés aux particularités du terrain le long du tracé.

II.5.3 Le trace combinée

Le tracé combiné constitue une étape essentielle dans la conception géométrique d'une route. Il résulte de l'intégration cohérente du tracé en plan, qui définit l'alignement horizontal de la voie (lignes droites, courbes, rayons, dévers), et du profil en long, qui détermine les variations altimétriques du terrain (pentes, rampes, points hauts et bas). L'objectif principal est de garantir une continuité fluide et sécurisée de la chaussée tout en respectant les contraintes topographiques naturelles, les normes techniques en vigueur, les exigences de sécurité routière ainsi que les impératifs économiques liés aux terrassements.

Cette approche intégrée permet non seulement d'assurer un bon confort de conduite pour les usagers, mais aussi d'optimiser les coûts de construction, notamment en limitant les déblais et remblais excessifs. Un tracé combiné bien conçu contribue également à améliorer la visibilité, à anticiper les zones sensibles (intersections, franchissements d'ouvrages, courbes à faible rayon) et à réduire les risques d'accidents.

Dans le cadre de cette étude, le tracé combiné a été élaboré à partir du levé topographique détaillé de la zone concernée. Il a été produit à l'aide du logiciel Piste 5, un outil de référence pour la conception routière qui permet de simuler différentes variantes de tracés et de vérifier leur compatibilité avec les exigences techniques du projet. Ce travail a permis de dégager un itinéraire techniquement réalisable, économiquement pertinent et adapté aux caractéristiques du site.



combiné

Conclusion partielle

Au cours de cette étude portant sur un tronçon de plus de 5 980 mètres, l'essentiel du travail a consisté à établir la conception géométrique de la route, en prenant en compte les contraintes spécifiques du terrain. Un levé topographique détaillé de la zone a été réalisé, aboutissant à la production d'un plan topographique précis. Ce levé a également permis de fournir des indications essentielles pour la future implantation du tracé.

L'étude géométrique a ensuite permis de concevoir l'ensemble des plans techniques nécessaires à la construction et au bitumage de la voie. Il s'agit notamment :

- du tracé en plan
- des profils en travers types
- des profils en travers courants
- du tracé combiné

La conception géométrique a été conduite conformément aux normes en vigueur, en adoptant une vitesse de référence de 100 km/h en rase campagne et 60 km/h en zone urbaine, comme le prescrivent les directives de l'ARP pour les routes régionales. Ces vitesses ont servi de base au calcul des rayons minimaux en courbe, des déclivités admissibles ainsi que des distances de visibilité.

En complément, les vitesses de base (V85) ont été estimées à partir de l'analyse du comportement des usagers, avec des valeurs comprises entre 110 et 120 km/h en rase campagne, et entre 70 et 75 km/h en agglomération. Ces valeurs ont permis de valider la cohérence du tracé avec les conditions réelles de circulation et les exigences de confort et de sécurité.

Après cette phase de conception géométrique, l'étude s'est poursuivie avec le dimensionnement de la chaussée, appuyé par une analyse géotechnique du terrain.

CHAPITRE 3 : DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE ET ETUDE GEOTECHNIQUE

La chaussée désigne la partie de la route située entre les accotements, empruntée par les usagers avec leurs véhicules. L'étude géotechnique permet de déterminer la nature et les épaisseurs des couches constitutives de la structure de chaussée. Son dimensionnement dépend de plusieurs facteurs, notamment les sols, les matériaux disponibles, le volume de trafic, les matériaux choisis pour sa construction et le coût des travaux. Dans ce chapitre, nous aborderons le processus de dimensionnement de la chaussée, la vérification à l'aide du logiciel ALIZE, les normes géotechniques applicables, ainsi que les caractéristiques des matériaux d'emprunt utilisés sur le chantier.

I. Le dimensionnement structural de la chaussée

Au Burkina Faso, le dimensionnement des chaussées est réalisé conformément aux recommandations du *Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux* élaboré par le CEBTP. Ce guide fournit les bases techniques nécessaires pour adapter les structures routières aux conditions climatiques, géotechniques et de trafic propres aux régions tropicales.

Le dimensionnement structural d'une chaussée vise principalement à déterminer l'épaisseur et la composition des différentes couches qui la constituent, de manière à assurer une durabilité suffisante face aux charges du trafic et aux contraintes environnementales. Dans le cadre de notre projet, la chaussée étudiée est composée des trois couches classiques suivantes :

- **La couche de fondation** : située à la base de la structure, elle a pour rôle de répartir les charges vers la plateforme, tout en assurant la stabilité globale de la chaussée. Elle doit être constituée de matériaux suffisamment portants pour garantir une bonne assise de la structure.
- **La couche de base** : placée entre la fondation et la couche de roulement, elle absorbe une grande partie des efforts transmis par le trafic. Son rôle est aussi d'éviter que les déformations ne remontent vers la surface.
- **La couche de roulement** : c'est la surface visible de la route, directement en contact avec les véhicules. Elle assure à la fois l'étanchéité de la chaussée, sa protection contre les infiltrations d'eau, et une bonne adhérence pour les pneumatiques. Pour garantir la

sécurité des usagers, cette couche doit présenter une texture rugueuse, tout en offrant un certain confort de conduite.

Le choix des matériaux et l'épaisseur de chaque couche sont déterminés en fonction du niveau de trafic prévu, de la nature du sol en place et de la durée de vie souhaitée de l'infrastructure.

I.1. Données du trafic

Un comptage manuel effectué en 2023 sur le tronçon étudié par AGEIM-IC a permis d'évaluer le taux moyen journalier (TMJA) 78 de véhicules avec un taux d'accroissement annuel de 5% (AGEIM-IC et les Termes De Références)(1). Il faut noter que seuls les poids lourds sont pris en compte lors de comptage, car ce sont les essieux de ces poids lourds qui ont une incidence sur la dégradation des routes. Cette route a une durée de vie estimée à 15ans(1).

I.2. Dimensionnement par la méthode du CEBTP

Le dimensionnement avec la méthode du CEBTP prend en compte le TMJA, le taux d'accroissement du trafic, la durée de vie de la chaussé, la classe de portance du sol. Ces données sont récapitulées dans ce tableau :

Tableau 3: Données du calcul du trafic

Données	
TMJA	78
Taux d'accroissement (i)	5%
Année de comptage	2023
Année de mise en service	2028
Durée de vie de la chaussée (ans)	15
CAM	1
CBR	15
Coefficient de répartition	0.75

- Calculons le trafic de mise en service

Le trafic de mise en service est le trafic journalier que la route va enregistrer l'année de sa mise en service, elle se calcule par la formule :

$$T_0 = T_1 * (1+i)^{(n-1)} \quad (4)$$

T₀ : le trafic journalier à l'année de fin de service

T₁ : le trafic journalier de l'année de mise en service

i : le taux de croissance du trafic

n : la durée de vie de la route en année

L'application numérique donne : $T_0 = 78 * (1 + 0.05)^{5-1} = 94.8095 = 95$ véhicules par jour

- Calculons le trafic cumulé

Le trafic cumulé est le trafic que la route va enregistrer durant les quinze années de sa durée de vie. Afin de mieux apprécier ce trafic une série de coefficient lui seront affecté.

Ces coefficients sont entre autres le taux d'accroissement, le coefficient de répartition et le CAM.

Après affectation de ces coefficients nous obtenons le trafic cumulé pour toute la durée de vie de la chaussée qui est de $5,61 \cdot 10^5$ véhicules. Dans le tableau ci-dessous nous récapitulons les différents calculs pour chaque coefficient :

Tableau 4: Tableau récapitulatif des trafics cumulés

Tc	$365 * T_0 ((1 + 0.05)^{15}) - 1 / 0.05$	37411.83462
TCI	Tc / i	748236.6924
Team	TCI / Cam	748236.6924
Tcr	Tcam / Cr	$561177.5193 \approx 5,62 \cdot 10^5$

Tc : trafic cumulé

Tci : trafic cumulé affecté du coefficient du taux d'accroissement

Tcam : trafic cumulé affecté du coefficient du coefficient d'agressivité moyen

Tcr : trafic cumulé affecté du coefficient du Coefficient de répartition

I : taux d'accroissement

Cam : coefficient moyen d'agressivité

Cr : Coefficient de répartition

Pour la suite de cet exposé le trafic cumulé sera arrondi à 562000 véhicules.

- Choix de la classe de trafic

D'après le guide pratique du CEBTP la classification du trafic se fait en traduisant en essieux équivalents de 13 Tonnes et en fonction du tableau suivant :



Tableau 5: Tableau des essieux équivalents

ESSIEUX EQUIVALENTS DE 13 TONNES
T1 < $5 \cdot 10^5$
5.10 ⁵ < T2 < 1,5.10 ⁶
1,5.10 ⁶ < T3 < 4.10 ⁶
4.10 ⁶ < T4 < 1.10 ⁷
1.10 ⁷ < T5 < 2.10 ⁷

Nous avons une circulation de type T2(4)

- La classe portance du sol

La classification du sol se fait en fonction de la valeur de son CBR et en fonction du tableau ci-dessous :

Tableau 6: Tableau des classes de portances (4)

Classe de portance des sols	
S1	CBR < 5
S2	5 < CBR < 10
S3	10 < CBR < 15
S4	15 < CBR < 30
S5	CBR > 30

CBR : Californian Bearing Ratio

Conformément aux exigences du cahier des charges (TDR), le projet impose un sol support de type S4. Cela implique un indice CBR minimal de 15, qui représente la valeur la plus défavorable admise pour cette catégorie de sol. Cette valeur sera donc retenue comme référence pour l'ensemble du processus de dimensionnement.

À partir de cette hypothèse de sol et des résultats issus des investigations géotechniques, une analyse a été conduite en s'appuyant sur les abaques du *Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux* du CEBTP. Cette démarche a permis de comparer plusieurs structures types adaptées au contexte du projet. À l'issue de cette analyse, le choix

s'est porté sur la structure de chaussée numéro 1, qui répond de manière optimale aux contraintes techniques et économiques du projet. Cette structure, mise en évidence dans le tableau ci-dessous, a été retenue comme solution de référence pour la suite des études.

Tableau 7: Récapitulatif des structures de chaussée ayant un trafic T2 et un sol S4 7

Structure de chaussée	Matériaux	Epaisseur (cm)
Structure 1	Béton Bitumineux	5
	Graves latéritiques Naturels	15
	Graves latéritiques Naturels	20
Structure 2	Béton Bitumineux	5
	Grave naturel amélioré au ciment	15
	Grave naturelle O/D	20
Structure 3	Béton Bitumineux	5
	Graveleux Latéritique	15
	Graves latéritiques Naturels	20
Structure 4	Béton Bitumineux	5
	Concasse O/d	15
	Sable amélioré au ciment/Graves Ciment	20

Les structures proposées dans les abaques du guide CEBTP résultent de nombreuses expérimentations empiriques menées dans les pays tropicaux. Ces abaques permettent d'orienter le choix d'une structure de chaussée en fonction des caractéristiques du sol support, du trafic projeté et des conditions locales. Dans le cadre du présent projet, le choix s'est porté sur la structure numéro 1, qui correspond à une chaussée souple. Ce type de chaussée est constitué essentiellement de couches granuleuses, qu'elles soient traitées ou non, et d'une couche de roulement en enrobé bitumineux. Elle se distingue ainsi des chaussées rigides, dont la couche principale est une dalle en béton de ciment conçue pour porter directement la majeure partie des charges. La chaussée rigide est dite « rigide » en raison de sa capacité à résister aux déformations et à répartir les charges sur une surface plus large.

Le choix de la structure souple s'explique par plusieurs facteurs, notamment la disponibilité des matériaux adaptés à proximité de la zone des travaux, située dans la région de la Boucle du Mouhoun, ce qui permet de réduire les coûts de transport. De plus, cette solution présente un coût global inférieur à celui des autres structures envisageables, tout en offrant de bonnes performances mécaniques dans les conditions climatiques et géotechniques locales. Le dimensionnement retenu sera par la suite vérifié, puis éventuellement optimisé à l'aide du logiciel ALIZE, afin de garantir sa conformité avec les exigences de durabilité et de sécurité du projet.

I.3. Vérification avec le logiciel ALIZE

Le logiciel ALIZE LCPC est un logiciel développé par le département Matériaux et Structure de l'IFSTTAR. Il utilise la méthode rationnelle de dimensionnement des chaussées développées par le LCPC (5) qui permet de vérifier les contrainte et les déformations admissibles. La méthode rationnelle est la méthode utilisée pour le dimensionnement des chaussées en France ainsi que dans plusieurs pays francophones. Outre le dimensionnement de chaussée, cette méthode permet le dimensionnement d'autre ouvrage spéciaux tels : les chaussées aéronautiques souples les chaussées pour charges spéciales des plates-formes industrielles ou logistiques.

I.3.1. Paramètres d'entrée

I.3.1.1. Données d'entrée de trafic

Pour mener à bien cette vérification il faudra pour l'étude de trafic entrer les paramètres suivants :

Tableau 8: données d'entrées du trafic

Données	Valeur
TMJA (Trafic Moyen Journalier Annuel) affecté du coefficient de repartitions	78
Taux d'accroissement géométrique (qui représente l'augmentation moyenne du trafic) :	5%
Durée de service	15 ans

Source : TANKOANO Auguste 2024

Cette étude de trafic a permis d'obtenir un trafic cumulé de **567080** qui est sensiblement égale au résultat obtenu manuellement, un résultat qui confirme la cohérence avec les calculs effectués manuellement.

I.3.1.2. Données d'entrée pour les matériaux

Pour les valeurs admissibles matériaux bitumineux :

Tableau 9: données d'entrées des matériaux bitumineux

Données		Données	
Type de matériaux	Bitumineux	Et10	7200
CAM	1	Et30	1300
Risques-en %	5	Ecart type sh (m)	1
Epsilon6	100	Ecart type SN	0.250
-1/b	5	Ksi	1/1.1
Source : TANKOANO Auguste via ALIZEE LCPC			

I.3.1.3. Matériaux naturels

Tableau 10: données d'entrées des matériaux naturels

Type de matériaux	GNT et sol
CAM	1
Coefficient A	12000
Pente B	-0,222

Source : TANKOANO Auguste via ALIZEE LCPC

I.3.2. Données d'entrée pour les structures de chaussée :

Cette partie de l'étude a été mené à partir du guide dimensionnement des chaussées du Sénégal. Les liaisons aux interfaces sont les manières dont les couches de matériaux adjacentes interagissent entre elles. Le logiciel Alizé distingue trois types d'interactions que sont :

- ✓ La liaison colée : dans ce type de liaisons la transmission des charges se fait de manière uniforme ;
- ✓ La liaison semis-colée : dans ce type de liaison, la transmission des charges est moins uniforme mais elle est suffisante pour maintenir l'intégralité structurelle de la chaussée ;

- ✓ La liaison glissante : dans ce type de liaison, il n'y a pas de continuité dans la transmission de charges ce qui a pour conséquence d'augmenter les contraintes de traction dans la structure de chaussée.

I.3.2.1. Modules d'élasticité des matériaux

- ✓ Plate-forme : Selon le guide de dimensionnement du CEBTP, le module d'élasticité (paramètre mécanique fondamental qui caractérise la rigidité d'un matériau ou d'une couche de chaussé) de la plate-forme est estimé à cinq fois la valeur du CBR. Pour un CBR de 15, cela donne un module de $5 \times 15 = 75$ MPa.
- ✓ Couche de fondation : D'après le guide de dimensionnement du Sénégal, le module d'élasticité de cette couche correspond à la valeur minimale entre deux fois celui de la plate-forme (soit $2 \times 75 = 150$ MPa) et 200 MPa. La valeur retenue pour le projet est donc 150 MPa.
- ✓ Couche de base : Un module d'élasticité de 400 MPa a été adopté. Cette valeur est représentative des performances mécaniques généralement observées pour les graves latéritiques naturelles, utilisées dans ce type de structure.
- ✓ Revêtement : Le module d'élasticité du béton bitumineux varie en fonction de la température ambiante. Conformément aux termes de référence (TDR) et aux différents guides de dimensionnement, la température de référence choisie est de 30 °C, ce qui correspond à un module d'élasticité de 1 300 MPa.

Tableau 11: récapitulatif des données d'entrée de la modélisation de la structure de chaussée sur alizé LCPC

Nom du matériau	Module d'élasticité
Bétons bitumineux : 5 cm d'épaisseur	1300 MPa
Liaison : collé	
Grave latéritique naturelle : 15 cm d'épaisseur	400 MPa
Liaison : collé	
Grave latéritique naturelle : 20 cm d'épaisseur	150 MPa
Liaison : collé	
Plateforme	75 MPa

Source : TANKOANO Auguste via ALIZEE LCPC

I.3.2.2. Vérification par la méthode rationnelle de la première structure

Après avoir saisi les paramètres nécessaires dans l'interface du logiciel de dimensionnement à savoir les épaisseurs des couches, les modules d'élasticité, les contraintes admissibles ainsi que le type de matériau utilisé (béton bitumineux, grave naturelle traitée, etc.) , l'étape suivante consiste à définir les interfaces entre les différentes couches. Dans le cas présent, toutes les interfaces ont été considérées comme collées.

À ce stade, plusieurs vérifications sont indispensables afin de s'assurer de la validité du dimensionnement. Pour les matériaux bitumineux, le paramètre dimensionnant est la déformation horizontale en traction à la base de la couche, car ces matériaux sont sensibles aux déformations transversales. En ce qui concerne les matériaux non traités ou traités aux liants hydrauliques, la déformation verticale en compression devient le paramètre critique, en raison de leur vulnérabilité au poinçonnement sous les charges répétées.

Le premier calcul de dimensionnement effectué avec ces paramètres n'a pas permis de respecter les critères de résistance. Il a donc été nécessaire de revoir la structure de la chaussée en augmentant progressivement les épaisseurs des couches, tout en respectant une limite maximale de 25 centimètres par couche. Cette optimisation a débuté par la couche de fondation, conformément à la démarche recommandée pour obtenir une structure équilibrée et économiquement viable.

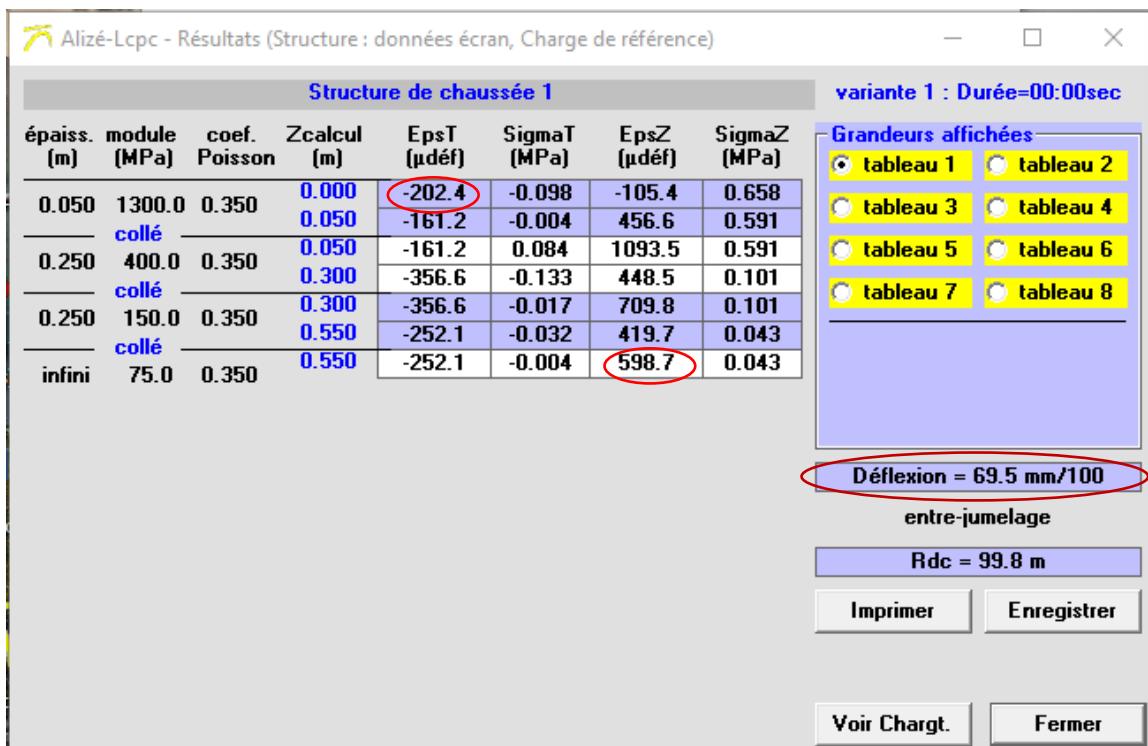


Figure 7: Tableau des résultats des vérifications obtenus par ALIZEE

Source : TANKOANO Auguste, 2024.

Ce tableau présente l'évolution des contraintes selon les différentes couches de la chaussée, leurs épaisseurs et les charges appliquées. Les efforts transmis à travers ces couches génèrent des déformations à la fois verticales et horizontales. Conformément au guide de dimensionnement des chaussées du Sénégal, le critère dimensionnant principal pour les matériaux naturels est la déformation verticale (ε_z) mesurée au niveau de la plate-forme.

Dans cette étude, les matériaux utilisés pour les couches de fondation et de base étant naturels, la déformation verticale ε_z est donc considérée comme le paramètre critique. La valeur admissible fixée est de $\varepsilon_z = 641,3$. La valeur calculée dans le présent cas est de 598,7, ce qui demeure inférieur au seuil toléré et donc conforme aux exigences.

Concernant la couche de revêtement en béton bitumineux, le critère dimensionnant est la déformation horizontale en traction (ε_T), dont la valeur admissible est de 203,8. La valeur obtenue est de 202,4, soit également en dessous du seuil maximal, ce qui indique une réponse satisfaisante à ce niveau.

Cependant, la déflexion globale mesurée, qui est de 69,5 mm/100, dépasse largement la valeur de référence en vigueur au Burkina Faso, fixée à 40 mm/100. Cette valeur trop élevée révèle une faiblesse globale de la structure, rendant le dimensionnement inapproprié dans sa configuration actuelle. Il est donc nécessaire de vérifier une nouvelle structure plus adaptée afin de respecter les critères de performance requis.

I.3.2.3 Vérification alizé par la méthode rationnelle de la seconde structure de chaussée

La seconde structure est la suivante :

Structure 2	Béton bitumineux	5 cm
	Grave naturel amélioré au ciment	15 cm
	Grave naturel O/D	20 cm

Elle est constituée d'un matériau bitumineux en couche de roulement, d'un matériau amélioré au liant hydraulique en couche de base et d'un matériau naturel en couche de fondation.

Tableau 12: récapitulatif des données d'entrée de la modélisation de la structure de chaussée sur alisé LCPC

Nom du matériau	Module d'élasticité
Bétons bitumineux : 5 cm d'épaisseur	1300 MPa
Liaison : collé	
Grave naturel amélioré au ciment: 15 cm d'épaisseur	25000 MPa
Liaison : collé	
Grave naturelle O/d : 20 cm d'épaisseur	150 MPa
Liaison : collé	
Plateforme	75 MPa

Ce dimensionnement de la structure 2 n'ayant pas donné de bons résultats, les couches d'épaisseurs ont été augmentées jusqu'à 25 centimètres en commençant par la couche de fondation puis par la couche de base.

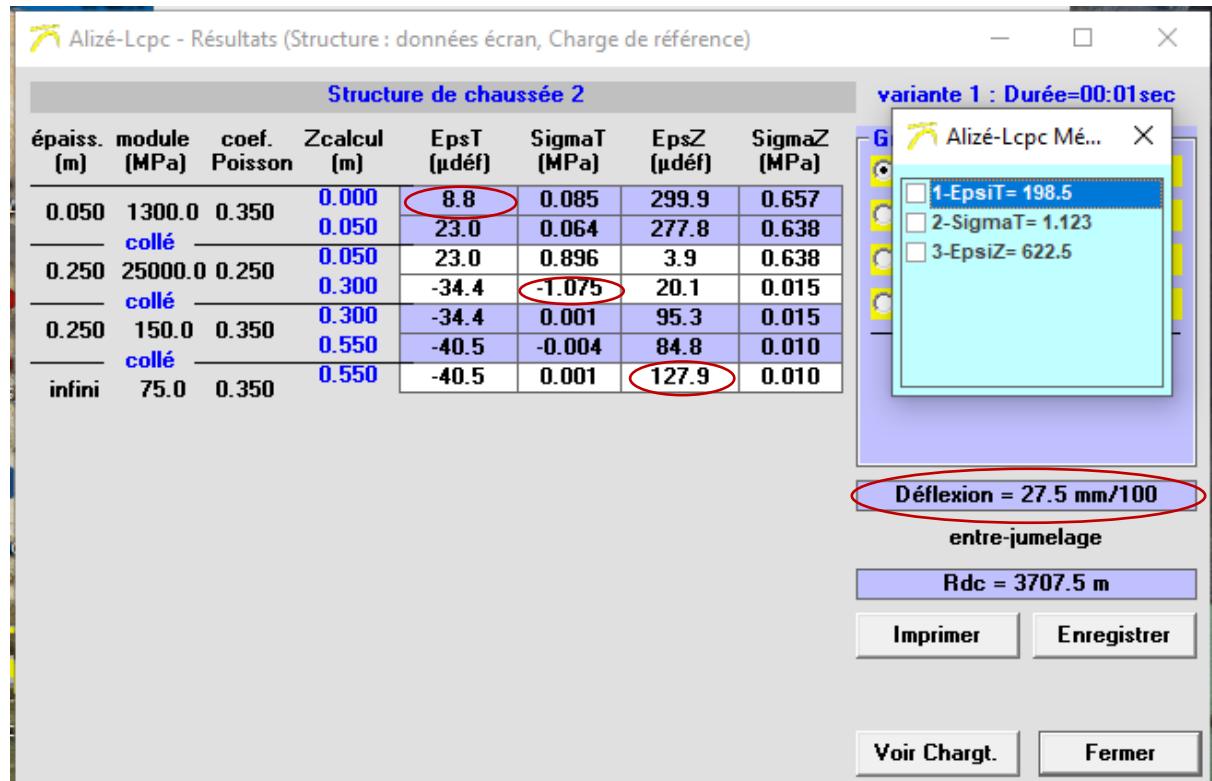


Figure 8: Tableau des résultats des vérifications obtenus par ALIZEE pour la structure 2

Source : TANKOANO Auguste, 2024.

Pour les matériaux naturels et conformément au guide du Sénégal, la déformation à la plate-forme est considérée comme la plus critique et ne doit pas dépasser εz admissible = 622,5 dans le présent cas, εz est de 127,9.

Le matériau traité au liant hydraulique lui ne doit pas avoir une déformation Sigma z admissible au bas de la couche considérée supérieur à 1,123. Dans le cas présent nous sommes à 1,075.

Le matériau bitumineux quant à lui, il ne doit pas avoir une déformation supérieur à $\varepsilon T = 198,5$. Dans ce cas la déformation est à 8,8

La déflexion devant être inférieure à 40 mm/100, dans le cas présent elle est de 27,5 mm/100.

Tableau 13: Tableau récapitulatif des valeurs admissibles et obtenues.

	Valeurs admissibles	Valeurs obtenues
Epsilon T	198,5	8,8

Sigma T	1,123	1,075
Epsilon Z	622,5	127,9
Deflexion	40 mm 1/100	27, mm 1/100

L'ensemble des valeurs obtenues étant inférieur aux valeurs admissibles, ce dimensionnement est jugé bon et répond aux exigences et normes en vigueur au Burkina Faso.

II. Etudes Géotechniques

L'étude géotechnique constitue une étape essentielle dans la conception d'un projet routier, car elle conditionne directement la qualité, la durabilité et la sécurité de l'ouvrage. Ses principaux objectifs sont les suivants :

- Identifier les caractéristiques mécaniques et physico-chimiques des sols d'assise, afin de déterminer avec précision les paramètres nécessaires au dimensionnement des fondations.
- Analyser la nature, la portance et la stabilité des terrains traversés par les terrassements et les plates-formes, en détectant notamment la présence éventuelle de nappes phréatiques, de sols instables ou de zones à risques (argiles gonflantes, terrains inondables, zones karstiques, etc.).
- Proposer des solutions techniques appropriées pour prévenir les désordres liés aux remontées d'eau, aux affaissements, au retrait-gonflement des sols ou aux phénomènes d'érosion.
- Vérifier, au moyen de notes de calcul et de modélisations adaptées, la portance et la durabilité des structures de chaussée projetées.
- Orienter le choix des matériaux à utiliser en remblai ou en couche de forme, en tenant compte de leur qualité géotechnique et de leur disponibilité dans la zone du projet.
- Limiter les risques de tassement différentiel, de glissement ou d'instabilité pouvant compromettre la performance et la sécurité de la route sur le long terme.

Ces investigations permettent ainsi de fiabiliser les choix techniques, de réduire les coûts d'entretien et de garantir la pérennité de l'infrastructure.

L'obtention des différents paramètres et caractéristiques de l'étude géotechniques se font au moyen d'essais sur le terrain (essais in situ), d'essais au laboratoire et par l'étude d'archive etc....

Pour la réalisation du projet que nous avons étudié, différents essais qui ont été réalisée sont :

- L'analyse granulométrique : consiste à déterminer la répartition des différentes tailles de particules (graviers, sables, limons, argiles) dans un échantillon de sol. Son but est de classer le sol selon sa granulométrie afin d'évaluer sa nature et ses propriétés mécaniques. Cette analyse est importante car la granulométrie influence la capacité de compactage, la stabilité et la perméabilité des sols utilisés dans la construction des couches de chaussée.
- Les limites d'Atterberg : mesurent les limites de liquidité, de plasticité et l'indice de plasticité des sols fins en fonction de leur teneur en eau. L'objectif est d'évaluer le comportement du sol vis-à-vis de l'humidité et sa susceptibilité à gonfler ou se fissurer. Cette évaluation est cruciale pour déterminer la stabilité dimensionnelle des sols et prévoir les traitements nécessaires.
- L'essai Proctor modifié : vise à déterminer la densité sèche maximale et la teneur en eau optimale pour le compactage d'un sol. Son objectif est d'optimiser le compactage afin d'assurer une bonne portance et stabilité des plates-formes. C'est un paramètre clé pour prévenir les tassements et affaissements futurs de la chaussée.
- L'essai CBR (California Bearing Ratio) : mesure la résistance à la pénétration d'un échantillon de sol et permet d'évaluer sa portance mécanique. Il sert à déterminer la capacité du sol à supporter les charges du trafic routier. Cet essai est important pour le choix et le dimensionnement des couches de la chaussée en fonction de la qualité du sol d'assise.
- L'essai de défexion : consiste à mesurer la déformation temporaire que subit la chaussée sous une charge donnée, généralement à l'aide d'un deflectomètre à impact. Son but est d'évaluer la capacité portante et la rigidité de la structure de la chaussée en conditions réelles. Cet essai permet de détecter les zones affaiblies ou dégradées, d'orienter les travaux de renforcement ou de réparation, et d'optimiser le dimensionnement des couches de chaussée pour assurer une durée de vie adéquate.



Ces différents essais sont essentiels pour caractériser le sol et la structure existante, permettant ainsi de concevoir une chaussée durable et adaptée aux contraintes du trafic et du milieu.

II.1. Les matériaux d'emprunt

Les matériaux d'emprunt qui sont utilisés pour la construction des structures de chaussées doivent satisfaire à un certain nombre de critères parmi lesquels :

- Un CBR à 95% OPM et 96H d'imbibition supérieur à 30 pour la couche de fondation et
- Un CBR à 95% OPM et 96H d'imbibition supérieur à 60 pour la couche de base

Des essais seront menés pour trouver des sites d'emprunt qui ne sont pas trop éloigner de la zone des travaux afin de minimiser le coût de transport des matériaux.

Conclusion partielle

Au terme de ce chapitre, il a été obtenu un dimensionnement ainsi que des prescriptions sur le plan géotechnique afin d'avoir une route qui aura une durée de vie optimal c'est-à-dire une quinzaine d'année.

Le dimensionnement structurel de la chaussée a donné :

- Une couche de revêtement de 5cm en béton bitumineux
- Une couche de base de 25cm en graveleux naturel amélioré au ciment
- Une couche de fondation de 25cm en graveleux naturel O/d

CHAPITRE 4 : HYDROLOGIE, HYDRAULIQUE ET ASSAINISSEMENT

L'eau, surtout lorsqu'elle a un fort débit est l'un des dangers pour la pérennité d'une route. Fort de ce constat, ce chapitre sera consacré au dimensionnement des ouvrages d'assainissement qui permettent la collecte et l'évacuation des eaux de pluie. Dans les prochaines lignes il sera effectué une étude hydrologique afin de délimiter les bassins versants concernés puis il sera calculé les débits crus projets pour aboutir au dimensionnement des ouvrages d'assainissement.

I. Etude hydrologique

L'étude hydrologique dans le cadre d'un projet routier a pour but d'estimer les volumes d'eau collectés par les bassins versants proches de la route lors d'événements pluvieux exceptionnels, comme une pluie décennale. Cette étude permet aussi de calculer le débit maximal généré par ces précipitations. Un bassin versant désigne une zone géographique où les eaux de pluie sont drainées vers un même point de sortie, via un réseau de cours d'eau et d'affluents.

Pour calculer le débit, plusieurs méthodes peuvent être utilisées, parmi lesquelles on trouve :

- **La méthode RATIONNELLE (6):** La méthode rationnelle est utilisée pour déterminer le débit des bassins versants dont la superficie est inférieure à 200 hectares. Elle prend en compte plusieurs paramètres, notamment le coefficient de ruissellement, l'intensité de la pluie pendant le temps de concentration ainsi que la surface du bassin versant. Le débit est calculé selon la formule suivante : $Q = C \times I \times A$
C : coefficient de ruissellement ;
I : Intensité de la pluie pendant le temps de concentration ;
A : Surface du bassin versant en hectare
- **La méthode de CAQUOT (6):** La méthode de Caquot est une adaptation de la méthode rationnelle qui prend en compte des particularités propres au milieu urbain. En effet, elle intègre deux phénomènes importants dans le ruissellement des eaux pluviales en zone urbaine : d'une part, le stockage temporaire de l'eau dans le réseau d'écoulement (comme les caniveaux, les bassins de rétention, ou les infrastructures de drainage), qui retarde le passage des eaux vers l'exutoire, et d'autre part, le temps de concentration du bassin versant, qui est influencé par le débit et la configuration du terrain. En combinant

ces éléments, la méthode de Caquot permet d'estimer un débit brut plus réaliste, reflétant mieux les conditions réelles du ruissellement urbain, notamment en prenant en compte les retards et les modulations dans l'évacuation des eaux de pluie. Cette approche est particulièrement utile pour le dimensionnement des ouvrages drauliques dans les zones bâties.

$$Q_{brut} = k \frac{1}{u} \times I \frac{v}{u} \times C \frac{1}{u} \times A \frac{w}{u} \quad (7)$$

- **La méthode de l'ORSTOM(6)** La méthode de l'ORSTOM s'applique aux bassins versants de grande superficie, généralement supérieure à 1500 km². Cette méthode, actualisée et validée dans l'ouvrage « Crues et Apports », permet de calculer le débit de pointe décennal, qui correspond au ruissellement superficiel généré par une crue survenant en moyenne une fois tous les dix ans. Le débit est déterminé à partir d'une relation prenant en compte plusieurs paramètres hydrologiques et géographiques du bassin. Ce débit décennal se calcule par la formule ci-dessous :

$$Q_{r10} = m \times A \times P_{10} \times K_{r10} \times \alpha_{10} \times \frac{S}{T_{b10}} \quad \text{Avec}$$

m : le coefficient de majoration d'écoulement (estimé 1.03 et 1.05) ;

A : le coefficient d'abattement ;

P₁₀ : la hauteur de la pluie journalière décennale ;

K_{r10m} : le coefficient de ruissellement correspond à la pluie décennale ;

- **La méthode de CIEH(6)** : c'est une méthode statistique. Cette méthode permet de calculer le débit grâce à la formule suivante : $Q_{10} = a \times S^s \times P_{an}^P \times I_g^i \times K_r^k \times D_d^d \dots$
Où a, s, p, i, k, d

S est la surface du bassin versant (km²)

Ig est l'indice global de pente (rn/km)

P_{an} est la pluie annuelle moyenne (mm)

K_{r10} est le coefficient de ruissellement décennal (%)

Cette étude tient compte de l'environnement dans lequel le projet est implanté. En début de projet, la zone se situe en agglomération, où la méthode de Caquot, adaptée aux petits bassins versants et aux milieux urbains, sera utilisée. En revanche, pour les parties en rase campagne,



les méthodes ORSTOM et CIEH seront appliquées, car elles conviennent mieux aux bassins de plus grande taille et aux zones rurales.

II. Evaluation du débit en zone urbaine

II.1. Le drainage proposé

L'évacuation rapide des eaux de pluie vers l'exutoire est le principal objectif de ce drainage, il se fera au moyen de caniveaux en béton armé préfabriqué et de dalots. Les eaux seront drainées vers les caniveaux et conduit vers un exutoire déjà identifié.

L'écoulement des eaux dans les caniveaux étant un écoulement en surface libre, la détermination des sections se fera en fonction de la formule de Manning Strickler dont les paramètres d'entrés sont les suivants :

- ✓ Les caractéristiques géométriques des ouvrages
- ✓ La nature des parois des ouvrages.
- ✓ Le coefficient de ruissellement des bassins versants

II.2. Les paramètres hydrologiques

Les paramètres hydrologiques sont les données dont l'ingénieur à besoin pour quantifier les débits engendres par les averses. Ces paramètres entrant dans les formules de calcul des débits et sont défini par le guide de l'hydraulique routière ce sont notamment :

II.2.1. Surface des bassins versants

En milieu urbain, l'environnement est fortement modifié par les activités humaines telles que les lotissements, les routes ou les remblais, ce qui rend difficile l'utilisation de logiciels comme Global Mapper, habituellement efficaces pour délimiter les bassins versants en zone rurale. Dans ce cas, la délimitation des bassins versants doit idéalement se faire sur le terrain, où l'ingénieur peut repérer directement les signes d'écoulement des eaux, notamment les traces de ruissellement, les lignes de crête et les pentes naturelles. N'ayant pas pu effectuer de déplacement sur le terrain, l'étudiant a dû recourir aux outils Global Mapper et Google Earth pour réaliser cette délimitation, méthode cependant moins précise. Au total, cinq bassins versants ont été identifiés en zone urbaine, et deux en zone rurale.

II.2.2. Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement noté « C » est un facteur utilisé pour représenter la proportion des précipitations qui s'écoule à la surface du sol sous forme de ruissellement sur un bassin en



fonction de sa perméabilité. La détermination de ce coefficient se fait en tenant compte de la nature du sol, du couvert végétal, du type d'urbanisation.

Ce coefficient peut varier d'un quartier à un autre et dépend fortement de l'imperméabilité de la zone considérée. Sur la base de l'hydraulique du BCEOM et sur la base d'ancienne étude hydraulique, il a été choisi comme des coefficients de ruissellement de C=0.8 et de C=0.7 en fonction de l'état des surfaces des bassins versant(8).

II.2.3. Pente I du terrain naturel

La pente du terrain naturel est la pente calculée pour le plus long chemin hydraulique. Cette pente se décompose en plusieurs tronçons de pente homogène et elle est déterminer en fonction du relief en fonction de la formule $p = \Delta h/L$.

L'obtention des pentes des différents bassins versant s'est fait avec l'aide du logiciel Google earth.

II.2.4. Chemin hydraulique

Le chemin hydraulique est la distance que mets la dernière goutte pour atteindre l'exutoire par un écoulement superficiel. Concrètement c'est la plus longue distance que met une goutte d'eau pour atteindre l'exutoire du bassin versant considéré(7).

II.2.5. Coefficient d'allongement

Le coefficient d'allongement conditionne la réponse d'un bassin versant à une pluie. Dans la méthode de Caquot, il est utilisé pour corriger les calculs du débit. Ce coefficient noté "M" est défini comme étant le rapport du plus long chemin hydraulique "L" au côté du carré de la surface équivalente à la superficie du bassin équivalent considéré. L'expression du coefficient d'allongement est :

$$M = \frac{L}{\sqrt{A}} = 2 \quad (7)$$

II.2.6. Facteur de correction de l'allongement

Lorsque la valeur du coefficient d'allongement diffère de la valeur de référence "2", il est nécessaire d'appliquer un facteur de correction "m" pour ajuster le coefficient en conséquence.

$$m = \left(\frac{M}{2}\right)^{0.7*b*(T)} \quad (7)$$



II.2.7. Temps de retour

Le temps de retour se définit comme étant la période statistique qu'une averse importante mettra avant de se reproduire. Le dimensionnement judicieux d'un ouvrage prend en compte la périodicité de ces événements. Pour notre projet nous avons choisi en incluant tous les paramètres du projet de prendre un temps de retour de dix (10) ans.

II.3. Délimitation des bassins versants et calcul des débits projets

II.3.1. Délimitation des bassins versants

Un bassin versant correspond à une zone géographique où toutes les eaux de ruissellement sont recueillies et acheminées vers un même point de sortie, généralement un cours d'eau principal et ses affluents. En milieu urbain, ces bassins versants sont souvent de taille réduite et leur configuration naturelle est fréquemment modifiée par les aménagements humains tels que les routes, les bâtiments ou les remblais. Ces modifications peuvent influencer la manière dont l'eau s'écoule, entraînant parfois des variations dans le ruissellement et les débits d'eau. Pour cette étude, la délimitation des bassins versants a été effectuée à l'aide des outils cartographiques Global Mapper et Google Earth, qui permettent d'analyser le relief et les infrastructures existantes afin d'identifier les zones de collecte et les directions d'écoulement des eaux de surface. Cette méthode, bien que moins précise qu'une délimitation sur le terrain, offre une bonne approximation pour les besoins du projet.



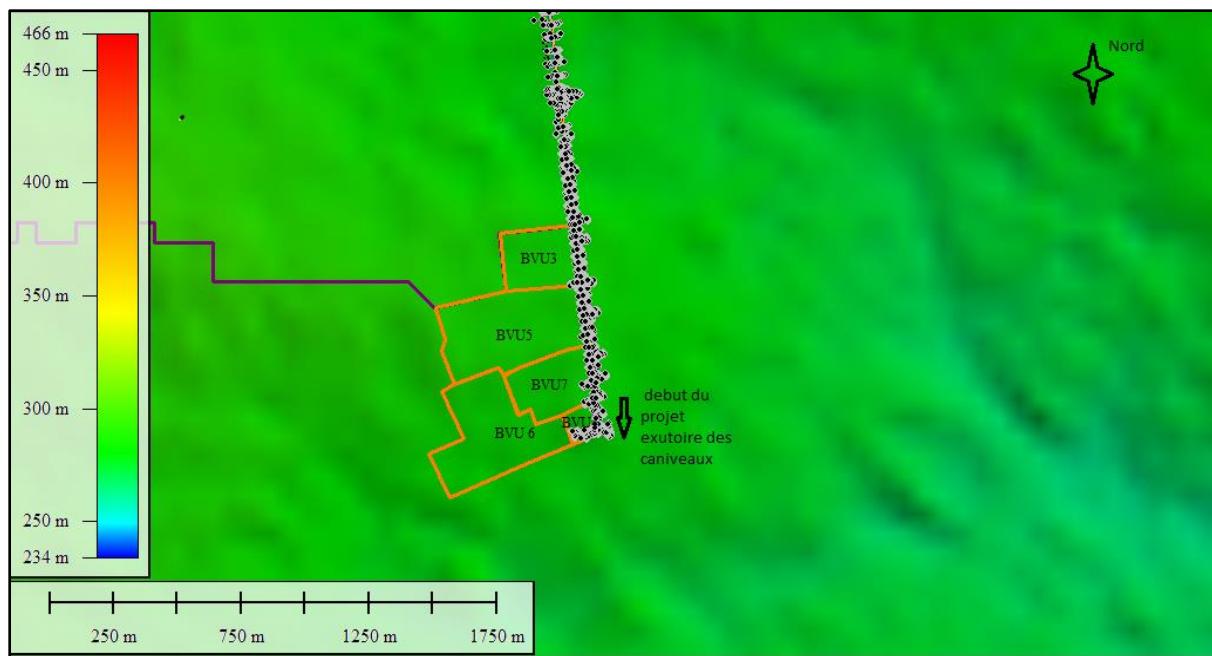


Figure 9: Bassins versants urbains

Source : TANKOANO Auguste, 2024.

Au terme de notre délimitation nous avons dénombré 05 bassins versants urbains avec neuf (02) caniveaux pour en collecter les eaux.

II.3.2. Assemblage des bassins versants

L’assemblage des bassins versants consiste à regrouper plusieurs bassins selon la direction d’écoulement des eaux. On distingue deux types d’assemblage : en série et en parallèle. L’assemblage en série se produit lorsque deux bassins versants adjacents ont le même sens d’écoulement et partagent un même exutoire, c’est-à-dire que leurs eaux convergent vers une même sortie. En revanche, l’assemblage en parallèle concerne deux bassins voisins qui ont des exutoires différents, ce qui signifie que leurs eaux s’écoulent vers des points de sorties distincts.

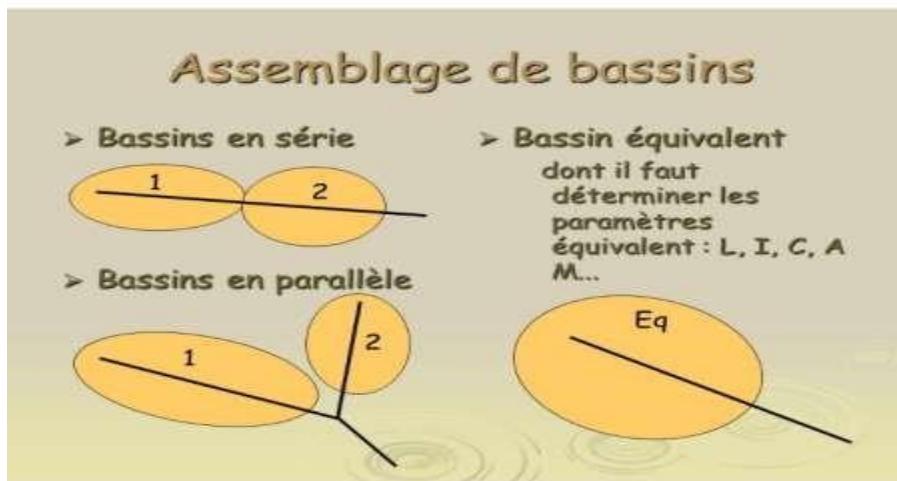


Figure 10: Les assemblages des bassins versants

II.3.3. Calcul des débits projets

La délimitation des bassins versants suivi de l'évaluation de leurs caractéristiques hydrologiques permet ensuite la détermination du débit de projet pour chaque bassin. Selon la méthode de Caquot le débit projet s'obtient par la formule :

$$Q(T) = \frac{1000a}{9(1.1)^b} \times C^{1.16} \times I^{\frac{3b}{8}} \times A^{0.95-0.2b} \times \left(\frac{L}{2A^{0.5}}\right)^{-0.6b} \quad (7)$$

Avec :

a et b sont des coefficients de Montana (pour la ville de Boromo a (10ans)=10 et b (10ans)=0.4

Q(T)= la crue de durée de retour T (m³/s) ;

C : Le coefficient de ruissellement compris entre 0 et 1 ;

I : Pente moyenne du réseau sur le plus long chemin hydraulique (m/m) ;

A : la superficie du bassin versant (Ha) ;

L : la longueur du plus long chemin hydraulique (Km) (6)

II.4. La méthode de Caquot

La méthode de Caquot est une approche utilisée en hydrologie pour estimer les débits des bassins versants situés en milieu urbain. Elle est particulièrement adaptée aux bassins de moins de 400 hectares.

Dérivée de la méthode rationnelle, la méthode de Caquot tient compte à la fois de la capacité de stockage du réseau et du temps de concentration, qui dépend du débit à évacuer. Elle offre

ainsi une estimation plus précise des débits en contexte urbain, où les écoulements sont influencés par les aménagements artificiels.

Tableau 14: Tableau récapitulatif des débits équivalents

Caniveaux	Qqn (m ³ /s)
C1	2,5594741
C2	2,06510773

II.5. Etude hydraulique

II.5.1. Dimensionnement hydraulique des caniveaux

Les caniveaux sont des ouvrages hydrauliques en béton armé ou en pierraille maçonné (en fonction de la disponibilité des matériaux) dont la fonction est le drainage des eaux de pluie. Le dimensionnement des caniveaux se font à partir de la formule de Manning-Strickler

$$Q = K_s * S * R^{2/3} * h^{1/2}$$

(8) Q: debit maximal en m³/s

K_s : Coefficient de rugosité de Manning

S : Section d'écoulement (S=b*y en m²)

RH : Rayon hydraulique (en m)

i : Pente longitudinal du fond du canal

B et y représente respectivement la largeur et la hauteur du caniveau

Les caniveaux de ce projet sont en béton armé de forme carrés et de sections variant en fonction des débits.

Les caniveaux seront partiellement recouverts et des dalots seront utilisés pour faire des raccordements et au niveau des franchissements des rues.

II.5.2. Dimensionnement hydraulique des dalots

Placé au niveau des franchissements de rue et sous la chaussée les dalots sont des ouvrages d'art sur lesquels des véhicules poids lourds peuvent passés.

Les dalots qui ont été dimensionnés sont des dalots latéraux et reprennent les eaux des caniveaux par souci de mise en œuvre et pour un bon écoulement leur sections seront celles des caniveaux dont ils collectent les eaux.

Tableau 15:récapitulatif des dimensions des caniveaux

	H (cm)	B (cm)

Caniveau C1	120	120
Caniveau C2	120	120

Tableau 16: récapitulatifs des dimensions ouvrages de franchissements transversaux

	H (cm)	B(cm)
Dalots sur caniveau 1	120	120
Dalots sur caniveau 2	120	120

Le dimensionnement rationner des ouvrages hydrauliques de drainage et d'assainissement des eaux revêt une importance capitale pour l'accessibilité de la zone touchée par le projet et pour la viabilité de la route. Cette étude c'est appuyé sur des méthodes utilisées depuis de nombreuses années et qui ont déjà fait leurs preuves.

III. Détermination du débit en rase campagne

En rase campagne l'on utilise les méthodes ORSTOM et CIEH car ces méthodes sont plus adaptées aux grands bassins versants et même pour les bassins versants de plus 1500 hectares pour la méthode CIEH

III.1. Paramètres hydrauliques pour la méthode ORSTOM

La méthode de détermination du débit par la méthode ORSTOM est obtenue par la formule,

$$Q_{10} = Q_{10} \times M$$

$$Q_{r10} = m \times A \times P_{m10} \times K_{r10} \times \alpha_{10} \times \frac{S}{Tb_{10}}$$

III.1.1. Coefficient d'abattement

Ce coefficient est déterminé par la formule simplifiée de Villaume dont l'expression est

$$A = \left[1 - \frac{(161 - 0.042 \cdot pan)}{1000} \cdot \log S \right] (8)$$

Ce coefficient permet de convertir une hauteur de précipitation moyenne sur un bassin versant en hauteur de précipitation ponctuelle.

III.1.2. Hauteur de la pluie journalière décennale P10

C'est la hauteur d'averse décennale. Elle est déterminée à partir d'un ajustement statistique fait sur les observations d'un poste de référence dans ce cas, c'est la station météorologique de la ville de Boromo.

III.1.3. Coefficient de ruissellement correspond à la pluie décennale : Kr10m

Ce coefficient permet de caractériser le ruissellement, il est déterminé en fonction de la surface des bassins versants, de la classe d'infiltration et de l'indice global de pente.

III.1.4. Coefficient de pointe α_{10}

C'est le coefficient de pointe correspondant à la crue décennale, c'est le rapport maximum au début moyen, $\alpha_{10} = Qr10/Qmr10$

III.1.5. Surface

C'est la surface délimitée à l'aide des logiciels de Google earth et global mapper.

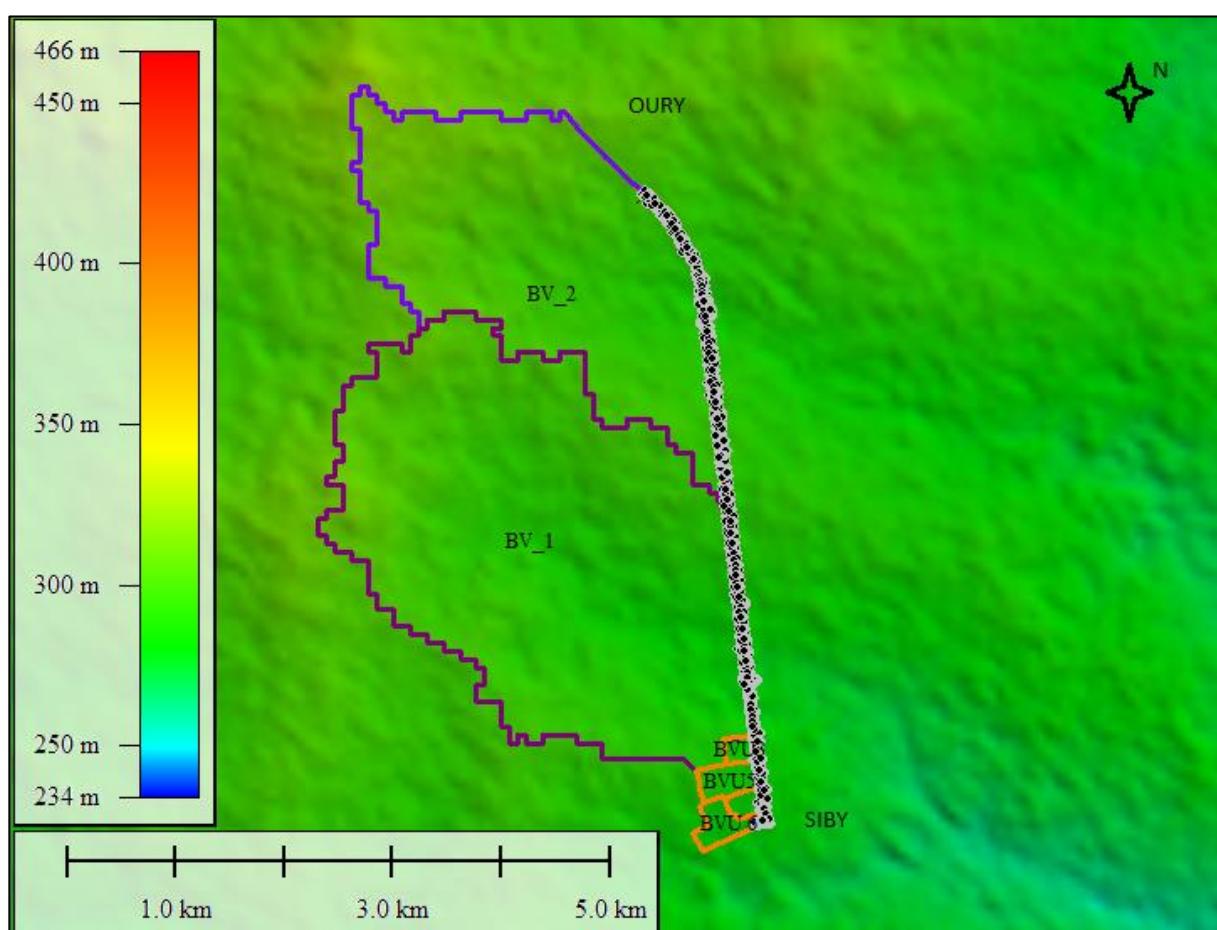


Figure 11:bassins versant en rase campagne

Source : TANKOANO Auguste, 2025.

III.1.6. Temps de base tb10

C'est un paramètre déterminé par interpolation à l'aide de paramètres recueillis sur le guide du BCEOM.

La méthode CIEH

La méthode CIEH emploie les données d'entrées que la méthode ORSTOM

III.2. Résultats du calcul du débit

Tableau 17: récapitulatif des valeurs d'entrée de la méthode ORSTOM

Bassin versant	$S(Km^2)$	$P_{10}(mm)$	Pan (mm)	Pm10 (mm)	Kr10	Tb10(s)	QORSTOM (m^3/S)	QCIEH (m^3/S)
Bv1	10.837	100	862	0.87	31.32	50752,403	94,4849434	36,9592669
Bv2	6.516			0.89	31.62	4246542	63,5407595	X

Pour la suite du dimensionnement il sera considéré la valeur de la méthode ORSTOM car cette méthode tient compte de la pluviométrie d'une part et d'autre part parce que les débits déterminés par la méthode ORSTOM sont plus grands que ceux de la méthode CIEH.

III.3. Dimensionnement Hydraulique des Dalots

Le dimensionnement des dalots se fera en sortie libre, cela veut dire que les dalots seront dimensionnés de sorte à ce que leur hauteur d'eau à l'aval soit inférieure à leur bord supérieur. Ceci en évitant qu'il n'y ait des ressauts hydrauliques au voisinage de notre ouvrage.

III.3.1. Méthodologie de dimensionnement des dalots

La méthode utilisée a été tirée du BCEOM, les hypothèses qui ont été utilisées sont :

- ✓ La vitesse d'écoulement doit être inférieure à $3m^3/s$
- ✓ L'écoulement est considéré à surface libre
- ✓ Les murs en feront un angle 30° avec l'axe
- ✓ Les dalots sont sortis libres

Le dimensionnement hydraulique a permis d'obtenir les ouvrages dont quelques-unes des sections sont reprise dans ce tableau

Tableau 18: récapitulatif des dimensions des dalots

Bassin versants	N° de l'ouvrage	Nombre de cellules	Hauteur du dalot (cm)	Largeur de la cellule (cm)	Vitesse de sortie
Bv_1	OH1	1	120	150	1.32
Bv_1	OH2	2	200	250	2.09
Bv_1	OH3	1	150	250	2.83
Bv_2	OH9	1	200	250	1.68
Bv_2	OH10	2	200	250	2.022
Bv_2	OH11	2	200	250	2.022

III.3.2. Dimensionnement structurel des ouvrages

III.3.2.1. Normes pour la conception structurelle

Les calculs répondront aux prescriptions et aux recommandations des ouvrages suivants :

- ✓ BAEL91 modifié en 99(9) ;
- ✓ Guide de conception des Ponts – cadres et portiques (SETRA) ;
- ✓ Fascicule 61 (titre II), Conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art(10) ;
- ✓ Fascicule 62 (titre V) Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages de génie civil(11).

III.3.2.2. Hypothèses de calcul

Le béton est un matériau composite constitué d'un mélange de ciment, d'agrégats et d'eau, renforcé par des armatures en acier. Ce dernier compense la faible résistance du béton à la traction. C'est pourquoi, lors du dimensionnement des ouvrages, il est essentiel de prendre en compte les propriétés à la fois du béton, de l'acier, ainsi que celles du sol support qui accueillera les structures hydrauliques.

- Le sol support

Étant donné que les dalots sont des ouvrages à faible portée, ils ne sont généralement pas susceptibles de poser des problèmes majeurs d'ordre géotechnique. Ainsi, il sera considéré que les dalots seront implantés sur un sol porteur adéquat.

- en sable dense avec un ϵ_{sol} égale a 150 Mpa.
- ayant un poids volumique du sol de $\gamma=20kN/m^3$
- ayant une contrainte admissible du sol égale à 15000 kpa
- ayant un coefficient de poussée des terres de 0.33.

➤ Pour le béton

Il est courant de faire usage d'un béton de classe B25 dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Résistance à la compression a 28 jours $fc28 = 25 \text{ Mpa}$;
- Résistance à la traction a 28 jours $ft28 = 21 \text{ Mpa}$;
- Module d'élasticité instantané : $Ei=11000 fc28 / 3$;
- Module d'élasticité différé $Ev= Ei/3$

➤ Pour les aciers

- Type d'acier : HA (Haute Adhérence) ;
- Nuance FeE400 ;
- Enrobage $e= 3\text{cm}$ car le milieu n'est pas agressif conformément aux recommandations du BAEL ;
- Le coefficient de sécurité majorant de 15% les charges $\gamma_s=1.15$;
- Le coefficient d'adhérence $\eta= 1.6$
- La contrainte limite des aciers a l'ELS : $\sigma = \min \left\{ \frac{2}{3}Fe ; \max \left(\frac{1}{2}Fe ; 110\sqrt{\eta F_t} \right) \right\} = 201.63 \text{ Mpa}$

➤ La pondération des charges

Le tableau ci-dessous reprend l'ensemble des coefficients de pondération qui sont affectés aux charges pendant la décente de charges.

Tableau 19: Tableau des charges, surcharges et des coefficients de pondérations

Type de Charges	Coefficients de pondération	
	ELS	ELU
Charges Permanentes	1.0	1.35

Charges d'exploitation	1.2	1.5
Surcharges de types A	1.2	1.61
Surcharges de types Bc	1.2	1.61
Surcharges de types BcNiger	1.2	1.61
Surcharges de types Bt	1.2	1.61
Surcharges de types Mc120	1.0	1.35

IV. Calcul des sections d'armatures

Dans le cadre de la rédaction de ce rapport, l'ouvrage hydraulique OH 1 a été dimensionné au logiciel Cype cad 2017. Ce dimensionnement a permis d'obtenir la section d'acier retranscrite dans le tableau ci-dessous (voir détail en annexe) :

Tableau 20 :Tableau des sections d'acières

Position	Aciers principaux		Aciers repartitions	
	Diamètres	Esp (cm)	Diamètres	Esp (cm)
Radier	HA14	20	HA10	20
Pied droit	HA14	20	HA10	20
Tablier	HA14	20	HA10	20

CHAPITRE 5 : AMENAGEMENT ET SECURITE, IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET ESTIMATION DU PROJET

À la fin du projet, les usagers qui emprunteront la route nouvellement construite pourront bénéficier d'une circulation confortable et relativement sécurisée, de jour comme de nuit, dans un environnement préservé et peu impacté par les travaux. Ce chapitre vise à répondre à ces attentes en abordant à la fois les aspects liés au confort et à la sécurité des usagers, ainsi qu'à l'estimation financière du coût total du projet.

I. Aménagement et Sécurité

La sécurité de l'usager ainsi que son confort est l'une des préoccupations de tout projeteur au cours de la conception d'une route, cette préoccupation est aussi reprise par le guide de référence pour la conception de la route inter urbaine ARP.

I.1. Aménagement

L'aménagement d'une voirie est l'ensemble des opérations menées dans l'objectif d'avoir un trafic fluide et d'informer l'usager de la route. Elle permet de faciliter l'insertion des usagers (amorce), de fluidifier la circulation, de ralentir l'usager (ralentisseur, panneaux de limitation de vitesse) etc. Ces opérations rendent la circulation plus agréable et la route plus fonctionnelle moins sujette à des accidents.

I.2. Sécurité

Sur le plan de la sécurité des usagers la principale préoccupation du projeteur est d'éviter ou d'atténuer le risque d'accident par un aménagement adéquat.

Les exigences de sécurité sur la voirie s'articulent principalement au tour :

- De la visibilité
- De la lisibilité
- De l'adéquation aux contraintes dynamiques de la chaussée
- De la possibilité de désistement et de la récupération
- Et de la limitation de la gravité des chocs

L'aménagement des voiries doit contribuer à rendre la route beaucoup plus sûre pour les usagers l'aménagement tels que :

- Des marquages sur chaussées
- L'érection de panneau de signalisation
- La construction d'amorce



Contribue à rendre la route plus sûre pour l'usager.

I.3. Signalisation

Le code de la route permet aux usagers sur la route de pouvoir circuler de manière sécuritaire. L'application de ce code, passe par une signalisation. Il existe deux types de signalisations routières que sont la signalisation verticale et la signalisation horizontale.

Cette signalisation a pour objectif de :

- Rendre la circulation routière plus sûre ;
- Faciliter la circulation ;
- D'indiquer ou de rappeler les prescriptions du code la route ;
- Donner des informations relatives à l'usage de la route.

La conception de la signalisation d'une route doit obéir à quelques règles que sont :

- L'homogénéité de la signalisation c'est-à-dire la cohérence entre la géométrie de la route et la signalisation ;
- Respecter les règles de circulation ;
- Eviter l'excès de signaux qui fatigue les usagers

I.3.1. Signalisation verticale

Cette signalisation transmet les informations aux moyens de panneaux implantés en bordure de route.

En fonction de leurs formes, leurs couleurs et leurs emplacements on distingue :

- Les panneaux de signalisation d'avertissement de danger ;
- Les panneaux de signalisation d'obligation ;
- Les panneaux de signalisation d'interdiction ou de restriction ;
- Les panneaux indiquant la rentrée et la sortie d'une agglomération ;

Tableau 21: récapitulatifs de la signalisation verticale

Panneau	Description
 A1b	A1b
 A13a	A13a
 AB4	AB4
 B33-30	B33-30
 B14-40	B14-40
 EB10	EB10
 EB20	EB20

I.3.2. La signalisation horizontale

Cette signalisation se matérialise par des marquages au sol, appliqués directement sur la chaussée, afin de signaler clairement certaines zones spécifiques. Il s'agit notamment de :

- Les marquages longitudinaux (ligne d'axe et de rive de chaussée)

- Les marquages transversaux (ligne complétant les panneaux de « stop », « céder le passage » et « ligne d’effet des feux » aux intersections).
- Les marquages des passages cloutés à l’approche des zones d’équipements socio collectifs.

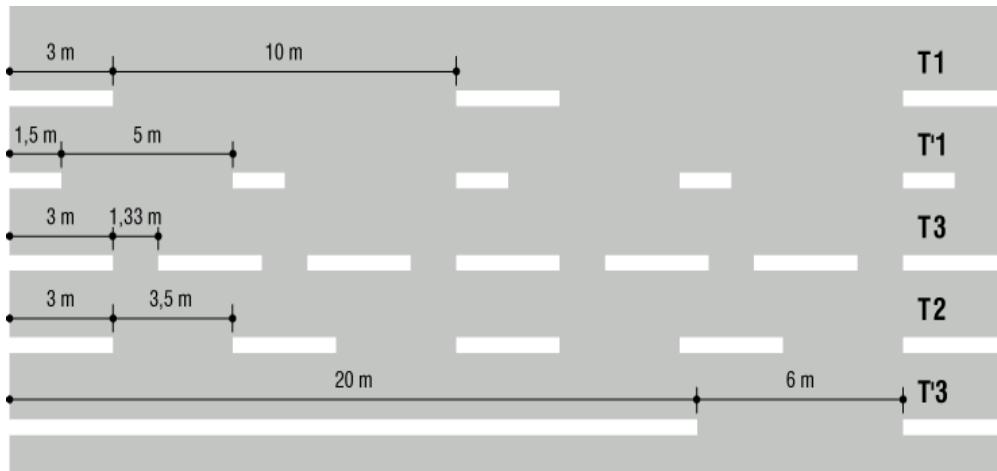


Figure 12:récapitulatif des types de traits de signalisation horizontale

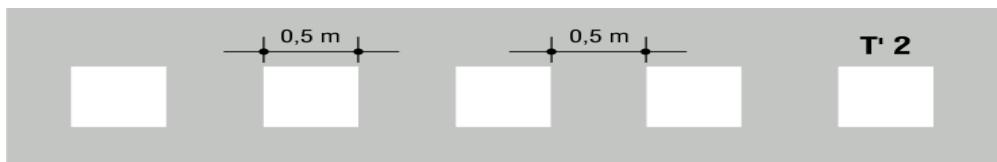


Figure 13:récapitulatif des types de traits de signalisation transversale

I.4. Eclairage public

L’éclairage public sur la voie a pour objectif de maintenir même de nuit une bonne visibilité aux usagers sans qu’ils aient besoin de la lumière de leur propre engin pour s’éclairer. Elle est aussi indispensable pour les piétons qui empruntent la route de nuits.

Les paramètres d’implantation des luminaires sur la voie publique sont :

- Une hauteur de luminaire variant entre 8 et 10 mètres et pouvant aller jusqu’ à 12 mètres pour les chaussées de grandes dimensions nous retiendrons 10 mètres
- Un espacement entre les luminaires qui varie 20 mètres et 35 mètres en fonction des voies

Les travaux d’éclairage public comprennent essentiellement :

- La réalisation des réseaux électriques
- La pose de transformateur et le raccordement de ceci aux réseaux

- La pose de candélas et de luminaires

L'éclairage de la voirie sera assuré par des consoles équipées des lanternes avec des lampes de type LED à alimentation par énergie solaire montées sur des candelas simples double et triples crosses.

Le choix du luminaire type LED à alimentation par énergie solaire s'est fait en raison de son d'exploitation qui est plus économique que ceux des luminaires avec des lampes à sodium.

I. Impact environnemental

I.1. Cadre législatif

Au Burkina Faso, les travaux susceptibles d'avoir un impact sur l'environnement sont régulés par le code de l'environnement et par la Loi n°006-2013/AN qui fixe un cadre légal précis.

Cette loi s'articule autour de cinq grands thèmes essentiels :

- La prévention et la maîtrise des impacts environnementaux : cela inclut la réalisation d'études d'impact environnemental, la gestion des risques et la mise en place de mesures d'atténuation pour limiter les effets négatifs des projets.
- La gestion durable des ressources naturelles : ce volet concerne la protection et la gestion responsable des forêts, de la faune, des sols et des ressources en eau.
- La protection de la santé publique et de l'environnement : il s'agit de réglementer la pollution, la gestion des déchets, ainsi que la qualité de l'air et de l'eau pour préserver la santé des populations.
- La participation et la sensibilisation des populations : ce thème vise à informer et à impliquer les communautés locales dans les décisions et actions relatives à la protection de l'environnement.
- L'organisation du cadre institutionnel et réglementaire : il définit les autorités chargées du contrôle, du suivi des projets et de l'application des sanctions en cas de non-respect des règles environnementales.

Ces dispositions permettent d'encadrer les travaux, comme ceux du projet routier étudié, afin de garantir la protection et la préservation de l'environnement au Burkina Faso.

I.1.1 Définition du périmètre de l'étude d'impact environnemental

Cette étude va concerter la phase des travaux allant de l'installation du chantier jusqu'à la fin des travaux, cette étude s'attachera donc à :

- Décrire l'environnement initiale à savoir l'environnement social, économique, la flore, la faune de l'environnement récepteur des travaux ;
- Décrire les modifications que ces travaux vont induire dans cet environnement ;
- Citer les impacts positifs et négatifs et à esquisser des mesures de bonifications ou d'atténuation le cas échéant.

I.1.2 Description de l'environnement du projet

D'après le recensement de 2019 la commune de Siby compte environs 18559 habitants et la commune de Oury 35946 habitants.

La commune rurale de Siby abrite un arrêt de la ligne de train de la Régis de train Abidjan Niger (RAN) ce qui en fait un important carrefour commercial.

Sur le plan social, les populations présentent dans la zone du projet sont composées de Ko, de Nounouma de Peuls, de Mossi, de Dafin de Gourounsi avec une forte proportion de personnes qui pratiquent la religion islamique.

Une immense majorité de la population pratique l'agriculture. On compte aussi dans cette population des éleveurs des commerçants et des orpailleurs.

I.1.3 Description de la faune et de la flore

Les terres environnant notre projet sont principalement utilisées pour les travaux champêtres de qui entraîne une faible présence du couvert végétal. On note néanmoins une présence d'une végétation ligneuse composé d'arbre fruitier et non fruitier. On note aussi la présence d'une végétation herbasse qui sert de pâturage au cheptel.

Quant à la faune, l'absence de parc et de réserve au voisinage de la zone du projet et surtout l'occupation par les travaux champêtres des terres voisines autres fois habitats des animaux sauvages ont fait fuir toute la faune local. Mais des reptiles (serpents, lézards) ont été observés par les populations local, des amphibiens (crapauds) pullulent dans les environs des passages d'eau.

II.2. Impact du projet sur l'environnement

Le déploiement de personnel et les travaux en eux même vont engendrer un certain nombre de modification de comportement au seins de la population qui peuvent être momentané (période des travaux) ou irrémédiable c'est-à-dire qui vont continuer à exister même après les travaux au nombres de ces conséquences nous avons celle dû à la présence de personnels étrangers a l'environnement récepteur , celle dû au modification de l'environnement (faune, flore).. L'identification et l'analyse des impacts d'un projet routier se fait selon une approche graduer comprenant :

- L'évaluation des aspects environnementaux concernés
- L'évaluation des retombés positifs et négatifs

L'étude environnementale va s'attacher à définir les enjeux écologiques, sociaux économiques et environnementaux. L'étude aura aussi pour objectif d'atténuer au maximum les impacts négatifs tout en cherchant à bonifier au plus les impacts positifs du projet.

II.3. Impacts positifs

Les impacts positifs justifiant ce projet sont nombreux et nous pouvons citer :

- Une meilleure accessibilité de la zone surtout en saison pluvieuse
- Plus de confort de sécurité de rapidité pour les usagers stimulant les échanges de bien et de service dans la région
- L'embauche de personnels temporaire pour les travaux
- Un environnement favorisant l'implantation de nouvelles activités économiques

II.4. Impacts négatifs

Au nombre des impacts négatifs nous pouvons citer :

- La formation de poussière et d'émission de gazeuses provenant des engins pendant la durée des travaux ;
- Une augmentation localisée des nuisances sonores ;
- Une pollution des sols par rejet d'hydrocarbures ;
- La destruction de la végétation ligneuse par abattage des arbres existants sur l'emprise ;
- Un risque plus accru d'accident pour les riverains ;
- Une difficile accessibilité de la zone des travaux.

II.5. Mesures d'atténuation

Face à l'ensemble des impacts négatifs des mesures d'atténuation peuvent être proposées afin de réduire l'effet de ses nuisances. Parmi ces mesures on a :

- Pour la pollution de l'air : un arrosage est recommandé pour éviter la formation de poussière ;
- Nuisances sonores : définir un plan de circulation afin diminuer les déplacements hors emprises et les déplacements inutiles ;
- Ressources en eau : limiter le rejet des eaux usées domestiques issus du chantier ;
- Sols et zones d'emprunt : les terrains et les sols affectés doivent bénéficier d'une remise en état ;
- Problème de sécurité : une sensibilisation des riverains et des usagers au travers d'une campagne de sensibilisation aux dangers des chantiers ainsi qu'au fonctionnement des différents ouvrages surtout en zone urbaine ;
- Une compensation de la végétation détruite : réaliser une plantation d'arbres.

Tableau 22: Tableau récapitulatif de la description des impacts

	Risque	Etat	mesures
présence de travailleur	Risque de propagation d'IST	Négatif	sensibilisation aux IST
	Risque de conflit travailleur-autochtone	négatif	Sensibilisation des communautés
	Augmentation de la fréquentation du débit de boisson	négatif	circonscrire les espaces récréatifs
	augmentation du besoin en denrée de tout genre	positif	appuyer les commerces pour les aider à répondre à la demande
risque dû aux travaux	pollution de l'air par la poussière	négatif	arrosage régulier
	pollution des sols par les huiles	négatif	aménagement de parking et d'aire d'entretien
	Nuisances sonores	négatif	limiter le déplacement hors emprises et les travaux hors emprises
	Augmentation du nombre d'accidents	négatif	Pose de ralentisseur, Pose de signalisation de chantier
Flore	destruction du couvert végétal ligneux par abattage des arbres	négatif	reboisement
faune	redéfinition du sens d'écoulement des eaux ce qui va détruire potentiellement l'habitat des amphibiens	négatif	repopulation
	risque de voir de nombreux reptiles être tués	négatif	sensibilisation

Social et environnementale	embauche de personnels pour les travaux	positif	
	Meilleur accessibilité de la zone du projet	positif	
	fluidification du trafic	positif	
	augmentation de l'attractivité économique de la zone	positif	

III. Estimation du projet

L'évaluation du coût de ce projet constitue le dernier point abordé dans ce rapport. Elle vise à estimer les quantités des produits finis, semi-finis, ainsi que le temps requis pour l'exécution complète des travaux.

Le devis quantitatif sera établi en tenant compte des éléments suivants :

- Les travaux préparatoires et les terrassements généraux
- Le calcul des matériaux nécessaire à la réalisation des différentes couches de chaussée
- Le calcul des matériaux nécessaire pour la réalisation des ouvrages d'assainissement

Le devis estimatif se fera en utilisant les quantités trouvées dans l'avant métré.

III.1. Définition de postes de travaux

L'organisation des chantiers s'articule autour de poste de travaux qui ont été au préalable quantifié. Ces postes de travaux sont les suivants :

- Les travaux préparatoires et les terrassements généraux ;
- La chaussée ;
- Le revêtement ;
- L'assainissement ;
- La sécurité signalisation ;
- La réservation et confortation des réseaux divers ;
- Les mesures sociales et environnementales.

II.2. Tableau récapitulatif des postes de travaux

Les postes de travaux sont constitués d'ouvrages élémentaires dont le détail se retrouve dans le tableau ci-dessus :

Tableau 23:Tableau des ouvrages élémentaires

POSTE	DESIGNATION	OUVRAGES ELEMENTAIRES
000	Installation et replis	Identification du site base vie et base technique Construction de clôture et baraquement Construction d'aire de parking, de préfabrication Transport et parcage d'engins lourds et de véhicule léger de terrassement Transport et mise en place de centrale à béton
100	Démolition	Identification des ouvrages à démolir Démolition des ouvrages à la masse ou au marteau piqueur Evacuation des gravas
200	Préparation du terrain	Nettoyage de l'emprise Abatage des arbres présent sur l'emprise Mise en place de la signalisation temporaire
300	Terrassement généraux	Décaissement des couches de surface Implantation de l'axe Mise en œuvre du remblai de la plateforme
400	Chaussée	Mise en œuvre de la couche de fondation Mise en œuvre de la couche de base
500	Revêtement	Mise en œuvre du revêtement en matériaux bitumineux Mise en œuvre du pavage
600	Ouvrage d'assainissement	Construction des dalots Construction des caniveaux
700	Sécurité signalisation éclairage	Mise en place des candelas Mise en place des panneaux de signalisation Mise en place de ralentisseur

800	Mesures d'impact environnementales et social	Opération de sensibilisation aux IST Opération de sensibilisation des populations au risque de la route opération de reboisement
-----	---	--

Les prix des postes de travaux ont été déterminés après avoir calculé les quantités des différents ouvrages élémentaires, et avoir appliqué les prix unitaires tiré de la mercuriale des prix en vigueur au Burkina Faso.

Tableau 24: Tableau de la détermination de quelques prix d'ouvrages élémentaires

N	Désignation	NPS	Longueur(m)	Largeur (m)	H/Pr/Ep(m)	Quantité (m ³)	Prix unitaire	Prix total(FCFA)
100	Travaux de chaussée							
101	Couche de fondation	1	5980	20	0.25	29900	7345	219615500
102	couche de base	1	5980	20	0.25	29900	21500	642850000
200	Travaux de revêtement							
201	revêtement en zone urbaine	1	1000	20	0.05	1000	137765	137765000
202	revêtement en rase campagne	1	4980	17	0.05	4233	137765	583159245
300	Assainissement							
301	caniveau C1	1	900	3.3	0.25	742.5	150000	111375000
302	dallette C1	1	900	0.9	0.25	202.5	150000	30375000
303	Dalots 120x120	10	10	4.2	0.25	105	150000	15750000
304	dalots 2x250x250	1	20	11	0.25	55	150000	8250000

TABLEAU RECAPITULATIF DES POSTES DE TRAVAUX

Cis dessous vous retrouverez le tableau récapitulatif des postes de travaux ainsi que leur estimation financière.



Tableau 25: Tableau récapitulatifs des postes de travaux

POSTE	DESIGNATION	PRIX
000	Installation et replis	225 900 000,00
100	Démolition	3 322 200,00
200	Préparation du terrain	3 254 845,00
300	Terrassement généraux	1 549 120 165,00
400	Chaussée	762 485 830,00
500	Revêtement	470 129 000,00
600	Ouvrage d'assainissement	686 629 050,00
700	Sécurité signalisation éclairage	187 900 000,00
800	Mesures d'impact environnementales et social	240 806 250,00
Total GENERAL HTVA		4 129 547 340,00
Taux de TVA (18%)		743 318 521,00
Montant total ttc		4 872 865 861,00
Prix du kilomètre de route		814 860 512

Notre projet a un cout supérieur à la normal qui est comprise entre 350 et 500 millions de francs CFA. Cela est la conséquence de choix technique sont :

- Une route en remblais : il a été choisi de mettre la route en remblais pour la maintenir hors d'eau afin d'éviter la construction de fossé ce qui seraient revenus plus chère ;
- Une couche de base en gravier naturel amélioré au ciment : cela est dû à la nécessité de respecter la valeur maximale de la déflexion qui est de 40 mm 1/100 au Burkina Faso ;
- Un revêtement en béton bitumineux plutôt qu'un enduit superficiel, ce choix a été fait afin d'assurer une plus grande durabilité à la route.

Conclusion partielle



Cette étude à travers un aménagement aux normes a permis d'assurer le confort de l'usager et ceux dans un environnement amélioré par la construction d'une route respectant les normes environnementales en vigueur dans notre pays.

CONCLUSION GENERALE

Cette étude a consisté à réaliser, dans les règles de l'art et conformément aux directives des documents techniques relatifs aux travaux routiers interurbains, les tracés géométriques de la route, le dimensionnement de la chaussée, le dimensionnement des ouvrages hydrauliques ainsi que l'aménagement de la voie. L'ensemble de ces travaux a été effectué dans le respect de l'environnement et en veillant à garantir une évaluation financière raisonnable.

En se conformant aux exigences des TDR (Termes de Référence) et de l'ARP (Aménagement des Routes Principales), un tracé d'environ six (06) kilomètres a été défini, assurant un bon niveau de confort pour les usagers qui emprunteront cette route.

Le dimensionnement de la chaussée a été effectué sur la base des recommandations du guide pratique du CEBTP, puis vérifier à l'aide du logiciel ALIZE LCPC. Les résultats ont conduit à la définition suivante du corps de chaussée :

- une couche de revêtement de 5 cm en béton bitumineux,
- une couche de base de 25 cm en grave naturel amélioré au ciment,
- une couche de fondation également de 25 cm en grave naturel O/d.

L'étude hydraulique a permis, quant à elle, de prévoir l'assainissement de la zone urbaine à travers l'installation de deux caniveaux de dimensions $120 \times 120 \text{ cm}^2$, ainsi que la mise en place de 11 dalots aux dimensions variables allant de $1 \times 150 \times 150 \text{ cm}$ à $2 \times 150 \times 250 \text{ cm}$.

Par ailleurs, l'étude d'impact environnemental a permis d'identifier les principaux risques liés au projet et de proposer des mesures d'atténuation conformes à la législation en vigueur au Burkina Faso.

Sur le plan financier, l'évaluation a permis d'estimer le coût du projet à 4 872 865 861,00 F CFA TTC soit 814 860 512 le kilomètre. Ce montant est supérieur à la moyenne du prix du kilomètre indiqué par le ministère des infrastructures qui varie entre 350 et 500 millions. Cela peut être dû au revêtement en béton bitumineux, à la couche de base en grave latéritique améliorée au ciment et à la route qui a été réalisé en remblais sur tout le tronçon dans le but de la tenir hors d'eau.

Ce stage a permis à l'impétrant, grâce à un encadrement assuré par des professionnels expérimentés, d'acquérir une expérience concrète dans l'élaboration de projets de travaux publics. Il lui a également offert l'occasion de proposer des solutions techniques pertinentes face aux défis rencontrés tout au long du projet étudié.



Bibliographie

Ce document a été rédigé grâce à ces ouvrages et articles

1. TDR_Boromo-Safané-Lanfíera.pdf.
2. DONNEES PLUIES BOROMO.ods.
3. ARP. Aménagement des routes principales.pdf.
4. Guide_pratique_dimensionnement.pdf.
5. Apport et crue.pdf.
6. Apport et crue.pdf.
7. 03.Determination_debits_Reseaux_AP.pdf.
8. Hydraulique Routière BCEOM.pdf.
9. BAEL91r99.pdf.
10. Fascicule 61 Titre 2.pdf.
11. Fascicule 62 Titre 5.pdf.
12. Coeficients MONTANA.xlsx.
13. Hydraulique_A_Surface_Libre_Support_Presentiel_v1.7.1.pdf.



Annexe 1 : Axe en plan de la route étudier

Tableau annexe 1: Récapitulatif des points implantés pour constituer l'axe de la route

ELEMENT	CARACTERISTIQUES DES ELEMENTS	LONGUEUR	ABSCISSE	Z
			0.000	306.000
D1	PENTE= -0.667 %	28.625		
			28.625	305.809
PAR1	S= 35.2922 Z= 305.7869			
	R = 1000.00	17.719		
			46.345	305.848
D2	PENTE= 1.105 %	6.432		
			52.777	305.919
PAR2	S= 163.3031 Z= 306.5299			
	R = -10000.00	41.637		
			94.414	306.293
D4	PENTE= 0.689 %	13.223		
			107.637	306.384
PAR3	S= 97.3034 Z= 306.3481			
	R = 1500.00	4.973		
			112.610	306.426
D5	PENTE= 1.020 %	47.598		
			160.207	306.912
PAR5	S= 180.6154 Z= 307.0160			
	R = -2000.00	7.908		
			168.115	306.977
D6	PENTE= 0.625 %	5.888		
			174.003	307.014
PAR6	S= 186.5031 Z= 307.0528			
	R = -2000.00	4.695		
			178.698	307.038

**ÉTUDE D'AVANT-PROJET DETAILLE POUR L'AMENAGEMENT ET LE BITUMAGE DE LA ROUTE BOROMO –
LANFIERA : CAS DU TRONÇON SIBY-OURY LONG DE 5,98 KILOMÈTRES AU BURKINA FASO**

D7	PENTE= 0.390 %	75.347		
			254.045	307.332
PAR7	S= 248.1914 Z= 307.3202			
	R = 1500.00	5.646		
			259.691	307.364
D8	PENTE= 0.767 %	45.451		
			305.143	307.713
PAR8	S= 328.1429 Z= 307.8009			
	R = -3000.00	14.000		
			319.143	307.787
D9	PENTE= 0.300 %	52.664		
			371.807	307.945
PAR9	S= 377.8071 Z= 307.9544			
	R = -2000.00	6.276		
			378.083	307.954
D10	PENTE= -0.014 %	192.171		
			570.254	307.928
PAR10	S= 570.0469 Z= 307.9279			
	R = -1500.00	9.168		
			579.422	307.899
D11	PENTE= -0.625 %	235.709		
			815.131	306.425
PAR11	S= 877.6310 Z= 306.2301			
	R = 10000.00	29.167		
			844.298	306.286
D12	PENTE= -0.333 %	232.497		
			1076.795	305.511
PAR12	S= 1110.1282 Z= 305.4551			
	R = 10000.00	6.410		
			1083.205	305.491
D13	PENTE= -0.269 %	344.443		

**ÉTUDE D'AVANT-PROJET DETAILLE POUR L'AMENAGEMENT ET LE BITUMAGE DE LA ROUTE BOROMO –
LANFIERA : CAS DU TRONÇON SIBY-OURY LONG DE 5,98 KILOMÈTRES AU BURKINA FASO**

			1427.648	304.564
PAR13	S= 1441.1096 Z= 304.5459			
	R = 5000.00	64.766		
			1492.414	304.809
D14	PENTE= 1.026 %	1281.461		
			2773.875	317.958
PAR14	S= 2876.4840 Z= 318.4845			
	R = -10000.00	72.609		
			2846.484	318.439
D17	PENTE= 0.300 %	772.445		
			3618.929	320.757
PAR15	S= 3648.9286 Z= 320.8018			
	R = -10000.00	105.000		
			3723.929	320.521
D15	PENTE= -0.750 %	792.351		
			4516.280	314.578
PAR19	S= 4591.2800 Z= 314.2966			
	R = 10000.00	80.714		
			4596.994	314.298
D18	PENTE= 0.057 %	357.095		
			4954.089	314.502
PAR20	S= 4948.3751 Z= 314.5007			
	R = 10000.00	77.425		
			5031.515	314.846
D16	PENTE= 0.831 %	948.798		
			5980.313	322.735
LONGUEUR DE L'AXE 5980.313				



Mémoire de fin de cycle Master présenté par TANKOANO Auguste Frinceli, 2024-2025

Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Rue de la Science - 01 BP 594 Ouagadougou 01 -BURKINA FASO
Tél : +226 25 49 28 00 - E-mail : 2ie@2ie-edu.org

Annexe 2 : Hydrologie et Hydraulique

I. Détermination des paramètres Hydrologiques

À l'issue de la délimitation des bassins versants à l'aide des logiciels Google Earth et Global Mapper, des paramètres importants pour la caractérisation des bassins ont été déterminés. Ce sont :

- Les surfaces : exprimées en kilomètres carrés (km^2) et en hectares (ha).
- Les périmètres : exprimés en kilomètres (km).
- La pente : qui est le rapport entre la différence entre l'altitude la plus haute et l'altitude la plus basse, et la longueur de l'écoulement.
- La longueur du plus long écoulement : c'est la distance parcourue par la goutte d'eau qui, tombant sur le bassin versant, mettra le plus de temps à atteindre l'exutoire.
- Le rectangle équivalent : c'est le rectangle qui a la même superficie que le bassin versant considéré. Il se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$L_{\text{éq}} = S^{1/2} \times \left(\frac{I_{\text{comp}}}{1.128} \right) \times \left[1 + \left(1 - \left(\frac{1.128}{I_{\text{comp}}} \right)^2 \right)^{1/2} \right] \quad (8)$$

L'indice global des pentes (Ig) : Cet indice permet de caractériser la classe de relief d'un bassin versant. Il est obtenu par la formule suivante :

$$Ig = \Delta H / L$$

- ΔH : la dénivellation comprise entre 5 % et 95 % de la superficie.
- L : la longueur du rectangle équivalent, exprimée en kilomètres (Km).
- Ig : est exprimé en m/Km.

L'indice de compacité (Icomp) : Cet indice correspond au rapport du périmètre du bassin versant à celui d'un cercle ayant la même superficie. Sa formule est la suivante :

Icomp = 0,282 P.S-1/2

- P : le périmètre du bassin versant, en kilomètres (Km).
- S : la superficie du bassin, en kilomètres carrés (Km²).

II. Détermination de la pluie décennale

La détermination de la pluie décennale repose sur l'application d'une analyse fréquentielle des pluies journalières dans la zone d'étude. Cette méthode permet de modéliser les événements de précipitations afin d'estimer la probabilité d'occurrence de différents niveaux de précipitations sur une période donnée. Pour cette étude, la loi de Gumbel sera utilisée.

1. Hypothèses de l'analyse fréquentielle

Pour cette analyse, l'ingénieur a émis les hypothèses suivantes :

- La série de données est stationnaire.
- Les données sont consistantes et représentatives.
- Les mesures reflètent les valeurs réelles.
- Les événements pluvieux sont indépendants les uns des autres.

L'étude a suivi les étapes suivantes :

- Les valeurs de pluie ont été numérotées selon un ordre croissant, de 1 à n.
- Les fréquences expérimentales ont été calculées à l'aide de la formule de Hazen : $F=Nr$ où r représente le rang et N le nombre total de données.
- Une synthèse numérique a été réalisée pour calculer des paramètres tels que la moyenne arithmétique, la variance, l'écart type et le coefficient de variation.
- Les quantiles ont été calculés.
- Les données ont été ajustées à l'aide de la loi de Gumbel.
- L'analyse s'est conclue par le calcul de l'intervalle de confiance (IC).

Cette analyse a été réalisée à l'aide du logiciel Hyfran Plus Complete.

Tableau annexe 2:récapitulatif des données pluviométriques de la zone du projet de 1980 à 2011(2)

Année	Pjmax
1980	69,2
1981	79,1
1982	44,8
1983	54,8
1984	47,6
1985	79,6
1986	53,6
1987	50,5
1988	70,6
1989	49
1990	36
1991	98,5
1992	54,6
1993	124
1994	89,6
1995	47,4

Année	Pjmax
1996	72
1997	82
1998	122,5
1999	119,1
2000	44,2
2001	63,3
2002	47,5
2003	77,7
2004	52,4
2005	55,9
2006	50,6
2007	66,4
2008	134
2009	48,4
2010	56,7
2011	105,1

Les résultats de l'analyse fréquentielle sur le logiciel INFRAN Plus Complete ont été consignés dans le tableau ci-dessous :

Tableau annexe 3: Résultats de l'analyse fréquentielle sur le logiciel INFRAN

T	q	XT	Standard	Confidence interval
10000.0	0.9999	230	26	180 - 280
2000.0	0.9995	200	21	160 - 240
1000.0	0.9990	190	20	150 - 230
200.0	0.9950	160	15	130 - 190
100.0	0.9900	140	14	120 - 170
50.0	0.9800	130	12	110 - 150
20.0	0.9500	110	9.5	95 - 130
10.0	0.9000	100	7.8	85 - 120
5.0	0.8000	86	6.0	74 - 98
3.0	0.6667	75	4.8	66 - 84
2.0	0.5000	65	3.9	57 - 72
1.4286	0.3000	54	3.4	48 - 61
1.2500	0.2000	49	3.3	42 - 56
1.1111	0.1000	42	3.5	35 - 49
1.0526	0.0500	37	3.8	30 - 45
1.0204	0.0200	32	4.2	24 - 41
1.0101	0.0100	29	4.5	20 - 38
1.0050	0.0050	27	4.7	17 - 36
1.0010	0.0010	22	5.3	11 - 32
1.0005	0.0005	20	5.5	9.1 - 31
1.0001	0.0001	16	5.9	4.7 - 28

Cette analyse permet de déterminer la hauteur de pluie pour un temps de retour de 10 ans (comme le montre la ligne rouge dans le tableau ci-dessus), qui est de 100 mm. Les résultats obtenus confirment que la loi de Gumbel est adaptée à cette analyse.

1. Détermination des paramètres des bassins versant urbains

La détermination des débits à évacuer par les ouvrages hydrauliques en zone urbaine se fait par la formule de Caquot.

$$Q_{brut} = k^{\frac{1}{u}} \times I^{\frac{v}{u}} \times C^{\frac{1}{u}} \times A^{\frac{w}{u}} \quad (7)$$

Ci-dessous se trouve le tableau récapitulatif des paramètres des bassins urbains obtenus après leur délimitation sur les logiciels Global Mapper et Google Earth.

Tableau annexe 4:récapitulatif des paramètres des bassins urbains obtenus après leur délimitation sur les logiciels Global Mapper et Google earth

BASSINS VERSANTS	Surface en km ²	Surface en Ha	Périmètre en km	Z MAX	Z MIN	DISTANCES	Pente
BV 3	0,066	6,6	1,035	287	284	371	0,00808625
BV 4	0,01434	1,434	0,489	283	281	161	0,01242236
BV5	0,1569	15,69	1,69	289	284	702	0,00712251
BV6	0,1421	14,21	1,854	286	280	393	0,01526718
BV7	0,0691	6,91	1,081	286	282	420	0,00952381

a) Détermination du débit bassin versant BV3

Dans la suite de cette annexe il sera déterminé le débit du Bassin versant numéro 3 cela permettra de décrire la procédure de calcul par la méthode de Caquot.

Données du Bassin versant :

Surface : 6,6 hectares

Périmètre : 1,035 km²

Pente : 0,00808625m/km

Longueur Hydraulique H = 3,371 mètres = 0,371 km

Le coefficient de ruissellement a été choisi en fonction de la pente du couvert végétal a partir du tableau suivant :



Nature de la couverture végétale	Valeur de C							
	Petits bassins de 0 à 10 ha présentant une pente de				Bassins moyens de 10 à 400 ha présentant une pente de			
	moins de 5 %	de 5 à 10 %	de 10 à 30 %	plus de 30 %	moins de 5 %	de 5 à 10 %	de 10 à 30 %	plus de 30 %
Places-formes et chaussées de routes ; cours	0,95	*	*	*	*	*	*	*
Terrains dénudés, ou à végétation non couvrante	0,80	0,85	0,90	0,95	0,70	0,75	0,80	0,85
Terrains déjà attaqués par l'érosion								
Labours frais								
Cultures couvrantes, céréales hautes	0,75	0,80	0,85	0,90	0,52	0,60	0,72	0,80
Terrains de parcours, chendent ras								
Petite brousse clairsemée								
Prairies	0,70	0,75	0,80	0,85	0,30	0,36	0,12	0,50
Brousse dense. Savane à sous-bois								
Forêt ordinaire en futaie. Sous-bois touffus	0,30	0,50	0,60	0,70	0,13	0,20	0,25	0,30
Grande forêt primaire	0,20	0,25	0,30	0,40	0,15	0,18	0,22	0,25

Figure annexe 1: Coefficient de ruissellement a été choisi en fonction de la pente du couvert végétal

Le coefficient de ruissellement du BV3 est de 0,8

Détermination du coefficient M

$$M = \frac{\text{Longueur Hydraulique en m}}{\sqrt{\text{surface en m}^2}} \quad (7)$$

$$\text{Ici } M = \frac{371}{\sqrt{66000}} = 0,56$$

Déterminons le « m » corrigé

Si $\neq 2$, il faut corriger M

$m = 0,8 \text{ si } M < 0,8 \quad (7) \text{ avec } m = \left(\frac{M}{2}\right)^{0,84 \frac{b(T)}{1-b}}$ avec b etant le coefficient de montant de la ville de Bobo, ici $b = 0,4(12)$

Les déterminants de la formule de Caquot correspondent aux différents paramètres intégrés dans cette formule. Ils sont définis à travers les expressions mathématiques suivantes :

Tableau annexe 5: Calcul des déterminants de la formule Caquot des bassins versant avant assemblage

Formules	Valeurs
$K = \frac{0,5^b \times a}{6,6} \quad (7)$	$K = 0,07575$
$U_t = 1 + 0,287b \quad (7)$	$U_t = 1,1145$
$V_t = -0,41b$	$V_t = -0,164$

$W_t = 0,95 + 0,507b(7)$	$W_t = 1,1528$
$\xi = 0,05(7)$	$\xi = 0,05$
	$F = -0,287(7)$
$U = 0,19 \times m^{0,84}(7)$	$U = 0,1575$
	$C = -0,41(7)$
	$d = 0,507(7)$

Ici, les coefficients de Montana retenus sont ceux de la ville de Bobo-Dioulasso, la plus proche de la localité. Ces coefficients sont : $a = 10$ et $b = 0,4$. D'après la formule de Caquot mentionnée dans le chapitre "Hydrologie et Hydraulique"

$$Q_{brut} = k^{\frac{1}{u}} \times I^{\frac{v}{u}} \times C^{\frac{1}{u}} \times A^{\frac{w}{u}}(7)$$

$$Q_{bv3} = \left(0,07575^{\left(\frac{1}{1,1148}\right)}\right) \times \left(0,00808625^{0,07575^{\left(\frac{-0,164}{1,1148}\right)}}\right) \times \left(0,8^{\left(\frac{1}{1,1148}\right)}\right) \times \left(6,6^{\left(\frac{1}{1,1148}\right)}\right)$$

$$Q_{bv3} = 1,16 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ci-dessous se trouve les paramètres la formule de Caquot

Tableau annexe 6: Paramètres la formule de Caquot

Coef de ruissellement	Lng Hydraulique	Lng H équivalente	M	m
0,8	371	1654	0,56212121	0,8
0,7	702	1283	0,44741874	0,8
0,8	420	581	0,60781476	0,8
0,7	161	161	1,12273361	1,12273361
0,7	393		0,2765658	0,8

b) Détermination des débits après l'assemblage

Il sera déterminé le débit de l'ensemble des bassins versants dont le débit sera évacué par le caniveau numéro 1.

Après assemblage, il a été déterminé que les bassins versants urbains BV3, BV5, BV7 et BV4 étaient connectés en série.

Détermination des paramètres équivalents :

- La surface équivalente

$$S_{eq} = Bv_3 + Bv_5 + Bv_7 + Bv_4$$

$$S_{eq} = 6,6 + 15,91 + 6,91 + 1,43 = 30,634 \text{ Ha}$$

- La pente équivalente

$$I_{eq} = \frac{(LH_{bv3} + LH_{bv5} + LH_{bv7} + LH_{bv4} + LH_{bv6})^2}{\left(\frac{LH_{bv3}}{\sqrt{I_3}}\right) + \left(\frac{LH_{bv5}}{\sqrt{I_5}}\right) + \left(\frac{LH_{bv7}}{\sqrt{I_7}}\right) + \left(\frac{LH_{bv4}}{\sqrt{I_4}}\right)^2}$$

$$I_{eq} = \frac{(371 + 702 + 420 + 161 + 393)^2}{\left(\frac{371}{\sqrt{0,008}}\right) + \left(\frac{702}{\sqrt{0,0071}}\right) + \left(\frac{420}{\sqrt{0,0095}}\right) + \left(\frac{161}{\sqrt{0,0124}}\right) + \left(\frac{393}{\sqrt{0,0153}}\right)^2}$$

$$I_{eq} = 0,01767$$

Coefficient de ruissellement équivalent

$$C_{eq} = \frac{C_3 \times A_3 + C_5 \times A_5 + C_7 \times A_7 + C_4 \times A_4}{A_3 + A_5 + A_7 + A_4}$$

$$C_{eq} = \frac{0,8 \times 6,6 + 0,7 \times 15,69 + 0,8 \times 6,91 + 1,434 \times 0,7}{6,6 + 15,69 + 6,91 + 1,434}$$

$$C_{eq} = 0,744103$$

Les coefficients de montana sont ceux de la ville de Bobo Dioulasso à savoir : a = 10 ; b=0,4

Les paramètres déterminants de la formule de caquot

Tableau annexe 7:Calcul des déterminants de la formule Caquot des bassins versant après assemblage

Expression du paramètre	Valeur calculée du paramètre
$\xi = 0,05$	0,05
$\beta + \delta = 1,4$	1,4
$F = -0,287$	-0,287
$U = 0,19 \times meq^{0,84}$	$= 0,19 \times 1,494^{0,84} = 0,2662271$
$C = -0,41$	-0,41
$d = 0,507$	$d = 0,507$
$U_t = 1 + 0,287b$	$U_t = 1,1145$
$V_t = -0,41b$	$V_t = -0,164$
$W_t = 0,95 + 0,507b$	$W_t = 1,1528$
$K = \frac{0,5^b \times a}{6,6}$	$K = 0,07575$

Détermination du Meq



Mémoire de fin de cycle Master présenté par TANKOANO Auguste Frinceli, 2024-2025

Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Rue de la Science - 01 BP 594 Ouagadougou 01 -BURKINA FASO

Tél : +226 25 49 28 00 - E-mail : 2ie@2ie-edu.org

$$Meq = \frac{\Sigma Lj}{\Sigma Aj} (7)$$

$$Meq = \frac{371 + 702 + 420 + 161}{6,6 + 15,69 + 6,91 + 1,434}$$

$$Meq = 2,99$$

Vue que Meq est différent de 2, il faudra une correction $meq = \frac{M^{(0,8 \times (\frac{0,4}{1-0,4 \times (-0,287)})}}{2} = 1,494$

$$meq = 1,494$$

$$Qj = 1,494$$

Les débits calculés dans les différents assemblages ont donné les résultats suivants

Tableau annexe 8: Débit dans les assemblages

BASSINS VERSANTS	ASSEMBLAGE	Qj
BV 3	BV3+BV5+BV7+BV4	1,15655013
BV5	BV3+BV5+BV7	2,5594741
BV7	BV3+BV5	1,18392399
BV 4	BV3	0,19866451

D'après les règles de choix des débits, si un débit équivalent est inférieur à débit maximal dans un assemblage, alors le débit de l'ensemble devient le débit maximal dans l'assemblage concerné.

Alors le débit de l'ensemble est $Q = 2,56 m^3/s$.

Tableau annexe 9: récapitulatif des assemblages qui a permis de déterminer la quantité d'eau évacuée à chaque nœud des caniveaux

Coef de montana		Paramètre déterminant le coefficient de Caquot										
a	b	E	$\beta+\delta$	F	U	C	d	u(T)	v(T)	w(T)	k(T)	Qj
10	0,4	0,05	1,4	-0,287	0,157524892	-0,41	0,507	1,1148	-0,164	1,1528	0,07575758	1,15655013
10	0,4	0,05	1,4	-0,287	0,157524892	-0,41	0,507	1,1148	-0,164	1,1528	0,07575758	2,5594741
10	0,4	0,05	1,4	-0,287	0,157524892	-0,41	0,507	1,1148	-0,164	1,1528	0,07575758	1,18392399
10	0,4	0,05	1,4	-0,287	0,209404519	-0,41	0,507	1,1148	-0,164	1,1528	0,07575758	0,19866451

10	0,4	0,05	1,4	-0,287	0,157524892	-0,41	0,507	1,1148	-0,164	1,1528	0,07575758	2,06510773
----	-----	------	-----	--------	-------------	-------	-------	--------	--------	--------	------------	------------

Tableau annexe 10: Débit des assemblages

BASSINS VERSANTS	ASSEMBLAGE	BV équivalent	Débits des Bassin assemblés
BV 3	BV3+BV5+BV7+BV4	BV1	2,5594741
BV5	BV3+BV5+BV7	BV2	2,5594741
BV7	BV3+BV5	BV3	1,18392399
BV 4	BV3	BV4	
BV6	BV1-BV6	BV6	2,06510773
		BV1	

Cet assemblage a permis de dénombrer 4 bassins versants en série (ici symbolisé par le +) et 2 Bassins versants en parallèles (ici symbolisé par le -).

2. Détermination des dimensions des caniveaux

Le dimensionnement des caniveaux s'est fait selon la méthode de la débitance et est consigné dans les tableaux ci-dessous :

Tableau annexe 11: Dimensionnement du caniveau 1 par la méthode de débitance

CANIVEAU C1							
M=0	h(m)	Q	ks	I ^{1/2}	b(m)	A	B
Ks=75	0,6	2,5594741	67	0,24390244	0,7	0,32878794	0,32489861
2,5594741	0,6	2,5594741	67	0,24390244	0,71	0,32878794	0,32884879
285	0,6	2,5594741	67	0,24390244	0,72	0,32878794	0,33278463
283	0,6	2,5594741	67	0,24390244	0,73	0,32878794	0,33670626
820	0,6	2,5594741	67	0,24390244	0,74	0,32878794	0,34061383
	0,6	2,5594741	67	0,24390244	0,75	0,32878794	0,34450749
	0,6	2,5594741	67	0,24390244	0,76	0,32878794	0,34838738
				Revanche	0,405183061		
				Revanche choisi	0,5		
				Choix de section	120x120 Cm ²		

Tableau annexe 12: Dimensionnement du caniveau 2 par la méthode de débitance



CANIVEAU C2							
M=0	h(m)	Q	ks	I ^{1/2} (1/2)	b(m)	A	B
Ks=75	0,6	2,06510773	67	0,144	0,7	0,39655484	0,32489861
2,06510773	0,6	2,06510773	67	0,144	0,8	0,39655484	0,36377198
281,5	0,6	2,06510773	67	0,144	0,85	0,39655484	0,38270896
280,6	0,6	2,06510773	67	0,144	0,86	0,39655484	0,38645846
625	0,6	2,06510773	67	0,144	0,87	0,39655484	0,3901956
	0,6	2,06510773	67	0,144	0,88	0,39655484	0,39392051
	0,6	2,06510773	67	0,144	0,89	0,39655484	0,3976333
				Revanche	0,391017063		
				Revanche choisi	0,5		
				Choix de section	120x120 Cm ²		

III. Détermination des débits en rase campagne

1. La Méthode ORSTOM

La détermination des débits en rase campagne a été réalisée à l'aide de la méthode ORSTOM. Ce choix s'explique, d'une part, par le fait que les deux bassins versants répondent aux critères requis par cette méthode et, d'autre part, par sa fiabilité supérieure à celle de la méthode statistique du CIEH.

Dans le cadre de cette étude, seuls les bassins 1 et 2 remplissent les conditions d'application de la méthode ORSTOM. Étant donné que l'approche est identique pour les deux, la détermination ne sera présentée en détail que pour le bassin versant 1, afin d'éviter toute redondance.

Conformément à la méthode ORSTOM, le débit décennal Q10 sera ensuite calculé.

- Détermination des caractéristiques physiques

Ces données ont été obtenues via les logiciels global mapper et google earth.

Surface: 10,837 Km²

Périmètre: 18,215 Km

Pente; 0,7215 %

- Détermination de l'indice de compacité Icomp :

$$Icomp = 0,282 \times \frac{P}{S^{1/2}}(8)$$

$$AN: Icomp = 0,282 \times \frac{18,215}{(10,837)^{1/2}} = 1,56$$

- Détermination de la longueur du rectangle équivalent

$$Leq = S^{\left(\frac{1}{2}\right)} \times \left(\frac{I_{comp}}{1,128}\right) \times \left(1 + \left(1 - \left(\frac{1,128}{I_{comp}}\right)^2\right)^{\left(\frac{1}{2}\right)}\right) \quad (8)$$

$$AN: Leq = \left(10,8837^{\left(\frac{1}{2}\right)} \times \left(\frac{1,56}{1,128}\right)\right) \times \left(1 + \left(1 - \left(\frac{1,128}{1,56}\right)^2\right)^{\left(\frac{1}{2}\right)}\right)$$

$$Leq = 5,53$$

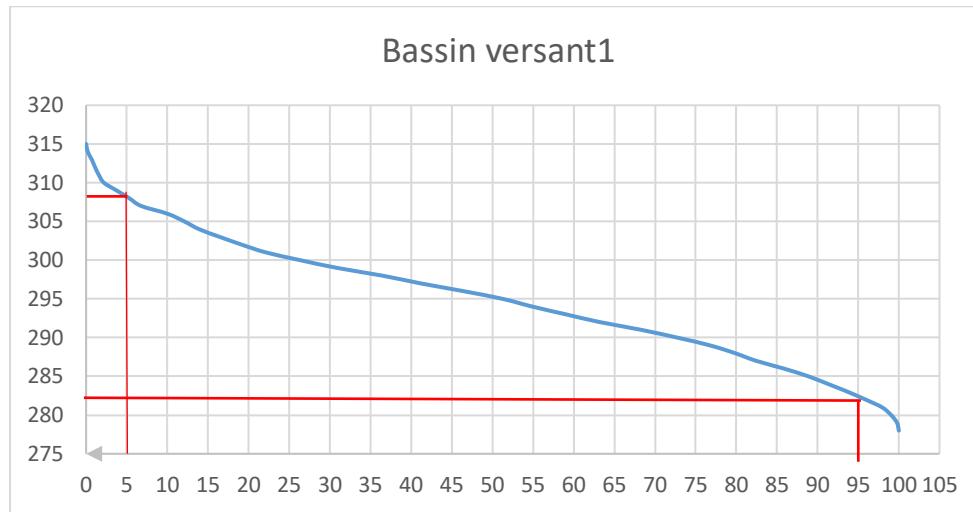
- Détermination de l'indice global de pente,

L'indice global de pente $Ig = \frac{D}{L}$,

D : $\Delta_h(5\% - 95\%) = (alt5\% - alt95\%)(8)$

La détermination de cette différence d'altitude a été réalisée à l'aide de la courbe hypsométrique présentée ci-après. Cette courbe représente, en abscisse, les surfaces cumulées et, en ordonnée, les altitudes. Elle a été tracée à partir d'un traitement de données effectué sous Excel.

Tableau annexe 13: Courbe hypsométrique



Altitude 5% = 308 m

Altitude 95% = 282 m

$$Ig = \frac{308 - 282}{5,53} = 4,697$$

- La classe de Rodier

La classe de Rodier est un paramètre qui permet de classifier la perméabilité du sol , d'après cette classification, ce bassin versant est un bassin versant de type IR.(8)

- Le coefficient d'abattement de Villaume A

$$A = 1 - \left(\frac{161 - 0,042 Pan}{1000}\right) \times \log(S) \quad (8)$$

$$A = 1 - \left(\frac{161 - 0,042\ 862}{1000} \right) \times \log(10,837) = 0,87$$

$$A = 0,87$$

- La pluie moyenne Pm10

$$P_{m10} = P_{10} \times A(8)$$

$$P_{m10} = 100 \times 87 = 87mm$$

- Le débit de ruissèlement Kr10

Le Kr10 correspond à l'interpolation linéaire entre les valeurs de la pluie de 70 cm et de Kr100 à une hauteur de pluie de 100 mm avec

$$kr_{70} = \frac{a_{70}}{s_{70} + b_{70}} + c_{70}(8)$$

$$kr_{100} = \frac{a_{100}}{s_{100} + b_{100}} + c_{100}(8)$$

Dans cette étude P10= 100mm, il n'y a donc pas à faire d'interpolation entre kr₇₀ et kr₁₀₀ de fait kr₁₀ = 100mm

- Détermination de a', b' et c' pour kr₁₀ en zone tropicale

Détermination de a', b' et c' pour kr₁₀ en zone tropicale.

$$Ig = 3m/km \rightarrow a' = 200$$

$$Ig = 4,697m/km \rightarrow a' = ?$$

$$Ig = 7m/km \rightarrow a' = 240$$

$$\frac{4,697 - 7}{3 - 7} = \frac{a' - 240}{200 - 240}$$

$$a' = 263,0264$$

b' est une constante , b' = 30(8)

c'est obtenu par interpolation c' = 24,88

$$Kr_{100} = Kr_{10} = \frac{263,0264}{10,837 + 30} + 24,88$$

$$Kr_{100} = Kr_{10} = 31,32$$

Détermination du temps de base de la zone tropical sèche avec Tb₁₀ = a × s^{0,36} + b . a et b sont les paramètres de la formule de Tb₁₀

Détermination du paramètre a

$$Ig = 3m/km \rightarrow a' = 325$$

$$Ig = 4,697m/km \rightarrow a' = ?$$



$$Ig = 7 \text{m/km} \rightarrow a' = 163$$

$$\frac{4,697 - 7}{3 - 7} = \frac{a' - 325}{325 - 163}$$

$$a' = 256,25$$

Après interpolation, il ressort : $b' = 241,58$

De ce fait, $Tb_{10} = 256,25 \times 10,837^{0,36} + 241,58 = 845,87 \text{ minutes}$

$$Tb_{10} = 845,87 \text{ minutes} = 50752,404 \text{ secondes}$$

- Le débit ruisselé

$$Qr_{10} = A \times P_{10} \times K_{10} \times \alpha_{10} \times \frac{S}{Tb_{10}}(8)$$

$$Qr_{10} = 0,87 \times 100 \times 26,64 \times 2,6 \times \frac{10,837}{845,87}$$

$$Qr_{10} = 90$$

- Détermination du débit décennal

$$Q_{10} = Q_{ret10} \times Q_{r10}(8)$$

$$Q_{10} = m \times Q_{r10}(6)$$

- Détermination de m

$$m = \left(\frac{1,03 + 1,05}{2} \right) = 1,04$$

$$Q_{10} = 1,04 \times 90,85 = 94,4849 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{10} = 94,4849 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le tableau sis dessous

Tableau annexe 14: Récapitulatif des caractéristiques des Bassin versants

BASSINS VERSANTS	Surface en km ²	Périmètre en km	Z MAX	ZMIN	DISTANCES	Pente	Pente en %	Icomp	L(long du R eqi)
BV 1	10,837	18,215	315	278	5130	0,00721	0,72124756	1,560356	5,535004799
BV 2	6,516	15,38	323	287	5300	0,00679	0,67924528	1,69908	4,801255044

Le tableau ci-dessous récapitule les paramètres nécessaires pour le calcul de Q_{10} conforme à la formule de la méthode ORSTOM

Tableau annexe 15: Récapitulatif des paramètres nécessaires pour le calcul de Q10 conforme à la formule de la méthode ORSTOM

Paramètres de kr100			Kr100	Paramètre Tb10		Tb10 (mn)	Tb10(s)	A (coef Villaume)	Pm10	α_{10}	Qr10	M	Q10
a'	b'	c'		a	b								
263,026	30	24,878	31,319	256,256	241,588	845,873	50752,404	0,871	87,085	2,6	90,851	1,040	94,485
260,013	30	24,502	31,622	244,053	228,557	707,757	42465,419	0,898	89,842	2,6	61,097	1,040	63,541

2. La méthode CIEH

La méthode CIEH est exposée dans la page 70 du livre crue et apport, c'est une méthode qui s'appuie sur de régression dont la formule pour le Burkina Faso

39	SKr10	61	0,818	0,904	0,410	0,425
40		60	0,824	0,908	0,252	0,462

Elle ne concerne que le bassin versant numéro 1, elle est la résultante de l'application de la formule 39 à 45 du CIEH

Equation	Expression
Equation 39	$Q_{10} = S \times Kr_{10}(6)$
Equation 40	$Q_{10} = S \times Kr_{10} \times Ig(6)$
Equation 41	$Q_{10} = S \times Kr_{10} \times Ig(6)$
Equation 42	$Q_{10} = S \times Kr_{10} \times Ig(6)$
Equation 44	$Q_{10} = S \times Kr_{10} \times Pm_{10}(6)$

Le tableau ci-dessous récapitule les paramètres les débits obtenu grâce à cette méthode :

Equation	a	S	IGG	Pan	Pm10	Kr10	S (km2)	Kr10	IGG	Pm10	Q10
Equation 39	0,41	0,425	0		0	0,923	10,837	31,3191602	4,69737623	87,0847487	27,1177057
Equation 40	0,254	0,462	0,101		0	0,976	10,837	31,3191602	4,69737623	87,0847487	25,7471856
Equation 41	0,407	0,532	0		0	0,941	10,837	31,3191602	4,69737623	87,0847487	36,9592669
Equation 42	0,0912	0,643	0,399		0	1,019	10,837	31,3191602	4,69737623	87,0847487	26,1662904
Equation 43	35600	0,342	0		-1,808	0	10,837	31,3191602	4,69737623	87,0847487	25,0019325
Equation 44	203	0,459	0		-1,301	0,813	10,837	31,3191602	4,69737623	87,0847487	29,8365253
Equation 45	22400	0,363	0,059		-1,748	0	10,837	31,3191602	4,69737623	87,0847487	23,6886702

A la suite des différents calculs, la moyenne des débits sera faite et considérée comme le débit du bassin versant. $Q_{10} = 27,78m^3/s$

Le débit obtenu par la méthode ORSTOM est supérieur à celui obtenu par la méthode CIEH. Pour le dimensionnement des ouvrages hydraulique de ce projet, il sera utilisé le débit ORSTORM parce que celui-ci est plus fiable car intégrant la pluviométrie dans ces formules d'une part et d'autre part parce qu'elle est plus sécuritaire.

Bassin versant	Q10 ORSTOM m ³ /s	Q10 CIEH m ³ /s
Bv1	94,48494337	27,78
Bv2	63,54075948	

3. Etude hydraulique

L'état des lieux a permis de signaler la présence d'ouvrage qui permettait d'évacuer les eaux que recevaient les différents bassins versants. Ce dimensionnement tient compte des ouvrages déjà existant. Les calculs effectués ont permis de démontrer que les ouvrages existants ne peuvent pas évacuer les débits calculés alors, le nouveau dimensionnement se fera aux proratas des ouvrages déjà existant.

Il sera fait cas dans cette partie de l'étude du dimensionnement hydraulique du premier dalot du premier bassin versant noter ici OH11.

Donnée : la seule donnée disponible est le début qui est = $1,14m^3/s$.

Ce dimensionnement se fera selon le guide d'hydraulique routière BCEOM de VANTIU 1981 ce guide émet les hypothèses suivantes :

- Vitesse admissible d'écoulement $S = \frac{\text{débit}}{\text{vitesse admissible}}$ (8)

$$AN = S = \frac{1,14}{3} = 0,38m^2$$

- Dimension du dalot

$$H = \sqrt{S \times (H/B)} . \text{ Prenons un rapport } H/B = 0,8$$

$$AN = H = \sqrt{0,38 \times 0,8} = 0,55m . \text{ Prenons } 1,2$$

$$B = 1,5m$$

- Le nombre d'ouverture

Ce dalot aura une seule ouverture, C : le coefficient de division de la hauteur

$$C = 1$$

q : le coefficient de division de la base

$$q = 1$$

Vérification de la surface

$S = 1 \times 1,2 \times 1,5 = 1,8 > 0,38m^2$. Cette section étant supérieur à la section minimal la condition est vérifiée.

- Dimensionnement en sortie libre du dalot

Détermination de la hauteur d'eau en amont

$$K_s = 67 \quad g = 9,81 m/s^2$$

Donnée :

$$q = 1,14 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_1^* = \frac{q}{B \times H \times \sqrt{2 \times g \times h}} (8)$$

$$Q_1^* = \frac{1,14}{1,2 \times 1,5 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 1,5}}$$

$$Q_1^* = 0,12$$

Détermination de la hauteur H^*

Cette détermination se fait en projetant le débit réduit Q_1^* (abscisse sur la courbe) sur la courbe pour trouver H_1^* sur l'ordonnée ici $H^* = 0,5$.

La hauteur d'eau est donc

$$H^* = \frac{H_1}{D} \rightarrow H_1 = H^* \times D \rightarrow \text{avec } D = \text{hauteur du dalot}$$

$$AN: H_1 = 0,5 \times 1,2 = 0,6$$

Vérification du rapport :

$$\frac{H^*}{D} \quad AN: \frac{0,5}{1,2} = 0,416$$

Calcul de la revanche :

$$R = D - H_1$$

$$R = 1,2 - 0,6 = 0,6\text{m}$$

$$R = 0,6\text{m}$$

Revanche calculée

$$R_{cal} = 0,2 + (0,15 \times \sqrt[3]{q}) (13)$$

- Calcul du débit réduit second :

$$Q^{**} = \frac{q}{\sqrt{g \times B^5}} (6)$$

$$Q^{**} = \frac{1,13}{\sqrt{9,81 \times (1,15)^5}} = 0,1315$$

$$Q^{**} = 0,1315$$

- Détermination de la pente critique réduite I_c^*

Lecture sur abaque (figure)

$$I_c^* = 2,7\%$$

- Calcul de la pente critique Ic :



$$I_c = I_c^* \times \frac{g}{K_s^2} \times \sqrt[3]{H}(6)$$

$$I_c = I_c^* \times \frac{9,81}{(6,7)^2} \times \sqrt[3]{1,2}$$

$$I_c = 0,00627$$

- Détermination du débit réduit Q^{***}

$$Q^{***} = \frac{q}{K_s \times \sqrt{I} \times \sqrt[3]{B^8}}(5)$$

$$Q^{***} = \frac{1,14}{67 \times \sqrt{0,00627} \times \sqrt[3]{1,5^8}}$$

$$Q^{***} = 0,70726$$

Lecture sur abaque

$$V_c^* = 0,19$$

Calcul de la vitesse de réel de sortie V :

$$V = V_c^* \times K_s \times \sqrt{I} \times B^{\left(\frac{2}{3}\right)}(6)$$

$$V = 0,19 \times 67 \times \sqrt{0,00627} \times (1,5)^{\left(\frac{2}{3}\right)}$$

$$V = 1,13 \text{ m/s}$$

$$V < V_{adm}, \text{ avec } V_{adm} = \frac{3m}{s} \text{ la condition est respectée}$$

Les nouvelles sections déterminées se trouvent dans le tableau ci-après

Bassin versant 1											
Nom	Type	NPS	B	H	Débit (m³/s)	Pourcentage	Débit m³/s	94,485	Nbre Cellule	H definitive	B retenu (m)
OH11	Buse	2Ø		0,8	0,63685666	1,20168545	1,135412502	1	1,2	1,5	
OH12	Dalot	2	2	1,2	18,2174673	34,3745567	32,47879991	2	1,5	2,5	
OH13	Buse	1Ø		1	1,34639547	2,54051492	2,400405525	1	1,5	2,5	
OH14	Buse	1Ø		0,8	0,7425846	1,40118361	1,323908335	1	1,2	1,5	
OH15	Dalot	2	2	1,2	12,1449782	22,9163711	21,65253327	2	2	2,5	
OH16	Buse	1Ø		1	1,34639547	2,54051492	2,400405525	1	1,2	2,5	
OH17	Dalot	3	2	1,2	18,2174673	34,3745567	32,47879991	2	2,5	2,5	
OH18	Buse	1Ø		0,6	0,34480692	0,65061652	0,614735016	1	1,2	1,5	
					52,9969519	100	94,485				

Bassin versant 2										
OH21	Buse	1Ø		0,8	0,63685666	6,25148204	4,194950748	1	1,5	2
OH22	Dalot	2	2	1	4,77521713	46,874259	31,45417463	2	2,5	2,5

OH23	Dalot	2	2	1	4,77521713	46,874259	31,45417463	2	2,5	2,5
					10,1872909	100	67,1033			

Annexe 3 : Dimensionnement structurel des dalots aux logiciel

Le dimensionnement structurel a été effectué sur l'ouvrage OH11 avec le logiciel CYPE et suivant en fonction des normes cités plus haut. Ce dimensionnement a abouti à la note de calcul ci-après :

Référence : Mur en aile d'entrée gauche		
Vérification	Valeurs	État
- Coefficient de sécurité au glissement :	Calculé : 3.44 Minimum : 1.5 Calculé : 1.63	Vérifiée Vérifiée
Épaisseur minimale :	Minimum : 15 cm	
- Semelle superficielle : <i>Critère de CYPE</i>	Calculé : 40 cm	Vérifiée
Séparation libre minimale des armatures horizontales : <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>	Minimum : 3.7 cm	
Mur : - Arrière : - Avant :	Calculé : 13.6 cm Calculé : 13.6 cm	Vérifiée Vérifiée
Séparation maximale des armatures horizontales : <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum : 25 cm	
Mur : - Arrière : - Avant :	Calculé : 15 cm Calculé : 15 cm	Vérifiée Vérifiée
Pourcentage géométrique horizontal minimum par face : <i>BAEL-91, Article SETRA 3.4.3</i>	Minimum : 0.0015	
Mur : - Arrière (0.00 m) : - Avant (0.00 m) :	Calculé : 0.0041 Calculé : 0.0041	Vérifiée Vérifiée
Séparation maximale entre barres :		



<i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum : 25 cm	
- Semelle superficielle :		
- Armature longitudinale inférieure :	Calculé : 15 cm	Vérifiée
- Armature longitudinale supérieure :	Calculé : 15 cm	Vérifiée
- Armature transversale inférieure :	Calculé : 15 cm	Vérifiée
- Armature transversale supérieure	Calculé : 15 cm	Vérifiée
:		
Séparation minimale entre barres :		
<i>Critère de CYPE</i>	Minimum : 10 cm	
Semelle superficielle :		
- Armature longitudinale inférieure :	Calculé : 15 cm	Vérifiée
- Armature longitudinale supérieure :	Calculé : 15 cm	Vérifiée
- Armature transversale inférieure :	Calculé : 15 cm	Vérifiée
- Armature transversale supérieure :	Calculé : 15 cm	Vérifiée
Pourcentage géométrique minimum :	Calculé : 0.00256	
Semelle superficielle :		
- Armature longitudinale inférieure :		
<i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Minimum : 0.001	Vérifiée
- Armature longitudinale supérieure :		
<i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Minimum : 0.0005	Vérifiée
- Armature transversale inférieure :		
<i>Critère de CYPE</i>	Minimum : 0.001	Vérifiée
- Armature transversale supérieure :		
<i>Critère de CYPE</i>	Minimum : 0.001	Vérifiée
Pourcentage mécanique minimal :	Calculé : 0.00256	
Semelle superficielle :		
Armature longitudinale inférieure :		
<i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Minimum : 0	Vérifiée
- Armature longitudinale supérieure :		
<i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Minimum : 0	Vérifiée
- Armature transversale inférieure :		

<i>BAEL-91, Article A.4.2</i>	Minimum : 0.00015	Vérifiée
- Armature transversale supérieure :		
<i>BAEL-91, Article A.4.2</i>	Minimum : 0.00016	Vérifiée
	Minimum : 4 cm ² /m	
<i>BAEL-91, Article A.8.1,21</i>	Calculé : 7.69 cm ² /m	Vérifiée
Pourcentage géométrique maximum d'armature verticale total :		
Mur:		
- (1.45 m) :	Maximum : 0.05	
<i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Calculé : 0.00615	Vérifiée
Séparation libre minimale des armatures verticales:		
<i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>	Minimum : 2.5 cm	
Mur:		
- Arrière, vertical:	Calculé : 17.2 cm	Vérifiée
- Avant, vertical:	Calculé : 17.2 cm	Vérifiée
Vérification à l'effort tranchant:		
- Mur:	Maximum: 242.6	
<i>BAEL-91, Article A.5.2,2</i>	kN/m Calculé : 18.8	
	kN/m	Vérifiée
Vérification de la fissuration par contraintes dans les barres:		
- Mur:	Maximum: 201.633	
<i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	MPa Calculé : 62.3484 MPa	Vérifiée
Longueur de recouvrement:		
<i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
Mur:		
Vérification de l'ancrage de l'armature de base à la face supérieure :		
<i>Critère de CYPE</i>	Minimum : 12.3 cm	
Mur:		
- Arrière:	Calculé : 12.3 cm	Vérifiée
- Avant:	Calculé : 12.3 cm	Vérifiée
Contraintes appliquées au sol:		
<i>Vérification basée sur des critères résistants.</i>		

Semelle superficielle:		
- Contrainte moyenne:	Maximum: 0.2 MPa Calculé : 0.0344 MPa	Vérifiée
- Contrainte maximale:	Maximum: 0.25 MPa Calculé : 0.0477 MPa	Vérifiée
Flexion dans la semelle: <i>Vérification basée sur des critères résistants</i>	Calculé : 10.26 cm ² /m	
Semelle superficielle:		
- Armature sup. arrière:	Minimum : 0.56 cm ² /m	Vérifiée
- Armature inf. arrière:	Minimum : 0 cm ² /m	Vérifiée
- Armature sup. avant:	Minimum : 0 cm ² /m	Vérifiée
- Armature inf. avant:	Minimum : 0.51 cm ² /m	Vérifiée
Effort tranchant: <i>BAEL-91, Article A.5.2,2</i>	Maximum: 425.8 kN/m	
Semelle superficielle:		
- Arrière:	Calculé : 6.4 kN/m	Vérifiée
- Avant:	Calculé : 5.8 kN/m	Vérifiée
Longueur d'ancre:		
<i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
Semelle superficielle:		
- Attentes arrière:	Minimum : 27.5 cm Calculé : 33.7 cm	Vérifiée
- Attentes avant:	Minimum : 27.5 cm Calculé : 33.7 cm	Vérifiée
- Armature inf. arrière (Crosse):	Minimum : 15.4 cm Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature inf. avant (Crosse):	Minimum : 15.4 cm Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature sup. arrière (Crosse):	Minimum : 15.4 cm	

- Armature sup. avant (Crosse):	Calculé : 20 cm Minimum : 15.4 cm Calculé : 20 cm	Vérifiée Vérifiée
Diamètre minimum: <i>Critère de CYPE</i>	Minimum : Ø10	
Semelle superficielle:		
- Armature transversale inférieure :	Calculé : HA14	Vérifiée
- Armature longitudinale inférieure :	Calculé : HA14	Vérifiée
- Armature transversale supérieure :	Calculé : HA14	Vérifiée
- Armature longitudinale supérieure :	Calculé : HA14	Vérifiée
Toutes les conditions sont vérifiées		
Information additionnelle:		
- Mur -> Cote de la section de relation minimale 'pourcentage horizontal / pourcentage vertical' Arrière : 0.00 m		
- Mur -> Cote de la section de relation minimale 'pourcentage horizontal / pourcentage vertical' Avant : 0.00 m		
- Mur -> Section critique en flexion composée: Cote: 0.00 m, Md: 12.81 kN·m/m, Nd: 5.89 kN/m, Vd : 24.43 kN/m, Contrainte maximale de l'acier: 84.966 MPa		
- Mur -> Section critique sous effort tranchant: Cote: 0.20 m		
- Semelle superficielle -> Moment fléchissant défavorable dans la section de référence de l'arrière : 6.79 kN·m/m		
- Semelle superficielle -> Moment fléchissant défavorable dans la section de référence de l'avant : 6.12 kN·m/m		
Référence: Mur en aile d'entrée droite		
Vérification	Valeurs	État
Vérification de la stabilité: <i>Critère de CYPE</i>		
Semelle superficielle:		
- Coefficient de sécurité au renversement:	Minimum : 1.8	

- Coefficient de sécurité au glissement:	Calculé : 3.44 Minimum : 1.5	Vérifiée
	Calculé : 1.63	Vérifiée
Épaisseur minimale: - Semelle superficielle: <i>Critère de CYPE - Mur:</i> <i>Critère du SETRA "Les ouvrages de soutènement: Guide de conception générale"</i>	Minimum : 15 cm Calculé : 40 cm Calculé : 25 cm	
Séparation libre minimale des armatures horizontales: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>	Minimum : 3.7 cm	
Mur: - Arrière: - Avant:	Calculé : 13.6 cm Calculé : 13.6 cm	Vérifiée Vérifiée
Séparation maximale des armatures horizontales: <i>BAEL-91, Article A.4.5.33</i>	Maximum: 25 cm	
Mur: - Arrière: - Avant:	Calculé : 15 cm Calculé : 15 cm	Vérifiée Vérifiée
Pourcentage géométrique horizontal minimum par face: <i>BAEL-91, Article SETRA 3.4.3</i>	Minimum : 0.0015	
Mur: - Arrière (0.00 m): - Avant (0.00 m):	Calculé : 0.0041 Calculé : 0.0041	Vérifiée Vérifiée
Séparation maximale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.4.5.33</i>	Maximum: 25 cm	
- Semelle superficielle: - Armature longitudinale inférieure : - Armature longitudinale supérieure : - Armature transversale inférieure : - Armature transversale supérieure : - Mur:	Calculé : 15 cm Calculé : 15 cm Calculé : 15 cm Calculé : 15 cm	Vérifiée Vérifiée Vérifiée Vérifiée

- Armature verticale Arrière, vertical: - Armature verticale Avant, vertical:	Calculé : 20 cm Calculé : 20 cm	Vérifiée Vérifiée
Séparation minimale entre barres: <i>Critère de CYPE</i>	Minimum : 10 cm	
Semelle superficielle: - Armature longitudinale inférieure : - Armature longitudinale supérieure : - Armature transversale inférieure : - Armature transversale supérieure :	Calculé : 15 cm Calculé : 15 cm Calculé : 15 cm Calculé : 15 cm	Vérifiée Vérifiée Vérifiée Vérifiée
Pourcentage géométrique Minimum : Semelle superficielle:	Calculé : 0.00256	
Référence: Mur en aile d'entrée droite		
Vérification	Valeurs	État
- Armature longitudinale inférieure : <i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Minimum : 0.001	Vérifiée
- Armature longitudinale supérieure : <i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Minimum : 0.0005	Vérifiée
- Armature transversale inférieure : <i>Critère de CYPE</i>	Minimum : 0.001	Vérifiée
- Armature transversale supérieure : <i>Critère de CYPE</i>	Minimum : 0.001	Vérifiée
Pourcentage mécanique minimal: Semelle superficielle: - Armature longitudinale inférieure : <i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Calculé : 0.00256 Minimum : 0	
- Armature longitudinale supérieure : <i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Minimum : 0	Vérifiée
- Armature transversale inférieure : <i>BAEL-91, Article A.4.2</i>	Minimum : 0.00015	Vérifiée
- Armature transversale supérieure : <i>BAEL-91, Article A.4.2</i>	Minimum : 0.00016	Vérifiée

<i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Minimum : 0.001 Calculé : 0.00307	Vérifiée
Section minimale des armatures verticales de la face comprimée: Mur: - Avant (0.00 m): <i>BAEL-91, Article A.8.1,21</i>	Minimum : 4 cm ² /m Calculé : 7.69 cm ² /m	Vérifiée
Pourcentage géométrique maximum d'armature verticale total: Mur: - (1.45 m): <i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Maximum: 0.05 Calculé : 0.00615	Vérifiée
Séparation libre minimale des armatures verticales: Mur: - Arrière, vertical: - Avant, vertical:	Calculé : 17.2 cm Calculé : 17.2 cm	Vérifiée Vérifiée
- Mur: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Minimum : 0.6 cm Calculé : 1.4 cm	Vérifiée
Référence: Mur en aile d'entrée droite		
Vérification	Valeurs	État
<i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Maximum: 201.633 MPa Calculé : 62.3484 MPa	Vérifiée
Longueur de recouvrement: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
Mur: - Base arrière: - Base avant:	Minimum : 0.49 m Calculé : 0.5 m Minimum : 0.29 m Calculé : 0.3 m	Vérifiée Vérifiée
Vérification de l'ancrage de l'armature de base à la face supérieure : <i>Critère de CYPE</i>	Minimum : 12.3 cm	

Mur:			
- Arrière:	Calculé : 12.3 cm	Vérifiée	
- Avant:	Calculé : 12.3 cm	Vérifiée	
Contraintes appliquées au sol: <i>Vérification basée sur des critères résistants.</i>			
Semelle superficielle:			
- Contrainte moyenne:	Maximum: 0.2 MPa Calculé : 0.0344 MPa	Vérifiée	
- Contrainte maximale:	Maximum: 0.25 MPa Calculé : 0.0477 MPa	Vérifiée	
Flexion dans la semelle: <i>Vérification basée sur des critères résistants</i>	Calculé : 10.26 cm ² /m		
Semelle superficielle:			
- Armature sup. arrière:	Minimum : 0.56 cm ² /m	Vérifiée	
- Armature inf. arrière:	Minimum : 0 cm ² /m	Vérifiée	
- Armature sup. avant:	Minimum : 0 cm ² /m	Vérifiée	
- Armature inf. avant:	Minimum : 0.51 cm ² /m	Vérifiée	
Effort tranchant: <i>BAEL-91, Article A.5.2,2</i>	Maximum: 425.8 kN/m		
Semelle superficielle:			
- Arrière:	Calculé : 6.4 kN/m	Vérifiée	
- Avant:	Calculé : 5.8 kN/m	Vérifiée	
Longueur d'ancrege: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>			
Semelle superficielle:			
- Attentes arrière:	Minimum : 27.5 cm Calculé : 33.7 cm	Vérifiée	
- Attentes avant:	Minimum : 27.5 cm Calculé : 33.7 cm	Vérifiée	

- Armature inf. arrière (Crosse):	Minimum : 15.4 cm Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature inf. avant (Crosse):	Minimum : 15.4 cm Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature sup. arrière (Crosse):	Minimum : 15.4 cm Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature sup. avant (Crosse):	Minimum : 15.4 cm Calculé : 20 cm	Vérifiée
Diamètre minimum: <i>Critère de CYPE</i>	Minimum : Ø10	
Semelle superficielle:		
Référence: Mur en aile d'entrée droite		
Vérification	Valeurs	État
- Armature transversale inférieure :	Calculé : HA14	Vérifiée
- Armature longitudinale inférieure :	Calculé : HA14	Vérifiée
- Armature transversale supérieure :	Calculé : HA14	Vérifiée
- Armature longitudinale supérieure :	Calculé : HA14	Vérifiée
Toutes les conditions sont vérifiées		
Information additionnelle:		
- Mur -> Cote de la section de relation minimale 'pourcentage horizontal / pourcentage vertical'		
Arrière :		
0.00 m		
- Mur -> Cote de la section de relation minimale 'pourcentage horizontal / pourcentage vertical'		
Avant :		
0.00 m		
- Mur -> Section critique en flexion composée: Cote: 0.00 m, Md: 12.81 kN·m/m, Nd: 5.89 kN/m, Vd :		
24.43 kN/m, Contrainte maximale de l'acier: 84.966 MPa		
- Mur -> Section critique sous effort tranchant: Cote: 0.20 m		
- Semelle superficielle -> Moment fléchissant défavorable dans la section de référence de l'arrière : 6.79 kN·m/m		

- Semelle superficielle -> Moment fléchissant défavorable dans la section de référence de l'avant : $6.12 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$

Référence: Module

Vérification	Valeurs	État
Tablier:		
- Armature (Longitudinal):		
- Ratio minimal supérieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal inférieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment positif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment négatif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Armature (Transversal):		
- Ratio minimal supérieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal inférieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment positif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment négatif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Effort tranchant maximum:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Déplacement maximum.	Maximum: 50 mm	
Perpendiculaire au plan du plancher:	Calculé : 1.47 mm	Vérifiée
- Distorsion angulaire maximale:	Minimum : 150	
	Calculé : 2150	Vérifiée
- Flèche relative:	Minimum : 250	
- Longitudinal:	Calculé : 6784	Vérifiée
- Transversal:	Calculé : 1356	Vérifiée
- Élancement mécanique:	Maximum: 100	
- Longueur d'ancrage:	Calculé : 34	Vérifiée
<i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
- Armature de base transversale extérieure :	Minimum : 33 cm	

<ul style="list-style-type: none"> - Armature de base transversale intérieure : - Armature de base longitudinale extérieure : - Armature de base longitudinale intérieure : - Séparation minimale entre barres: <p><i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Armature de base transversale extérieure : 	Calculé : 33 cm Minimum : 15 cm Calculé : 15 cm Minimum : 49 cm Calculé : 49 cm Minimum : 49 cm Calculé : 49 cm Minimum : 2 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée Vérifiée Vérifiée Vérifiée Vérifiée Vérifiée Vérifiée
---	--	--

Référence: Module

Vérification	Valeurs	État
- Armature de base transversale intérieure :	Minimum : 2 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale extérieure :	Minimum : 3 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale intérieure :	Minimum : 3 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
- Armature extérieure - intérieure :	Minimum : 2 cm	Vérifiée
- Séparation maximale entre barres:	Calculé : 12 cm	Vérifiée
<i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum: 25 cm	
- Armature de base transversale extérieure :	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base transversale intérieure :	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale extérieure :	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale intérieure :	Calculé : 20 cm	Vérifiée
Radier:		
- Armature (Longitudinal):		
- Ratio minimal supérieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal inférieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment positif:	Vérification à 100%	Vérifiée



- Flexion composée moment négatif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Armature (Transversal):		
- Ratio minimal supérieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal inférieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment positif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment négatif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Effort tranchant maximum:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Déplacement maximum.	Maximum: 50 mm	
Perpendiculaire au plan du plancher:	Calculé : 1.07 mm	Vérifiée
- Distorsion angulaire maximale:	Minimum : 150	
	Calculé : 2312	Vérifiée
- Flèche relative:	Minimum : 250	
- Longitudinal:	Calculé : 1864	Vérifiée
- Transversal:	Calculé : 9320	Vérifiée
- Élancement mécanique:	Maximum: 100	
- Longueur d'ancre:	Calculé : 34	Vérifiée
<i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
- Armature de base transversale extérieure :	Minimum : 33 cm	
	Calculé : 33 cm	Vérifiée
- Armature de base transversale intérieure :	Minimum : 15 cm	
	Calculé : 15 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale extérieure :	Minimum : 49 cm	
	Calculé : 49 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale intérieure :	Minimum : 49 cm	
	Calculé : 49 cm	Vérifiée
- Séparation minimale entre barres:	Calculé : 49 cm	Vérifiée
<i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>		
- Armature de base transversale extérieure :	Minimum : 2 cm	
	Calculé : 18 cm	Vérifiée
- Armature de base transversale intérieure :	Minimum : 2 cm	
	Calculé : 18 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale extérieure :	Minimum : 3 cm	
	Calculé : 18 cm	Vérifiée

- Armature de base longitudinale intérieure :	Minimum : 3 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
Référence: Module		
Vérification	Valeurs	État
- Armature extérieure - intérieure :	Minimum : 2 cm	
- Séparation maximale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.4.5.33</i>	Calculé : 12 cm Maximum: 25 cm	Vérifiée
- Armature de base transversale extérieure :	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base transversale intérieure :	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale extérieure :	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale intérieure :	Calculé : 20 cm	Vérifiée
Piédroit gauche:		
- Armature (Vertical):		
- Ratio minimal intérieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal extérieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment positif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment négatif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Armature (Horizontal):		
- Ratio minimal intérieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal extérieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment positif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment négatif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Effort tranchant maximum:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Déplacement maximum.	Maximum: 50 mm	
Perpendiculaire au plan du plancher:	Calculé : 0.13 mm	Vérifiée
- Distorsion angulaire maximale:	Minimum : 150	
	Calculé : 3871	Vérifiée
- Flèche relative:	Minimum : 250	
- Vertical:	Calculé : 75323	Vérifiée
- Horizontal:	Calculé : 9038	Vérifiée
- Élancement mécanique:	Maximum: 100	

- Longueur d'ancrage: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>	Calculé : 23	Vérifiée
- Armature de base verticale extérieure :	Minimum : 33 cm Calculé : 33 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale intérieure :	Minimum : 15 cm Calculé : 15 cm	Vérifiée
- Attente armature de base extérieure :	Minimum : 33 cm Calculé : 33 cm	Vérifiée
- Attente armature de base intérieure :	Minimum : 15 cm Calculé : 15 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale extérieure :	Minimum : 49 cm Calculé : 49 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale intérieure :	Minimum : 49 cm Calculé : 49 cm	Vérifiée
- Longueur de recouvrement: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>	Calculé : 49 cm	Vérifiée
- Attente armature de base extérieure :	Minimum : 29 cm Calculé : 29 cm	Vérifiée
- Attente armature de base intérieure :	Calculé : 29 cm	Vérifiée
- Séparation minimale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>		
- Armature de base verticale extérieure :	Minimum : 2 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale intérieure :	Minimum : 2 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale extérieure :	Minimum : 3 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée

Référence: Module

Vérification	Valeurs	État
- Armature de base horizontale intérieure :	Minimum : 3 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
- Armature extérieure - intérieure :	Minimum : 2 cm	
- Séparation maximale entre barres:	Calculé : 12 cm	Vérifiée

<i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum: 25 cm Calculé : 20 cm Calculé : 20 cm Calculé : 20 cm Calculé : 20 cm	
- Armature de base verticale extérieure :	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale intérieure :	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale extérieure :	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale intérieure :	Calculé : 20 cm	Vérifiée
Piédroit droit:		
- Armature (Vertical):		
- Ratio minimal intérieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal extérieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment positif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment négatif:	Vérification à 100%	Vérifiée
négatif: - Armature (Horizontal):		
- Ratio minimal intérieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal extérieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment positif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment négatif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Effort tranchant maximum:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Déplacement maximum.	Maximum: 50 mm Calculé : 0.14 mm	Vérifiée
Perpendiculaire au plan du plancher:	Minimum : 150	
- Distorsion angulaire maximale:	Calculé : 3871	Vérifiée
- Flèche relative:	Minimum : 250	
- Vertical:	Calculé : 71257	Vérifiée
- Horizontal:	Calculé : 8550	Vérifiée
- Élancement mécanique:	Maximum: 100	
- Longueur d'ancrage:	Calculé : 23	Vérifiée
<i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
- Armature de base verticale extérieure :	Minimum : 33 cm Calculé : 33 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale intérieure :	Minimum : 15 cm Calculé : 15 cm	Vérifiée
- Attente armature de base extérieure :	Minimum : 33 cm	

- Attente armature de base intérieure :	Calculé : 33 cm Minimum : 15 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale extérieure :	Calculé : 15 cm Minimum : 49 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale intérieure :	Calculé : 49 cm Minimum : 49 cm	Vérifiée
- Longueur de recouvrement: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>	Calculé : 49 cm Minimum : 29 cm	Vérifiée
- Attente armature de base extérieure :	Calculé : 29 cm	Vérifiée
- Attente armature de base intérieure :	Calculé : 29 cm	Vérifiée
- Séparation minimale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>	Minimum : 2 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale extérieure :	Minimum : 2 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale intérieure :	Calculé : 18 cm	Vérifiée

Référence: Module

Vérification	Valeurs	État
- Armature de base horizontale extérieure :	Minimum : 3 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale intérieure :	Minimum : 3 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
- Armature extérieure - intérieure :	Minimum : 2 cm	
- Séparation maximale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Calculé : 12 cm Maximum: 25 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale extérieure :	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale intérieure :	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale extérieure :	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale intérieure :	Calculé : 20 cm	Vérifiée
Terrain:		
- Soulèvement:	Vérification à 100%	Vérifiée



- Contrainte admissible:	Maximum: 200 kN/m ² Calculé : 107.295 kN/m ²	Vérifiée
Toutes les conditions sont vérifiées		
Vérification de la stabilité: <i>Critère de CYPE</i>		
Semelle superficielle: - Coefficient de sécurité au renversement:	Minimum : 1.8 Calculé : 3.44	Vérifiée
- Coefficient de sécurité au glissement:	Minimum : 1.5 Calculé : 1.63	Vérifiée
Épaisseur minimale: - Semelle superficielle: <i>Critère de CYPE</i> - Mur: <i>Critère du SETRA "Les ouvrages de soutènement: Guide de conception générale"</i>	Minimum : 15 cm Calculé : 40 cm Calculé : 25 cm	Vérifiée
Séparation libre minimale des armatures horizontales: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>	Minimum : 3.7 cm	
Mur: - Arrière: - Avant:	Calculé : 13.6 cm Calculé : 13.6 cm	Vérifiée Vérifiée
Séparation maximale des armatures horizontales: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum: 25 cm	
Mur: - Arrière: - Avant:	Calculé : 15 cm Calculé : 15 cm	Vérifiée Vérifiée
Pourcentage géométrique horizontal minimum par face: <i>BAEL-91, Article SETRA 3.4.3</i>	Minimum : 0.0015	
Mur: - Arrière (0.00 m): - Avant (0.00 m):	Calculé : 0.0041 Calculé : 0.0041	Vérifiée Vérifiée

Séparation maximale entre barres:		
<i>BAEL-91, Article A.4.5.33</i>	Maximum: 25 cm	
- Semelle superficielle:		
- Armature longitudinale inférieure :	Calculé : 15 cm	Vérifiée
- Armature longitudinale supérieure :	Calculé : 15 cm	Vérifiée
- Armature transversale inférieure :	Calculé : 15 cm	Vérifiée
- Armature transversale supérieure	Calculé : 15 cm	Vérifiée
: - Mur:		
- Armature verticale Arrière, vertical:	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature verticale Avant, vertical:	Calculé : 20 cm	Vérifiée
Référence: Mur en aile de sortie gauche		
Vérification	Valeurs	État
Séparation minimale entre barres:		
<i>Critère de CYPE</i>	Minimum : 10 cm	
Semelle superficielle:		
- Armature longitudinale inférieure :	Calculé : 15 cm	Vérifiée
- Armature longitudinale supérieure :	Calculé : 15 cm	Vérifiée
- Armature transversale inférieure :	Calculé : 15 cm	Vérifiée
- Armature transversale supérieure :	Calculé : 15 cm	Vérifiée
Pourcentage géométrique minimum:	Calculé : 0.00256	
Semelle superficielle:		
- Armature longitudinale inférieure :		
<i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Minimum : 0.001	Vérifiée
- Armature longitudinale supérieure :		
<i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Minimum : 0.0005	Vérifiée
- Armature transversale inférieure :		
<i>Critère de CYPE</i>	Minimum : 0.001	Vérifiée
- Armature transversale supérieure :		
<i>Critère de CYPE</i>	Minimum : 0.001	Vérifiée
Pourcentage mécanique minimal:	Calculé : 0.00256	
Semelle superficielle:		
- Armature longitudinale inférieure :		

<i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Minimum : 0	Vérifiée
- Armature longitudinale supérieure :		
<i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Minimum : 0	Vérifiée
- Armature transversale inférieure :		
<i>BAEL-91, Article A.4.2</i>	Minimum : 0.00015	Vérifiée
- Armature transversale supérieure :		
<i>BAEL-91, Article A.4.2</i>	Minimum : 0.00016	Vérifiée
Vérification au cisaillement en amorce du mur:		
- Mur:	Maximum: 342.4	
<i>Critère de CYPE</i>	kN/m Calculé : 24.4	
	kN/m	Vérifiée
Pourcentage mécanique horizontal minimum par face:		
<i>Article A.8.2,41 de la norme BAEL-91</i>	Minimum : 0.00076	
Mur:		
- Arrière:	Calculé : 0.0041	Vérifiée
- Avant:	Calculé : 0.0041	Vérifiée
Pourcentage géométrique vertical minimum sur la face tendue:		
Mur:		
- Arrière (0.00 m):	Minimum : 0.001	
<i>BAEL-91, Article B.6.4</i>	Calculé : 0.00307	Vérifiée
Pourcentage mécanique vertical minimum sur la face tendue:		
Mur:		
- Arrière (0.00 m):	Minimum : 0.0012	
<i>BAEL-91, Article A.4.2, 1</i>	Calculé : 0.00307	Vérifiée
Pourcentage géométrique vertical minimum sur la face comprimée:		
Mur:		
- Avant (0.00 m):	Minimum : 0.001	
<i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Calculé : 0.00307	Vérifiée
Section minimale des armatures verticales de la face comprimée:		
Mur:		
- Avant (0.00 m):	Minimum : 4 cm ² /m	
<i>BAEL-91, Article A.8.1,21</i>	Calculé : 7.69 cm ² /m	Vérifiée

Pourcentage géométrique maximum d'armature verticale total: Mur: - (1.45 m): <i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Maximum: 0.05 Calculé : 0.00615	Vérifiée
Séparation libre minimale des armatures verticales: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>	Minimum : 2.5 cm	
Mur: Référence: Mur en aile de sortie gauche		
Vérification	Valeurs	État
- Arrière, vertical:	Calculé : 17.2 cm	Vérifiée
- Avant, vertical:	Calculé : 17.2 cm	Vérifiée
Diamètre minimal des armatures horizontales: - Mur: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Minimum : 0.6 cm Calculé : 1.4 cm	Vérifiée
Diamètre minimal des armatures verticales: - Mur: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Minimum : 0.6 cm Calculé : 1.4 cm	Vérifiée
Vérification sous flexion composée: - Mur: <i>Vérification réalisée par unité de longueur de mur</i>		Vérifiée
Vérification à l'effort tranchant: - Mur: <i>BAEL-91, Article A.5.2,2</i>	Maximum: 242.6 kN/m Calculé : 18.8 kN/m	Vérifiée
Vérification de la fissuration par contraintes dans les barres: - Mur: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Maximum: 201.633 MPa Calculé : 62.3484 MPa	Vérifiée
Longueur de recouvrement: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
Mur: - Base arrière:	Minimum : 0.49 m	

- Base avant:	Calculé : 0.5 m Minimum : 0.29 m Calculé : 0.3 m	Vérifiée Vérifiée
Vérification de l'ancrage de l'armature de base à la face supérieure : <i>Critère de CYPE</i>	Minimum : 12.3 cm	
Mur: - Arrière: - Avant:	Calculé : 12.3 cm Calculé : 12.3 cm	Vérifiée Vérifiée
Contraintes appliquées au sol: <i>Vérification basée sur des critères résistants.</i>		
Semelle superficielle: - Contrainte moyenne: - Contrainte maximale:	Maximum: 0.2 MPa Calculé : 0.0344 MPa Maximum: 0.25 MPa Calculé : 0.0477 MPa	Vérifiée Vérifiée
Effort tranchant: <i>BAEL-91, Article A.5.2,2</i>	Maximum: 425.8 kN/m	
Semelle superficielle: - Arrière: - Avant:	Calculé : 6.4 kN/m Calculé : 5.8 kN/m	Vérifiée Vérifiée
Longueur d'ancrage: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
Semelle superficielle: - Attentes arrière: - Attentes avant: - Armature inf. arrière (Crosse):	Minimum : 27.5 cm Calculé : 33.7 cm Minimum : 27.5 cm Calculé : 33.7 cm Minimum : 15.4 cm Calculé : 20 cm	Vérifiée Vérifiée Vérifiée Vérifiée
Référence: Mur en aile de sortie gauche		
Vérification	Valeurs	État
- Armature inf. avant (Crosse):	Minimum : 15.4 cm	

- Armature sup. arrière (Crosse):	Calculé : 20 cm Minimum : 15.4 cm	Vérifiée
- Armature sup. avant (Crosse):	Calculé : 20 cm Minimum : 15.4 cm	Vérifiée
Diamètre minimum: <i>Critère de CYPE</i>	Calculé : 20 cm Minimum : Ø10	Vérifiée
Semelle superficielle:		
- Armature transversale inférieure :	Calculé : HA14	Vérifiée
- Armature longitudinale inférieure :	Calculé : HA14	Vérifiée
- Armature transversale supérieure :	Calculé : HA14	Vérifiée
- Armature longitudinale supérieure :	Calculé : HA14	Vérifiée
Toutes les conditions sont vérifiées		
Information additionnelle:		
Référence: Mur en aile de sortie droite		
Vérification	Valeurs	État
Vérification de la stabilité: <i>Critère de CYPE</i>		
Semelle superficielle:		
- Coefficient de sécurité au renversement:	Minimum : 1.8	
	Calculé : 3.44	Vérifiée
- Coefficient de sécurité au glissement:	Minimum : 1.5	
	Calculé : 1.63	Vérifiée
Épaisseur minimale:	Minimum : 15 cm	
- Semelle superficielle: <i>Critère de CYPE</i> - Mur: <i>Critère du SETRA "Les ouvrages de soutènement: Guide de conception générale"</i>	Calculé : 40 cm Calculé : 25 cm	Vérifiée Vérifiée
Séparation libre minimale des armatures horizontales: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>	Minimum : 3.7 cm	
Mur:		

- Arrière:	Calculé : 13.6 cm	Vérifiée
- Avant:	Calculé : 13.6 cm	Vérifiée
Séparation maximale des armatures horizontales: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum: 25 cm	
Mur:		
- Arrière:	Calculé : 15 cm	Vérifiée
- Avant:	Calculé : 15 cm	Vérifiée
Pourcentage géométrique horizontal minimum par face: <i>BAEL-91, Article SETRA 3.4.3</i>	Minimum : 0.0015	
Mur:		
- Arrière (0.00 m):	Calculé : 0.0041	Vérifiée
- Avant (0.00 m):	Calculé : 0.0041	Vérifiée
- Semelle superficielle:		
- Armature longitudinale inférieure :	Calculé : 15 cm	Vérifiée
- Armature longitudinale supérieure :	Calculé : 15 cm	Vérifiée
- Armature transversale inférieure :	Calculé : 15 cm	Vérifiée
- Armature transversale supérieure	Calculé : 15 cm	Vérifiée
: - Mur:		
Séparation minimale entre barres: <i>Critère de CYPE</i>	Minimum : 10 cm	
Semelle superficielle:		
- Armature longitudinale inférieure :	Calculé : 15 cm	Vérifiée
- Armature longitudinale supérieure :	Calculé : 15 cm	Vérifiée
- Armature transversale inférieure :	Calculé : 15 cm	Vérifiée
- Armature transversale supérieure :	Calculé : 15 cm	Vérifiée
Pourcentage géométrique minimum:	Calculé : 0.00256	
Semelle superficielle:		
- Armature longitudinale inférieure :		
<i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Minimum : 0.001	Vérifiée
- Armature longitudinale supérieure :		
<i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Minimum : 0.0005	Vérifiée
- Armature transversale inférieure :		

<i>Critère de CYPE</i>	Minimum : 0.001	Vérifiée
- Armature transversale supérieure :		
<i>Critère de CYPE</i>	Minimum : 0.001	Vérifiée
Pourcentage mécanique minimal:	Calculé : 0.00256	
Semelle superficielle:		
- Armature longitudinale inférieure :	Minimum : 0	Vérifiée
<i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>		
- Armature longitudinale supérieure :	Minimum : 0	Vérifiée
<i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>		
- Armature transversale inférieure :	Minimum : 0.00015	Vérifiée
<i>BAEL-91, Article A.4.2</i>		
- Armature transversale supérieure :	Minimum : 0.00016	Vérifiée
<i>BAEL-91, Article A.4.2</i>		
- Arrière (0.00 m):	Minimum : 0.0012	
<i>BAEL-91, Article A.4.2, I</i>	Calculé : 0.00307	Vérifiée
Pourcentage géométrique vertical minimum sur la face comprimée:		
Mur:		
- Avant (0.00 m):	Minimum : 0.001	
<i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Calculé : 0.00307	Vérifiée
Référence: Mur en aile de sortie droite		
Vérification	Valeurs	État
Section minimale des armatures verticales de la face comprimée:		
Mur:		
- Avant (0.00 m):	Minimum : 4 cm ² /m	
<i>BAEL-91, Article A.8.1,21</i>	Calculé : 7.69 cm ² /m	Vérifiée
Pourcentage géométrique maximum d'armature verticale total:		
Mur:		
- (1.45 m):	Maximum: 0.05	
<i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Calculé : 0.00615	Vérifiée
Séparation libre minimale des armatures verticales:		
<i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>	Minimum : 2.5 cm	
Mur:		

- Arrière, vertical: - Avant, vertical:	Calculé : 17.2 cm Calculé : 17.2 cm	Vérifiée Vérifiée
- Mur: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Minimum : 0.6 cm Calculé : 1.4 cm	Vérifiée
Longueur de recouvrement: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
Mur: - Base arrière: - Base avant:	Minimum : 0.49 m Calculé : 0.5 m Minimum : 0.29 m	Vérifiée
Contraintes appliquées au sol: <i>Vérification basée sur des critères résistants.</i>		
Semelle superficielle: - Contrainte moyenne: - Contrainte maximale:	Maximum: 0.2 MPa Calculé : 0.0344 MPa Maximum: 0.25 MPa Calculé : 0.0477 MPa	Vérifiée Vérifiée
Flexion dans la semelle: - Armature inf. avant:	Minimum : 0.51 cm ² /m	Vérifiée
Effort tranchant: <i>BAEL-91, Article A.5.2,2</i>	Maximum: 425.8 kN/m	
Semelle superficielle: - Arrière:	Calculé : 6.4 kN/m	Vérifiée
Référence: Mur en aile de sortie droite		
Vérification	Valeurs	État
- Avant:	Calculé : 5.8 kN/m	Vérifiée
Longueur d'ancrage: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
Semelle superficielle: - Attentes arrière:	Minimum : 27.5 cm Calculé : 33.7 cm	Vérifiée

- Attentes avant:	Minimum : 27.5 cm Calculé : 33.7 cm	Vérifiée
- Armature inf. arrière (Crosse):	Minimum : 15.4 cm Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature inf. avant (Crosse):	Minimum : 15.4 cm Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature sup. arrière (Crosse):	Minimum : 15.4 cm Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature sup. avant (Crosse):	Minimum : 15.4 cm Calculé : 20 cm	Vérifiée
Diamètre minimum: <i>Critère de CYPE</i>	Minimum : Ø10	
Semelle superficielle:		
- Armature transversale inférieure :	Calculé : HA14	Vérifiée
- Armature longitudinale inférieure :	Calculé : HA14	Vérifiée
- Armature transversale supérieure :	Calculé : HA14	Vérifiée
- Armature longitudinale supérieure :	Calculé : HA14	Vérifiée
Toutes les conditions sont vérifiées		

Annexe 4 : Dimensionnement manuel du dalot

Dimensionnement de l'ouvrage Franchissement numéro 2 du bassin versant numéro 1

I. Pré dimensionnement de l'ouvrage

Le prédimensionnement de cet ouvrage consistera à définir les épaisseurs du tablier, des pieds droits et celle du radier noté respectivement e_t , e_p et e_R . L'épaisseur du tablier est obtenue par la formule, et $e_t = \frac{l}{32} + 0.125$ avec $l= 2,5 \text{ m}$; $e_t=0.2031$

Il sera considéré dans la suite des travaux $e_t=e_p=e_R = 25 \text{ cm}$.

Détermination de la classe de l'ouvrage :

Classe du pont	Largeur roulable (Lr)
1	$\geq 7\text{m}$
2	$5.5 < lr < 7 \text{ m}$
3	$\leq 5.5\text{m}$

Lr étant égale à 10 mètres, notre dalot est de classe 1

II. Description de l'ouvrage a dimensionné :

Epaisseur du tablier	e= 25cm
Epaisseur du radier	e= 25cm
Epaisseur des pieds droits	e= 25cm
Ouverture hydraulique	2x 2.50 m x2.00 m
Largeur roulable	Lr =10
Largeur chargeable	Lc = lr-0.25x2 = 10-0.25x2 =9 m
Nombre de voies	n=2 voies de 3.5m chacune
Guide roues	25x70 cm ²
Classe de l'ouvrage	Classe 1

III. Hypothèses de calcul

Ce sont les suppositions et les choix techniques sur lequel le projeteur s'est basé pour réaliser son étude technique, ici les hypothèses portent sur deux points les normes et réglementation d'une part et d'autre part sur les caractéristiques des matériaux :

IV. Normes et les réglementations

Ce dimensionnement sera effectué conformément aux prescriptions du titre II du fascicule 61 du C.P.C (cahier de prescription Communes). Les ouvrages seront calculés pour les convois militaires les systèmes de charges A(L), et B (Br, Bc et Br).

Le dimensionnement sera fait conformément aux règles techniques prescrites du Béton Armé aux états limites B. A. E. L. 91 révisé 99.

1. Les matériaux

1.1. Le Remblais

Les remblais utilisés sont :

- Remblais sur dalot en Béton bitumineux $\gamma_d = 20 \text{ KN/m}^3$;
- Remblais d'accès en grave latéritique naturel $\gamma_d = 20 \text{ KN/m}^3$;
- Remblais sur dalot de 0.45 m en grave latéritique naturel $\gamma_d = 20 \text{ KN/m}^3$;
- Le coefficient de poussé des terres $K_a = 0.33$

1.2. Le Béton

Les caractéristiques du béton qui sera utiliser pour le dimensionnement sont :



Densité : 25 KN/m³

Dosage : 400kg/m³

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

Résistance à la traction : $f_{t28} = 0.6 + 0.06x f_{c28} = 2.1 \text{ MPa}$

La contrainte admissible du béton a l'état limite ultime ELU :

$$\sigma_{bc} = \frac{0.85*f_{c28}}{\gamma_d} (9) = \frac{0.85*25}{1.5} = 14.17 \text{ Ma}$$

La contrainte admissible du béton a l'état limite de service ELS :

$$\bar{\sigma}_{bc} = 0.6 \times f_{c28}(9) = 0.6 \times 25 = 15 \text{ MPa}$$

1.3. Les aciers

Les caractérisés des bétons utilisés pour les aciers sont :

La Nuance de l'acier utilisé : (HA) FeE400

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

Contrainte de calcul de l'acier : $\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} (9) = \frac{400}{1.15} = 347,83 \text{ MPa}$

Fissuration préjudiciable : $\bar{\sigma}_s = \min \left\{ \frac{2}{3} f_e ; \max (0.5 f_e ; 110\sqrt{n}f_{t28}) \right\} (9)$

Fissuration préjudiciable : $\bar{\sigma}_s = \min \{266.67 ; \max (200 ; 110\sqrt{1.6 * 2.4})\}$

Fissuration préjudiciable : $\bar{\sigma}_s = \min \{266.67 ; \max (200 ; 215.55)\}, \bar{\sigma}_s = 215.55 \text{ MPa}$

1.4. Méthodologie de calcul

Ce dimensionnement sera fait sur une bande d'un mètre de dalot ($b=1\text{m}$).

L'ouvrage qui fera l'objet de notre étude a une géométrie symétrique et un chargement non symétrique c'est pourquoi nous considérons que les piedroits seront dimensionnés en compression simple, ce qui simplifiera les calculs car le moment au niveau de ces piédroits seront annulés.

Il sera fait usage de la méthode des rotations pour l'étude de l'équilibre des nœuds

Pour la suite de cette étude, il sera désigné par

$M_{i,j}$ = moment statique appliqué au nœud i par la barre ij ;

$m_{i,j}$ = moment d'enca斯特ment appliqué au nœud i par la barre j (déterminé par les Charges appliquées à la barre) ;

$a_{i,j}$ = rotation du nœud i ;

k_1 = caractéristique de la rigidité des barres horizontales = $\frac{2 \times E \times I_1}{L} = \frac{2 \times I_1}{L}$;



k_2 = caractéristique de la rigidité des barres verticales = $\frac{2 \times E \times I_2}{L} = \frac{2 \times I_2}{L}$;

$$M_{ij} = k \times (2 \times a_i \times a_j) + m_{ij};$$

Considérant que le dimensionnement est fait sur une bande de 1 mètre

$$I_1=I_2=\frac{b \times h^3}{12}=\frac{250 \times 1000^3}{12}=2,08.10^{10} \text{ mm}^4$$

$$K_1=\frac{2 \times 2.08.10^{10}}{2750}=1,11.10^7 \text{ N/mm}$$

$$K_2=\frac{2 \times 2.08.10^{10}}{2250}=1,8.10^7 \text{ N/mm}$$

$$2 \times (k_1 + k_2) = 2 \times (1,11. 10^7 \text{ N/m} + 1,8. 10^7 \text{ N/mm}) = \mathbf{5, 82. 10^7 \text{ N/mm}}$$

$$2 \times (2 \times k_1 + k_2) = 2 \times ((2 \times 1,11.10^7 \text{ N/mm}) + 1,8.10^7 \text{ N/mm}) = \mathbf{8. 10^7 \text{ N/mm}}$$

L'équilibre du nœud 1 s'écrit :

$$M_{12} + M_{16} = 0$$

$$k_1 \times (2 \times a_1 + a_2) + m_{12} + k_2 \times (2 \times a_1 + a_6) + m_{16} = 0$$

$$\rightarrow 2(k_1 + k_2) \times a_1 + k_1 \times a_2 + k_2 \times a_6 = - (m_{12} + m_{16})$$

L'écriture des équations d'équilibre à tous les nœuds permettent d'obtenir les 6 équations et les 6 inconnues ($a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$)

$$\text{Nœud 1 : } 2(k_1 + k_2) \times a_1 + k_1 \times a_2 + k_2 \times a_6 = - (m_{12} + m_{16}) = b_1$$

$$\text{Nœud 2 : } 2(2k_1 + k_2) \times a_2 + k_1 \times a_1 + k_1 \times a_3 + k_2 \times a_5 = - (m_{21} + m_{23} + m_{25}) = b_2$$

$$\text{Nœud 3 : } 2(k_1 + k_2) \times a_3 + k_1 \times a_2 + k_2 \times a_4 = - (m_{32} + m_{34}) = b_3$$

$$\text{Nœud 4 : } 2(k_1 + k_2) \times a_4 + k_1 \times a_5 + k_2 \times a_3 = - (m_{43} + m_{45}) = b_4$$

$$\text{Nœud 5 : } 2(2k_1 + k_2) \times a_5 + k_1 \times a_4 + k_1 \times a_6 + k_2 \times a_2 = - (m_{54} + m_{56} + m_{52}) = b_5$$

$$\text{Nœud 6 : } 2(k_1 + k_2) \times a_6 + k_1 \times a_5 + k_2 \times a_1 = - (m_{65} + m_{61}) = b_6$$

3. Détermination des sollicitations

a) Les charges permanentes

✓ Sur le tablier

➤ Poids propre du tablier

$$P_p \text{ tablier} = e_t \times \gamma_b \times 1 = 0.25 \times 25 \times 1 =$$

$$P_p \text{ tablier} = 6.25 \text{ KN/ml}$$

➤ Poids du remblai

$$P_{remblai} = e_r \times \gamma_{remblai} \times 1 = 0.45 \times 20 \times 1 =$$

Premblais = 9 KN/ml

➤ Poids du Béton bitumineux

$$P_{BB} = e_r \times \gamma_{bb} \times 1 = 0.05 \times 25 \times 1 =$$

$$P_{BB} = 1.25 \text{ KN/ml}$$

➤ Poids propre des guides roues

$$P_p \text{ guide roues} = \frac{e \times h \times L \times 2}{L + 2e} = \frac{(0.25 \times 0.7 \times 25 \times 5 \times 2)}{10 + (2 \times 0.25)} = 4.17$$

$$\text{Poids total} = P_p \text{ tablier} + P_{remb} + P_{BB} + P_p \text{ guide roues}$$

$$\text{Poids total sur le tablier} = 6.25 + 9 + 1.25 + 4.1667 = 20.67$$

✓ Sur le radier

➤ Poids du radier

$$P_{rad} = e_r \times \gamma_{bet} \times 1 = 0.05 \times 25 \times 1 = 6.25$$

$$P_{BB} = 6.25 \text{ KN/ml}$$

➤ Poids du piédroit

$$P_{pdroit} = \frac{ep \times h \times \gamma_b \times 1 \times 4}{x_l + 3 \times ep} = \frac{0.25 \times 2 \times 25 \times 1 \times 3}{3 \times 2.25 + 3 \times 0.25} = 10,80$$

$$P_{BB} = 10.80 \text{ KN/ml}$$

✓ Pousses des terres sur les piédroits uniquement

$$Pt = Ka \times pt \times h$$

Avec $Ka = 0.333$ = coefficient de poussée des terres

$pt = 20 \text{ KN/m}^3$ = poids volumique de la terre

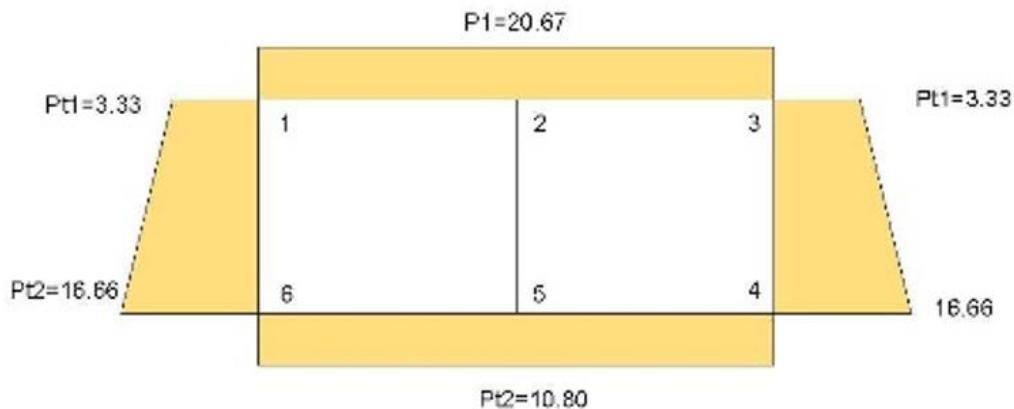
h = hauteur du remblai par rapport au point considéré

$$P(h=0) = P_{to} = 0.333 \times 20 \times 0 = 0 \text{ KN/m}^2$$

$$P(h=0.5) = P_{tl} = 0.333 \times 20 \times 0.36 = 3.33 \text{ KN/m}^2$$

$$P(h=0.5) = P_{tl} = 0.333 \times 20 \times 2.5 = 16.65 \text{ KN/m}^2$$





- ✓ Les effets de passages d'un véhicule sur le remblai

Ces effets sont estimés à $Q_0 = 10 \text{ kN/m}^2$

- ✓ Calcul des moments d'encastrement

$$m_{12} = -P_1 \times \frac{L^2}{12} = -20.67 \times \frac{2.5^2}{12} = -10.77 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{12} = -10.77 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{21} = -m_{12} = 10.77 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{23} = m_{12} = -10.77 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{32} = -m_{23} = 10.77 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{45} = -P_2 \times \frac{L^2}{12} = -11.25 \times \frac{2.5^2}{12} = -5.86 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{45} = -5.86 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{54} = -m_{45} = 5.86 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{56} = m_{45} = -5.86 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{65} = -m_{56} = 5.86 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{61} = -(p_{t2} - p_{t1}) \times \frac{H^2}{20} - p_{t1} \times \frac{H^2}{12} = -\left((16.63 - 3.33) \times \frac{2^2}{20} \right) - (3.33 \times \frac{2^2}{12}) = 3.77$$

$$m_{61} = -3.77 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{43} = m_{61} = -3.77 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{16} = (p_{t2} - p_{t1}) \times \frac{H^2}{20} + p_{t1} \times \frac{H^2}{12} = \left((16.63 - 3.33) \times \frac{2^2}{20} \right) + (3.33 \times \frac{2^2}{12}) = 3.77$$

$$m_{16} = 3.77 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{34} = m_{16} = 3.77 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{25} = m_{52} = 0,00 \text{ KN.m/ml}$$

Le calcul des moments d'encastrement ont permis de d'écrire les équations suivantes :

$$b_1 = -(m_{12} + m_{16}) = 7 \text{ KN.m/ml}$$

$$b_2 = -(m_{21} + m_{23} + m_{25}) = 0 \text{ KN.m/ml}$$

$$b_3 = -(m_{32} + m_{34}) = -14,54 \text{ KN.m/ml}$$

$$b_4 = -(m_{43} + m_{45}) = 9,63 \text{ KN.m/ml}$$

$$b_5 = -(m_{54} + m_{56} + m_{52}) = 0 \text{ KN.m/ml}$$

$$b_6 = -(m_{65} + m_{61}) = -2,09 \text{ KN.m/ml}$$

La suite la résolution du système d'équation donne les résultats suivants :

a1	1,25E-07
a2	7,35E-08
a3	-3,5263E-07
a4	2,87E-07
a5	-6,56E-08
a6	-6,22E-08

Par déduction de la formule citée plus haut, les moments sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Désignation	Résultat en KN/m.ml
M12	-5,60E+00
M21	1,15E+01
M16	6,86E+00
M61	-3,37E+00
M23	-1,03E+01
M32	5,05E+00
M25	7,68E-01
M52	-8,52E-01
M34	2,91E-01
M43	1,58E+00
M45	-6,65E+00

M54	8,26E+00
M56	-8,42E+00
M65	4,63E+00

Détermination des moments isostatiques au milieu des travées du tablier, du radier et des Piédroits

➤ Pour le Tablier :

$$M_{0t} = \frac{P_1 \times l^2 - 20.67 \times 2.5^2}{8} = 16,15 \text{ KN.m/ml}$$

➤ Pour le radier :

$$M_{0t} = \frac{P_2 \times l^2 - 11.25 \times 2.5^2}{8} = 8,79 \text{ KN.m/ml}$$

➤ Piédroit :

$$\frac{p_{t1} \times H^2}{8} + \frac{(P_{t2} - P_{t1}) \times H^2}{8} = \frac{3,33 \times 2^2}{8} + \frac{(16,63 - 3,33) \times 2^2}{8} = 8,315 \text{ KN.m/ml}$$

Travée 1

- Appui gauche : $M_{gt} = M_{12} = -5.6 \text{ KN.m/ml}$
- Appui gauche : $M_{dt} = -M_{21} = -11.5 \text{ KN.m/ml}$

- Au milieu de la travée :

$$M_{tt} = \frac{M_{gt} + M_{dt}}{2} + M_{0t} = \frac{(-5.6 - 11.5)}{2} + 16.15 = 7,6 \text{ KN.m/ml}, M_{tt} = 7,6 \text{ KN.m/ml}$$

Travée 2

- Appui gauche : $M_{gt2} = M_{23} = -10.30 \text{ KN.m/ml}$
- Appui droit : $M_{dt2} = -M_{23} = -5.05 \text{ KN.m/ml}$
- Au milieu de la travée :

$$M_{tt} = \frac{M_{gt} + M_{dt}}{2} + M_{0t} = \frac{(-10,30 - 5,5)}{2} + 16,15 = 8,25 \text{ KN.m/ml}$$

Le tableau ci-dessous est un récapitulatif des moments calculés

Tablier				
Travées	Mot	Mapg	Mapd	Mtt
1	16.15	-5,6	-11,5	7,6



2	16.15	- 10,30	-5,05	8,25
---	-------	---------	-------	------

- Pour le radier
- ✓ Sur la première travée
 - Appui gauche : $M_{r1g} = M_{65} = -8,42$
 - Appui droite : $M_{r1d} = -M_{56} = 4,63$
 - Au milieu de travers
$$M_{tr1} = \frac{M_{gt} + M_{dt}}{2} + M_{0t} = \frac{(-8,42 + 4,63)}{2} + 8,79 = 6,9 KN.m/ml$$
- ✓ Sur la deuxième travée
 - Appui gauche : $M_{r2g} = M_{54} = 8,26$
 - Appui droite : $M_{r2d} = -M_{45} = 6,65$
 - Au milieu de travers
$$M_{tr2} = \frac{M_{gt} + M_{dt}}{2} + M_{0r} = \frac{(8,26 + 6,65)}{2} + 8,79 = 16,245 KN.m/ml$$

Le tableau ci-dessous est un récapitulatif des moments calculés

Radier				
Travées	Mot	Mapg	Mapd	Mtt
1	8,79	-8,42	4,63	6,9
2	8,79	8,26	6,65	16,245

- ➊ Moment maximal sur les piédroits
- ✓ Piédroit extrême gauche
 - Appui inférieur : $M_{trinf} = M_{61} = -3,37$
 - Appui inférieur : $M_{trsup} = -M_{16} = -6,86$
 - Au milieu de la travée : $M_{ptr} = 3,185$
- ✓ Piédroit intérieur
 - Appui inférieur : $M_{trinf} = M_{52} = -0,85$
 - Appui inférieur : $M_{trsup} = -M_{25} = 0,76$
 - Au milieu de la travée : $M_{pti1} = 7,51$
- ✓ Piédroit Extrême droit
 - Appui inférieur : $M_{trinf} = M_{43} = 1,58$

- Appui inférieur : $M_{trs} = -M_{34} = -0,29$
- Au milieu de la travée : $M_{pti2} = -M_{34} = 8.725$

Piédroit				
Travées	Mop	Mapinf	Mapsup	Mtt
Extrême gauche	8,315	-3,37	-6,86	3,185
Intérieur 1	8,315	-0,85	-0,76	7,51
Extrême droite	8,315	1,58	-0,29	8,725

Calcul des réactions aux appuis

Pour le tablier

Tablier						
Travées	g1	L	Mad	Magt	Ragt	Rad
1	16.15	2,5	-5,6	-11,5	19,77	23,66
2	16.15	2,5	- 10,30	-5,05	24,02	19,41

Pour le radier

Radier						
Travées	Mot	Mapg	Mapd	Mtt	Ragt	Rad
1	8,79	-8,42	4,63	6,9	-14,46	-17,46
2	8,79	8,26	6,65	16,245	-18,85	-13,07

Pour les Piédroits

Efforts à prendre en compte dans les piédroits		
Piédroit extérieur gauche	Pextg	34,23
Piédroit intérieur 1	Pint1	82,24
Piédroit extérieur droit	Pint2	42,87

b) Les sous-systèmes de charges

1. Le sous-système A

$$Q(L) = \sup\{a_1 \cdot A(L); (4 - 0,002L)\}(10)$$

L: Largeur chargée

a₁: degré d'agressivité transversal donné dans le tableau en fonction de la classe



Sachant que l'ouvrage qui fait l'objet de ce dimensionnement est de la 1^{ère} classe et qu'il a un nombre de voies égale à 2 ; $a_1 = 1$

Déterminons A(L)

$$A(L) = 2,3 + \frac{360}{L_c + 12} = 2,3 + \frac{360}{10 + 12} = 18,66 \text{ KN/m}^2$$

$$4 - 0.002L = 4 - 0.002 \times 10 = 3.98$$

$$Q(L) = 18,66 KN/m$$

Soit Q_A la charge du système A :

$a_2 = \frac{v_0}{n}$ (10) Avec $v_0 = 3,5$ car on est dans la première classe

$$a_2 = \frac{3,5}{3} = 1,17$$

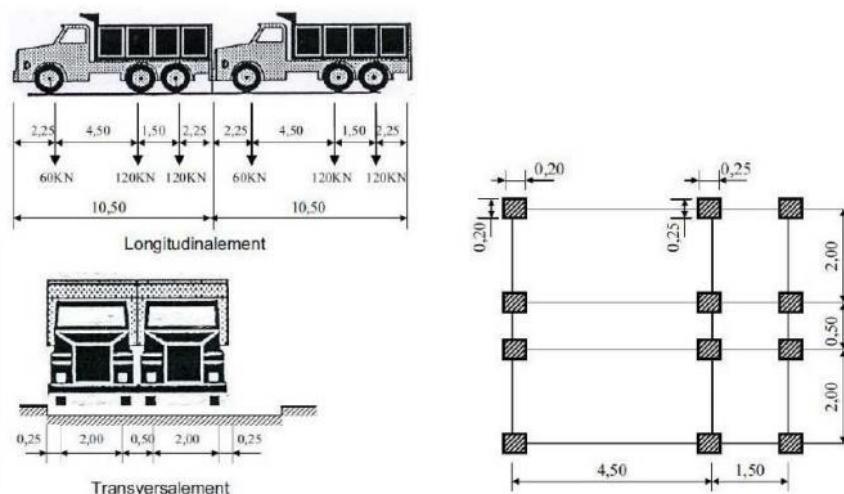
$$Q_A = 1,2 \times 1,17 \times 18,66$$

$$Q_A = 26,19 \text{ kN/m}^2 / \text{ml}$$

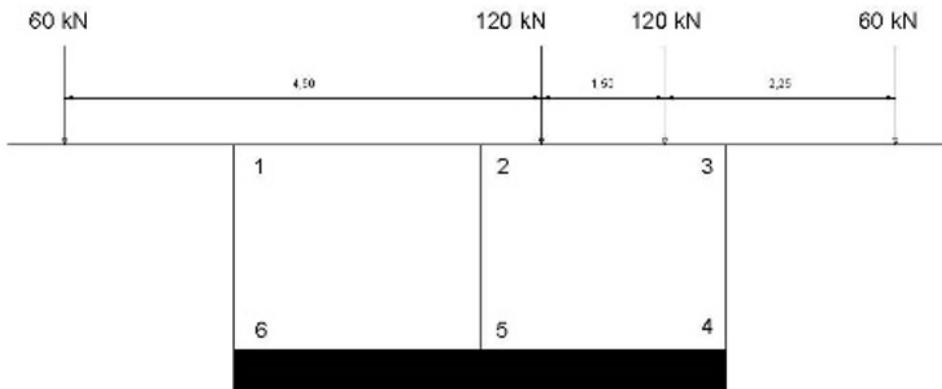
Les surcharges de ce type ne seront pas les plus défavorable car la largeur roulable étant inférieur à 20 mètres

2. Le sous-système de charge BC

Ce sous système est représenté par l'image ci-après



La modélisation de ce sous-système permet la modélisation suivante :



Dans le système Bc, le cas le plus défavorable est celui où les huit des deux files de camions sont sur la même travée. Dans la suite du dimensionnement, les charges les plus défavorables seront transformées en charge de surface.

Le coefficient pour ce type de surcharge (bc) est fonction du nombre de voies et du type d'ouvrage est égale à 1,10.

➤ Sur le tablier

$$P_1 = \frac{Q \times b_c}{S_{encomb}}$$

$$P'_1 = \frac{8 \times 60 \times 1}{2,5 \times 6,75} \times 1,1 = 28,44 KN/m/ml$$

➤ Sur le radier

$$P'_2 = \frac{2 \times (120 + 120 + 60 + 60)}{5 \times 10} \times 1,1 = 14,4 KN/m/ml$$

➤ Sur un piédroit

$$P_t = 1,2 \times P_o \times bc \times 1 = 1,2 \times 10 \times 1,1 \times 1 = 13, KN/m^2 /ml$$

Le coefficient de majoration dynamique est de :

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

Avec L= Max (Largeur roulable ; portée de la travée) d'où $L = \max(10; 2,5) = 10m$

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

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

G = Poids propre du tablier + accessoires

$$G = (25 \times 0,25 \times 10 \times 2,5) + (1,25 \times 2,5) + (9 \times 2,5) + (4,17 \times 2,5)$$



$$G = 192,3 \text{ KN}$$

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

Détermination du coefficient dynamique

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1+(0,2 \times 10)} + \frac{0,6}{1+4 \times \frac{G}{Q}} \quad (10) = 1 + 0,133 + 0,23$$

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1+(0,2 \times 10)} + \frac{0,6}{1+4 \times \frac{192,3}{480}} = 1 + 0,133 + 0,23$$

$$\delta = 1,36$$

3. Le sous-système Br.

Le sous-système Br permet de vérifier le poinçonnement du tablier par la méthode dite de BOUSSINESQ. Cette méthode vérifie le poinçonnement sur une surface de $0,3 \times 0,6 \text{ m}^2$

Détermination de q'

$$B \times L = [(B + z) \times (L + Z)]$$

$$= [(0,6 + 0,125) \times (0,3 + 0,125)]$$

$$B \times L = 0,31 \text{ m}^2$$

$$q' = \frac{10}{0,31} = 32,25 \text{ t/m}^2$$

$$G = 1 \times 2,5 \text{ t}$$

$$S = q' \times 2,5 = 32,25 \times 2,5 = 80,63 \text{ t}$$

$$\delta = 1,41$$

$$q_{br} = 1,41 \times 32,25 = 45,47 \text{ t/m}^2$$

Vérification du poinçonnement

Posons

$$Q_u = 0,045 \times U_c \times h \times \frac{f_{28}}{\gamma_b} \text{ avec } Q_u = 1,5 \times P = 15 \text{ t} \quad (10)$$

$$U_c = 2 \times (B + z + L + Z) = 2 \times (0,6 + 0,49 + 0,3 + 0,49) = 3,76$$

$$0,045 \times U_c \times h \times \frac{f_{c28}}{\gamma_b} = 0,045 \times 3,76 \times 0,25 \times \frac{25}{1,5} = 0,71 \text{ Mpa}$$

Vu $0,15 < 0,71$, le poinçonnement est vérifié.

4. Le sous-système Bt

Déterminons les charges reparties

➤ Sur le tablier



$$P_1 = \frac{Q \times b_t}{S_{encomb}}$$

$$P''_1 = \frac{(8 \times 80 \times 1 \times 1)}{2,35 \times 6,75} = 40,35 \text{ KN/m}^2 / \text{ml}$$

Sur le radier

$$P''_2 = \frac{(320 \times 2 \times 1 \times 1)}{5 \times 10} = 12,8 \text{ KN/m}^2 / \text{ml}$$

➤ Sur le piédroit uniquement (sur le piédroit gauche)

$$P_t = 1,2 \times P_0 \times 1 \times 1 = 1,2 \times 10 \times 1 \times 1 = 12 \text{ KN/m}^2 / \text{ml}$$

Détermination du coefficient de majoration dynamique :

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1+(0,2 \times 10)} + \frac{0,6}{1+4 \times \frac{G}{Q}}$$

$$G = 192,3 \text{ KN}$$

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

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1+(0,2 \times 10)} + \frac{0,6}{1+4 \times \frac{192,3}{640}} = 1 + 0.133 + 0.27$$

$$\delta = 1,40$$

Vérification de la contrainte sur le sol :

soit Q_{adm} , la contrainte transmise au sol

$$Q_{adm} = P_2 + P''_2 + (0,8 \times 25)$$

$$Q_{adm} = 11,25 + 12,8 + (0,8 \times 25) = 44,05 \text{ KN/m}^2 / \text{ml}$$

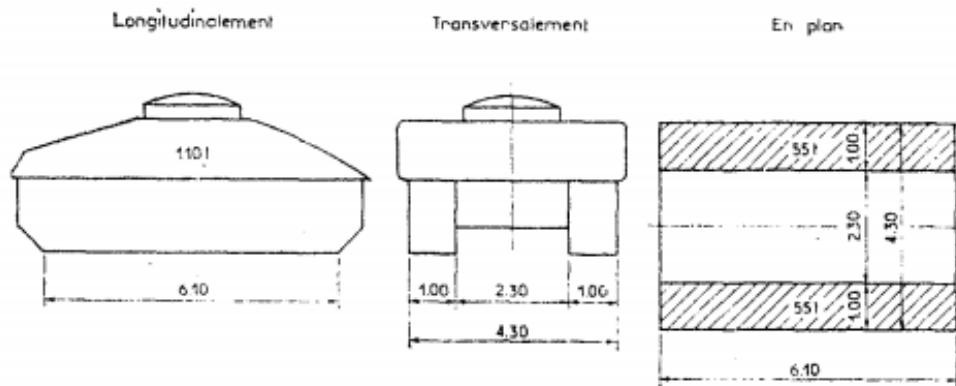
$$Q_{adm} = 44,05 \text{ KN/m}^2 / \text{ml}$$

$$Q_{adm} = 0,45 \text{ bar} < 1,5 \text{ bar} \text{ La condition est vérifiée.}$$

5. Les charges militaires

Selon le fascicule 61 titre II, il existe deux types de charges militaire, il s'agit de la charge militaire M80 et la charge Militaire M120. Il est pertinent de les considérer car cette route a vocation à désenclaver une grande zone et est donc susceptible de d'être emprunter par des convois militaires. Pour la suite de ce dimensionnement, il sera considéré la charge Mc120.

Il faut noter que pour la charge militaire, un seul convoi est considéré quel que soit la longueur du convoi, ci-dessous la matérialisation du convoi Mc120.



➤ Sur le tablier

$$P_1 = \frac{Q}{S_{encomb}}$$

$$P''_1 = \frac{(2 \times 550)}{(2 \times 2,5 \times 4,3)} \times 1,1 = 51,16 KN/m/ml$$

➤ Sur le radier

$$P''_2 = \frac{2 \times 550}{5 \times 10} \times 1,1 = 22 KN/m^2/ml$$

➤ Sur un piédroit

$$P_t = 1,2 \times P_o \times 1 \times 1 = 1,2 \times 10 \times 1,1 \times 1 = 12 KN/m^2 /ml$$

Le coefficient de majoration dynamique est de :

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

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1+0,2L} + \frac{0,6}{1+4 \times \frac{192,3}{1100}} = 1 + 0,13 + 0,35$$

$$\delta = 1,48$$

Après le calcul des coefficients dynamiques, il sera choisi pour la suite des calculs le maximum d'entre eux conformément à la formule ($\delta = \max(1,36; 1,40; 1,48)$) .

Alors $\delta = 1,48$

c) Détermination des sollicitations dues aux surcharges

1. Sous système BC

➤ Sur le tablier

$$P = \delta \times P'_1 = 1,48 \times 28,44 = 42,1 KN/ml$$

- Sur le radier

$$P = \delta \times P'_2 = 1,48 \times 14,4 = 21,31 \text{ KN/ml}$$

- Sur un piédroit

$$P = \delta \times P_{t2} = 1,48 \times 13,2 = 19,54 \text{ KN/ml}$$

- ✓ Calcul des moments d'encastrement

$$m_{45} = -P_2 \times \frac{L^2}{12} = 40,1 \times \frac{2,5^2}{12} = -20,89 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{12} = -20,89 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{21} = -m_{12} = 20,89 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{23} = m_{12} = -20,89 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{32} = -m_{23} = 20,89 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{45} = -P_2 \times \frac{L^2}{12} = 19,44 \times \frac{2,5^2}{12} = -10,125 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{45} = -10,125 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{54} = -m_{45} = 10,125 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{56} = m_{45} = -10,125 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{65} = -m_{56} = 10,125 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{61} = -(p_{t2} - p_{t1}) \times \frac{H^2}{20} - p_{t1} \times \frac{H^2}{12} = -\left((16,65 - 3,33) \times \frac{2^2}{20} \right) - (16,65 \times \frac{2^2}{12}) =$$

$$m_{61} = -3,77 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{43} = m_{61} = -3,77 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{16} = (p_{t2} - p_{t1}) \times \frac{H^2}{20} + p_{t1} \times \frac{H^2}{12} = \left((16,63 - 3,33) \times \frac{2^2}{20} \right) + (3,33 \times \frac{2^2}{12}) = 3,77$$

$$m_{16} = 3,77 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{34} = m_{16} = 3,77 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{25} = m_{52} = 0,00 \text{ KN.m/ml}$$

Le calcul des moments d'encastrement ont permis de d'écrire les équations suivantes :

$$b_1 = -(m_{12} + m_{16}) = 17,12 \text{ KN.m/ml}$$

$$b_2 = -(m_{21} + m_{23} + m_{25}) = 0 \text{ KN.m/ml}$$

$$b_3 = -(m_{32} + m_{34}) = -10,765 \text{ KN.m/ml}$$

$$b_4 = -(m_{43} + m_{45}) = -13,895 \text{ KN.m/ml}$$



$$b_5 = -(m_{54} + m_{56} + m_{52}) = 0 \text{ KN.m/ml}$$

$$b_6 = -(m_{65} + m_{61}) = -13,895 \text{ KN.m/ml}$$

La suite la résolution du système d'équation donne les résultats suivants :

a1	4,3914E-07
a2	-9,7436E-07
a3	3,1822E-07
a4	-3,7128E-07
a5	1,7889E-08
a6	-4,0868E-08

Par déduction de la formule citée plus haut, les moments sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Désignation	Résultat en KN/m.ml
M12	-2,26E+01
M21	-6,28E+00
M23	-5,02E+01
M32	1,48E+01
M45	-2,32E+01
M54	4,09E+00
M56	-1,02E+01
M65	8,98E+00
M16	1,31E+01
M61	1,97E-01
M25	-2,14E+01
M52	-1,04E+01
M34	6,71E+00
M43	-8,48E+00

Détermination des moments isostatiques au milieu des travées du tablier, du radier et des Piédroits.

Pour le Tablier :

$$M_{0t} = \frac{P_1 \times l^2 - 42,1 \times 2,5^2}{8} = 32,89 \text{ KN.m/ml}$$

Pour le radier :

$$M_{0r} = \frac{P_2 \times l^2 - 21,31 \times 2^2}{8} = 10,655 \text{ KN.m/ml}$$

Piédroit :

$$\frac{p_{t1} \times H^2}{8} + \frac{(P_{t2} - P_{t1}) \times H^2}{8} = \frac{3,33 \times 2^2}{8} + \frac{(16,63 - 3,33) \times 2^2}{8} = 8,315 \text{ KN.m/ml}$$

Travée 1

- Appui gauche : $M_{gt} = M_{12} = -2,26 \text{ KN.m/ml}$
- Appui gauche : $M_{dt} = -M_{21} = -6,28 \text{ KN.m/ml}$
- Au milieu de la travée :

$$M_{tt} = \frac{M_{gt} + M_{dt}}{2} + M_{0t} = \frac{(-2,26 - 6,28)}{2} + 32,89 = 28,62 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{tt} = 28,62 \text{ KN.m/ml}$$

Travée 2

- Appui gauche : $M_{gt2} = M_{23} = -50,2 \text{ KN.m/ml}$
- Appui droit : $M_{dt2} = -M_{23} = -14,8 \text{ KN.m/ml}$
- Au milieu de la travée :

$$M_{tt} = \frac{M_{gt} + M_{dt}}{2} + M_{0t} = \frac{(-50,2 - 14,8)}{2} + 32,89 = 0,39 \text{ KN.m/ml}$$

Le tableau ci-dessous est un récapitulatif des moments calculés

Tablier				
Travées	Mot	Mapg	Mapd	Mtt
1	16.15	-2,26	-6,28	28,62
2	16.15	-50,2	-14,8	0,39

Pour le radier

Sur la première travée

- Appui gauche : $M_{r1g} = M_{65} = 8,98$

- Appui droite : $M_{r1d} = -M_{56} = -10,2$
- Au milieu de travers

$$M_{tr1} = \frac{M_{gt} + M_{dt}}{2} + M_{0r} = \frac{(8,98 - 10,2)}{2} + 10,655 = 10,045 KN.m/ml$$

Sur la deuxième travée

- Appui gauche : $M_{r2g} = M_{54} = 4,09$
- Appui droite : $M_{r2d} = -M_{45} = 2,32$
- Au milieu de travers

$$M_{tr2} = \frac{M_{gt} + M_{dt}}{2} + M_{0r} = \frac{(4,09 + 2,32)}{2} + 10,655 = 13,86 KN.m/ml$$

Le tableau ci-dessous est un récapitulatif des moments calculés

Radier				
Travées	Mot	Mapg	Mapd	Mtt
1	8,79	8,98	-10,045	10,045
2	8,79	4,09	2,32	13,86

Moment maximal sur les piédroits

Piédroit extrême gauche

- Appuis inférieurs : $M_{trinf} = M_{61} = -3,37$
- Appuis supérieurs : $M_{trsup} = -M_{16} = -6,86$
- Au milieu de la travée :

$$M_{peg} = \frac{M_{gt} + M_{dt}}{2} + M_{0pdr} = \frac{(-3,37 - 6,86)}{2} + 6,51 = 13,86 KN.m/ml$$

$$M_{peg} = 13,86 KN.m/ml$$

Piédroit intérieur

- Appui inférieur : $M_{trinf} = M_{52} = -0,85$
 - Appui inférieur : $M_{trsup} = -M_{25} = 0,76$
- $$M_{pint} = \frac{M_{gt} + M_{dt}}{2} + M_{0pdr} = \frac{(-0,85 + 0,76)}{2} + 6,51 = 6,465 KN.m/ml$$
- Au milieu de la travée : $M_{pint} = 6,465 KN.m/ml$

Piédroit Extrême droit



- Appui inférieur : $M_{trinf} = M_{43} = -8,48$
- Appui inférieur : $M_{trsop} = -M_{34} = -6,71$
- Au milieu de la travée :

$$M_{ped} = \frac{M_{gt} + M_{dt}}{2} + M_{0pdr} = \frac{(-8,48 - 6,71)}{2} + 6,51 = 1,085 KN.m/ml$$

$$M_{ped2} = 1,085 KN.m/ml$$

Piédroit				
Travées	Mop	Mapinf	Mapsup	Mtt
Extrême gauche	6,51	-3,37	-6,86	13,86
Intérieur 1	6,51	-0,85	0,76	6,465
Extrême droite	6,51	-8,48	-6,71	1,085

Calcul des réactions aux appuis

Pour le tablier

Tablier						
Travées	Mot	Mapg	Mapd	Mtt	Ragt	Radt
1	16,15	-2,26	-6,28	28,62	47,13	58,09
2	16,15	- 50,2	-14,8	0,39	59,95	45,27

Pour le radier

Radier						
Travées	Mot	Mapg	Mapd	Mtt	Ragr	Radr
1	8,79	8,98	-10,045	10,045	-23,04	-30,24
2	8,79	4,09	2,32	13,86	-32,14	-21,14

Pour les Piédroits

Efforts à prendre en compte dans les piédroits		
Piédroit extérieur gauche	Pextg	70,17

Piédroit intérieur 1	Pint1	176,67
Piédroit extérieur droit	Pextd	92,09

d) Détermination des sollicitations dues aux surcharges

2. Sous système Bt

➤ Sur le tablier

$$P = \delta \times P'_1 = 1,48 \times 40,35 = 54,47 \text{ KN/ml}$$

➤ Sur le radier

$$P = \delta \times P'_2 = 1,48 \times 12,8 = 17,28 \text{ KN/ml}$$

➤ Sur un piédroit

$$P = \delta \times P_{t2} = 1,48 \times 12 = 17,76 \text{ KN/ml}$$

✓ Calcul des moments d'encastrement

$$m_{12} = -P_2 \times \frac{L^2}{12} = -59,72 \times \frac{2,5^2}{12} = -31,104 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{12} = -31,104 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{21} = -m_{12} = 31,104 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{23} = m_{12} = -31,104 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{32} = -m_{23} = 31,104 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{45} = -P_2 \times \frac{L^2}{12} = 19,44 \times \frac{2,5^2}{12} = -10,125 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{45} = -10,125 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{54} = -m_{45} = 10,125 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{56} = m_{45} = -10,125 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{65} = -m_{56} = 10,125 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{61} = -(p_{t2} - p_{t1}) \times \frac{H^2}{20} - p_{t1} \times \frac{H^2}{12} = -\left((16,65 - 3,33) \times \frac{2^2}{20} \right) - (16,65 \times \frac{2^2}{12}) =$$

$$m_{61} = -3,77 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{43} = m_{61} = -3,77 \text{ KN.m/ml}$$



$$m_{16} = (p_{t2} - p_{t1}) \times \frac{H^2}{20} + p_{t1} \times \frac{H^2}{12} = \left((16,63 - 3,33) \times \frac{2^2}{20} \right) + (3,33 \times \frac{2^2}{12}) = 3.77$$

$$m_{16} = 3,77 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{34} = m_{16} = 3,77 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{25} = m_{52} = 0,00 \text{ KN.m/ml}$$

Le calcul des moments d'encastrement ont permis de d'écrire les équations suivantes :

$$b_1 = -(m_{12} + m_{16}) = 27,334 \text{ KN.m/ml}$$

$$b_2 = -(m_{21} + m_{23} + m_{25}) = 0 \text{ KN.m/ml}$$

$$b_3 = -(m_{32} + m_{34}) = -31,81 \text{ KN.m/ml}$$

$$b_4 = -(m_{43} + m_{45}) = 13,895 \text{ KN.m/ml}$$

$$b_5 = -(m_{54} + m_{56} + m_{52}) = 0 \text{ KN.m/ml}$$

$$b_6 = -(m_{65} + m_{61}) = -13,895 \text{ KN.m/ml}$$

La suite la résolution du système d'équation donne les résultats suivants :

a1	5,9274E-07
a2	6,4067E-08
a3	-5,3097E-07
a4	-8,9934E-08
a5	8,0773E-08
a6	-4,3747E-08

Par déduction de la formule citée plus haut, les moments sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Désignation	Résultat en KN/m.ml
M12	-8,61E+00
M21	4,41E+01
M23	-3,84E+01
M32	1,31E+01
M45	-1,19E+01
M54	1,14E+01
M56	-8,00E+00

M65	1,01E+01
M16	1,64E+01
M61	1,84E+00
M25	2,32E+00
M52	2,50E+00
M34	-9,02E+00
M43	-1,17E+01

Détermination des moments isostatiques au milieu des travées du tablier, du radier et des Piédroits

Pour le Tablier :

$$M_{0t} = \frac{P_1 \times l^2 - 54,47 \times 2,5^2}{8} = 42,55 \text{ KN.m/ml}$$

Pour le radier :

$$M_{0r} = \frac{P_2 \times l^2 - 17,31 \times 2^2}{8} = 10,655 \text{ KN.m/ml}$$

Piédroit :

$$\frac{p_{t1} \times H^2}{8} + \frac{(P_{t2} - P_{t1}) \times H^2}{8} = \frac{3,33 \times 2^2}{8} + \frac{(16,63 - 3,33) \times 2^2}{8} = 8,315 \text{ KN.m/ml}$$

Travée 1

- Appui gauche : $M_{gt} = M_{12} = -8,61 \text{ KN.m/ml}$
- Appui gauche : $M_{dt} = -M_{21} = 44,1 \text{ KN.m/ml}$
- Au milieu de la travée :

$$M_{tt} = \frac{M_{gt} + M_{dt}}{2} + M_{0t} = \frac{(-8,61 + 44,1)}{2} + 42,55 = 60,30 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{tt} = 28,62 \text{ KN.m/ml}$$

Travée 2

- Appui gauche : $M_{gt2} = M_{23} = -38,4 \text{ KN.m/ml}$
- Appui droit : $M_{dt2} = -M_{32} = -13,1 \text{ KN.m/ml}$
- Au milieu de la travée :

$$M_{tt} = \frac{M_{gt} + M_{dt}}{2} + M_{0t} = \frac{(-50,2 - 14,8)}{2} + 42,55 = 16,8 \text{ KN.m/ml}$$

Le tableau ci-dessous est un récapitulatif des moments calculés

Tablier				
Travées	Mot	Mapg	Mapd	Mtt
1	42,55	-8,61	44,61	28,62
2	42,55	- 38,4	-13,1	16,8

Pour le radier

Sur la première travée

- Appui gauche : $M_{r1g} = M_{65} = -10,1$
- Appui droite : $M_{r1d} = -M_{56} = 8$
- Au milieu de travers

$$M_{tr1} = \frac{M_{gt} + M_{dt}}{2} + M_{0r} = \frac{(10,1+8)}{2} + 10,655 = 19,705 KN.m/ml$$

Sur la deuxième travée

- Appui gauche : $M_{r2g} = M_{54} = 11,4$
- Appui droite : $M_{r2d} = -M_{45} = 11,9$
- Au milieu de travers

$$M_{tr2} = \frac{M_{gt} + M_{dt}}{2} + M_{0r} = \frac{(11,4+11,9)}{2} + 10,655 = 22,305 KN.m/ml$$

Le tableau ci-dessous est un récapitulatif des moments calculés

Radier				
Travées	Mot	Mapg	Mapd	Mtt
1	10,655	-8	-10,1	19,705
2	10,655	11,4	11,9	22,305

Moment maximal sur les piédroits

Piédroit extrême gauche

- Appui inférieur : $M_{trinf} = M_{61} = 1,84$
- Appui inférieur : $M_{trsup} = -M_{16} = 1,64$
- Au milieu de la travée :

$$M_{peg} = \frac{M_{gt} + M_{dt}}{2} + M_{0pdr} = \frac{(1,84 + 1,64)}{2} + 8,315 = 10,055 KN.m/ml$$



$$M_{peg} = 10,055 \text{ KN.m/ml}$$

Piédroit intérieur

- Appui inférieur : $M_{trinf} = M_{52} = 2,5$
- Appui inférieur : $M_{trs} = -M_{25} = -2,32$

$$M_{pint} = \frac{M_{gt} + M_{dt}}{2} + M_{0pdr} = \frac{(2,5 - 2,32)}{2} + 8,315 = 8,405 \text{ KN.m/ml}$$

- Au milieu de la travée : $M_{pint} = 8,405 \text{ KN.m/ml}$

Piédroit Extrême droit

- Appui inférieur : $M_{trinf} = M_{43} = -11,7$
- Appui inférieur : $M_{trs} = -M_{34} = 9,02$
- Au milieu de la travée :

$$M_{ped} = \frac{M_{gt} + M_{dt}}{2} + M_{0pdr} = \frac{(-11,7 + 9,02)}{2} + 8,315 = 6,975 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{ped2} = 6,975 \text{ KN.m/ml}$$

Piédroit				
Travées	Mop	Mapinf	Mapsup	Mtt
Extrême gauche	8,315	1,84	1,64	10,055
Intérieur 1	8,315	2,5	-2,32	8,405
Extrême droite	8,315	-11,7	9,02	6,975

Calcul des réactions aux Appui

Pour le tablier

Tablier						
Travées	Mot	Mapg	Mapd	Mtt		
1	42,55	-8,61	44,61	28,62	66,86	82,43
2	42,55	-38,4	-13,1	16,8	84,12	65,17

Pour le radier

Radier		
--------	--	--



Travées	Mot	Mapg	Mapd	Mtt		
1	10,655	-8	-10,1	19,705	-19,59	-27,77
2	10,655	11,4	11,9	22,305	-29,50	-17,86

Pour les Piédroits

Efforts à prendre en compte dans les piédroits		
Piédroit extérieur gauche	Pextg	86,45
Piédroit intérieur 1	Pint1	220,40
Piédroit extérieur droit	Pextd	113,62

3. Charges militaires

- Sur le tablier

$$P = \delta \times P'''_1 = 1,48 \times 51,16 = 75,71 \text{ KN/ml}$$

- Sur le radier

$$P = \delta \times P'''_2 = 1,48 \times 22 = 32,56 \text{ KN/ml}$$

- Sur un piédroit

$$P = \delta \times P_{t2} = 1,48 \times 12 = 17,76 \text{ KN/ml}$$

- ✓ Calcul des moments d'encastrement

$$m_{12} = -P_2 \times \frac{L^2}{12} = -75,71 \times \frac{2,5^2}{12} = -39,43 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{12} = -39,43 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{21} = -m_{12} = 39,43 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{23} = m_{12} = -39,43 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{32} = -m_{23} = 39,43 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{45} = -P_2 \times \frac{L^2}{12} = 32,56 \times \frac{2,5^2}{12} = -16,96 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{45} = -16,96 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{54} = -m_{45} = 16,96 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{56} = m_{45} = -16,96 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{65} = -m_{56} = 16,96 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{61} = -(p_{t2} - p_{t1}) \times \frac{H^2}{20} - p_{t1} \times \frac{H^2}{12} = -\left((16,65 - 3,33) \times \frac{2^2}{20} \right) - (16,65 \times \frac{2^2}{12}) =$$



$$m_{61} = -3,77 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{43} = m_{61} = -3,77 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{16} = (p_{t2} - p_{t1}) \times \frac{H^2}{20} + p_{t1} \times \frac{H^2}{12} = \left((16,63 - 3,33) \times \frac{2^2}{20} \right) + (3,33 \times \frac{2^2}{12}) = 3,77$$

$$m_{16} = 3,77 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{34} = m_{16} = 3,77 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{25} = m_{52} = 0,00 \text{ KN.m/ml}$$

Le calcul des moments d'encastrement ont permis de d'écrire les équations suivantes :

$$b_1 = -(m_{12} + m_{16}) = 33,3 \text{ KN.m/ml}$$

$$b_2 = -(m_{21} + m_{23} + m_{25}) = 0 \text{ KN.m/ml}$$

$$b_3 = -(m_{32} + m_{34}) = -12,48 \text{ KN.m/ml}$$

$$b_4 = -(m_{43} + m_{45}) = 13,895 \text{ KN.m/ml}$$

$$b_5 = -(m_{54} + m_{56} + m_{52}) = 0 \text{ KN.m/ml}$$

$$b_6 = -(m_{65} + m_{61}) = -13,895 \text{ KN.m/ml}$$

La suite la résolution du système d'équation donne les résultats suivants :

a1	7,26E-07
a2	-1,33E-08
a3	-1,44E-07
a4	-2,21E-07
a5	1,40E-07
a6	-4,90E-07

Par déduction de la formule citée plus haut, les moments sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Désignation	Résultat en KN/m.ml
M12	-1,35E+01
M21	5,2E+01
M23	-4,25E+01
M32	3,4E+01
M45	-2,24E+01
M54	1,80E+01

M56	-2,08E+00
M65	1,70E+01
M16	1,45E+01
M61	-6,59E+00
M25	1,26E+00
M52	2,95E+00
M34	-1,87E+00
M43	-1,03E+01

Détermination des moments isostatiques au milieu des travées du tablier, du radier et des Piédroits

Pour le Tablier :

$$M_{0t} = \frac{P_1 \times l^2}{8} = \frac{75,71 \times 2,5^2}{8} = 56,15 \text{ KN.m/ml}$$

Pour le radier :

$$M_{0r} = \frac{P_2 \times l^2}{8} = \frac{32,56 \times 2^2}{8} = 16,28 \text{ KN.m/ml}$$

Piédroit :

$$\frac{p_{t1} \times H^2}{8} + \frac{(P_{t2} - P_{t1}) \times H^2}{8} = \frac{3,33 \times 2^2}{8} + \frac{(16,63 - 3,33) \times 2^2}{8} = 8,315 \text{ KN.m/ml}$$

Travée 1

- Appui gauche : $M_{gt} = M_{12} = -13,52 \text{ KN.m/ml}$
- Appui gauche : $M_{dt} = -M_{21} = -52,02 \text{ KN.m/ml}$
- Au milieu de la travée :

$$M_{tt} = \frac{M_{gt} + M_{dt}}{2} + M_{0t} = \frac{(-13,52 - 52,02)}{2} + 59,15 = 26,38 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{tt} = 26,38 \text{ KN.m/ml}$$

Travée 2

- Appui gauche : $M_{gt2} = M_{23} = -42,5 \text{ KN.m/ml}$
- Appui droit : $M_{dt2} = -M_{32} = -34,02 \text{ KN.m/ml}$
- Au milieu de la travée :

$$M_{tt} = \frac{M_{gt} + M_{dt}}{2} + M_{0t} = \frac{(-42,5 - 34,02)}{2} + 59,15 = 20,89 \text{ KN.m/ml}$$

Le tableau ci-dessous est un récapitulatif des moments calculés

Tablier				
Travées	Mot	Mapg	Mapd	Mtt
1	59,15	-13,5	-52	26,38
2	59,15	- 42,5	-34	20,89

Pour le radier

Sur la première travée

- Appui gauche : $M_{r1g} = M_{65} = 16,96$
- Appui droite : $M_{r1d} = -M_{56} = 20,75$
- Au milieu de travers

$$M_{tr1} = \frac{M_{gt} + M_{dt}}{2} + M_{0r} = \frac{(16,96 + 20,75)}{2} + 16,28 = 35,135 KN.m/ml$$

Sur la deuxième travée

- Appui gauche : $M_{r2g} = M_{54} = 18,01$
- Appui droite : $M_{r2d} = -M_{45} = 22,4$
- Au milieu de travers

$$M_{tr2} = \frac{M_{gt} + M_{dt}}{2} + M_{0r} = \frac{(18,01 + 22,4)}{2} + 16,28 = 36,485 KN.m/ml$$

Le tableau ci-dessous est un récapitulatif des moments calculés

Radier				
Travées	Mot	Mapg	Mapd	Mtt
1	16,28	16,96	20,75	35,135
2	16,28	18,01	22,40	36,485

Moment maximal sur les piédroits

Piédroit extrême gauche

- Appui inférieur : $M_{trinf} = M_{61} = -6,59$
- Appui inférieur : $M_{trsup} = -M_{16} = -14,45$
- Au milieu de la travée :

$$M_{peg} = \frac{M_{gt} + M_{dt}}{2} + M_{0pdr} = \frac{(-6,59 - 14,45)}{2} + 8,315 = -2,205 KN.m/ml$$

$$M_{peg} = -2,205 KN.m/ml$$



Piédroit intérieur

- Appui inférieur : $M_{trinf} = M_{52} = 2,95$
- Appui inférieur : $M_{trsop} = -M_{25} = -1,26$

$$M_{pint} = \frac{M_{gt} + M_{dt}}{2} + M_{0pdr} = \frac{(2,95 - 1,26)}{2} + 8,315 = 9,16 KN.m/ml$$

- Au milieu de la travée : $M_{pint} = 8,405 KN.m/ml$

Piédroit Extrême droit

- Appui inférieur : $M_{trinf} = M_{43} = -10,27$
- Appui inférieur : $M_{trsop} = -M_{34} = 1,87$
- Au milieu de la travée :

$$M_{ped} = \frac{M_{gt} + M_{dt}}{2} + M_{0pdr} = \frac{(-10,27 + 1,87)}{2} + 8,315 = 4,115 KN.m/ml$$

$$M_{ped2} = 4,115 KN.m/ml$$

Piédroit				
Travées	Mop	Mapinf	Mapsop	Mtt
Extrême gauche	8,315	-6,95	-14,45	2,205
Intérieur 1	8,315	2,95	-1,26	9,16
Extrême droite	8,315	-10,27	1,87	4,115

Calcul des réactions aux appuis

Pour le tablier

Tablier						
Travées	Mot	Mapg	Mapd	Mtt		
1	59,15	-13,5	-52	26,38	84,20	105,09
2	59,15	-42,5	-34	20,89	106,78	82,51

Pour le radier

Radier						
Travées	Mot	Mapg	Mapd	Mtt		
1	16,28	16,96	20,75	35,135	-34,17	-47,23

2	16,28	18,01	22,40	36,485	-48,96	-32,44
---	-------	-------	-------	--------	--------	--------

Pour les Piédroits

Efforts à prendre en compte dans les piédroits		
Piédroit extérieur gauche	Pextg	118,37
Piédroit intérieur 1	Pint1	304,64
Piédroit extérieur droit	Pextd	155,73

Afin d'uniformiser les aciers il sera considéré les moments maximaux en travée et sur les appuis ainsi que les efforts normaux pour le calcul des sections d'armatures

Partie de l'ouvrage	Sollicitation KN.m/ml et KN/ml	Charges permanentes G	Système Bc	Système Bt	Système MC120
TABLIER	Moment Fléchissant	à gauche	-10,83	-50,2	-38,4
		à droite	-10,81	-14,8	44,61
		au milieu	5,62	28,62	26,89
RADIER	Moment Fléchissant	à gauche	8,88	8,98	11,4
		à droite	8,16	-10,045	11,9
		au milieu	16,26	13,86	22,305
PIEDROITS EXTREMES	Moment Fléchissant	Inférieur	-4,09	-8,48	-11,7
		Supérieur	-6,53	-6,86	9,02
		au milieu	8,81	13,86	10,055
	Effort normal		42,87	92,09	113,62
PIEDROITS INTERIEURS	Moment Fléchissant	Inférieur	-0,63	-0,85	2,5
		Supérieur	-0,02	0,76	-2,32
		au milieu	0,33	6,465	8,04
	Effort normal		82,24	176,67	220,40

1. Détermination des sections d'armature

Les combinaisons des charges dans le tableau ci-dessous, il sera décliné la combinaison des charges qui sera utilisée pour la suite des calculs

ELU	ELS
CAS1 = 1,35 G + 1,6 Bc	CAS1 = G + 1,2 Bc
CAS2 = 1,35 G + 1,6 Bt	CAS1 = G + 1,2 Bt
CAS3 = 1,35 G + 1,6 MC120	CAS1 = G + 1,2 MC120

Détermination des sections d'armatures du radier

- Dimensionnement à l'ELU

Données : $h = 0,3$; $d = 0,9 \times h = 0,25 \times 0,225m$;

$$F_{bu} = \sigma_{bc} = 14,14 \text{ Mpa} \quad f_{su} = \sigma_s = 347,83 \text{ Mpa} \quad b = 1m$$

Partie du radier : mi travers

Dimensionnement à l'état limite ultime

$$M_u = 80,327 \text{ KN.m / ml}$$

Détermination du pivot

$$\mu_u = \frac{M_u}{(b \times d^2 \times F_{bu})} = \frac{80,327 \cdot 10^{-3}}{(1 \times 0,225^2 \times 14,17)} = 0,112(9)$$

$$\mu_u = 0,112 < 0,186$$

nous sommes dans le pivot A cela signifie donc qu'il n'y a pas d'acier comprimé

Les paramètres de déformations

$$a_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,112}) = 0,15(9)$$

$$Z_u = d(1 - 0,4a_u) = 0,225(1 - 0,4 \times 0,15) = 0,2115(9)$$

Détermination de la section d'acier théorique

$$Ast = \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s} = \frac{80,327 \cdot 10^{-3}}{0,2115 \times 347,83} = 10,97 \text{ cm}^2(9)$$

Vérification de la condition de non fragilité (CNF)

$$Ast_{min} = 0,23 \times b_0 \times d \times \left(\frac{f_{ti}}{f_e}\right) = 0,23 \times 1 \times 0,225 \times \frac{2,1}{400} = 2,71 \text{ cm}^2(9)$$

La présente condition est vérifiée car $Ast > Ast_{min}$

- Dimensionnement à l'ELS

$$M_{ser} = 60,042 \text{ KN.m / ml}$$

σ_{st} en fonction du paramètre de déformabilité :



$$\sigma_{st} \begin{cases} \varphi = \text{fissuration préjudiciable} \\ 0,8\varphi = \text{fissuration très préjudiciable} \end{cases} \quad (9)$$

L'expression de φ

$$\text{Avec } \varphi = \min \begin{cases} \frac{2}{3}fe = 266,67 \\ \max \begin{cases} 0,5fe = 200 \\ 110\sqrt{\eta \times ftj} = 201,63 \end{cases} \end{cases} \quad (9)$$

$$\varphi = 201,63 \text{ Mpa}$$

$$\overline{a_{ser}} = \frac{n \times \overline{\sigma_{st}}}{n \times \overline{\sigma_{st}} + \sigma_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63} \quad (9) = 0,53$$

Détermination de la fibre neutre :

$$y_{ser} = a_{ser} \times d = 0,53 \times 0,225 \quad (9) = 0,12 \text{ m}$$

$$Z_{ser} = d - \frac{y_{ser}}{3} = 0,225 - \frac{0,12}{3} \quad (9) = 0,185$$

Détermination du moment résistant :

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b_0 \times y_{ser} \times \overline{\sigma_{bc}} \times Z_{ser} \quad (9) = 0,5 \times 1 \times 0,12 \times 15 \times 0,185 = 166,5 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{serb} = 166,5 \text{ KN.m/ml}$$

Le moment de service étant inférieur au moment de résistant ($M_{ser} < M_{serb}$) il n'y a pas d'acier comprimer

Détermination de la section d'acier

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z \times \sigma_{st}} \quad (9) = \frac{60,04 \cdot 10^{-3}}{0,185 \times 201,63} = 16,1 \text{ cm}^2$$

$$A_{st} = 16,1 \text{ cm}^2$$

Vérification de la condition de non fragilité (CNF) :

$$A_{st\ min} = 0,23 \times b_0 \times d \times \left(\frac{f_{ti}}{f_e} \right) \quad (9) = 0,23 \times 1 \times 0,225 \times \frac{2,1}{400} = 2,71 \text{ cm}^2$$

$A_{st\ min} < A_{st}$ de ce fait la condition est vérifiée

Déterminons la section sous l'appui droit

Calcul à l'ELU

$$M_u = 40,804 \text{ KN.m/ml}$$

Détermination du pivot

$$\mu_u = \frac{M_u}{(b \times d^2 \times F_{bu})} \quad (9) = \frac{40,804 \cdot 10^{-3}}{(1 \times 0,225^2 \times 14,17)} = 0,06$$

$$\mu_u = 0,06 < 0,186$$

nous sommes dans le pivot A cela signifie donc qu'il n'y a pas d'acier comprimé

Les paramètres de déformations

$$a_u = 1,25(1 - \sqrt{(1 - 2\mu_u)})(9) = 1,25(1 - \sqrt{(1 - 2 \times 0,06)}) = 0,08$$

$$Z_u = d(1 - 0,4a_u)(9) = 0,225(1 - 0,4 \times 0,08) = 0,2178$$

Détermination de la section d'acier théorique

$$Ast = \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s} (9) = \frac{40,804 \cdot 10^{-3}}{0,2115 \times 347,83} = 5,55 \text{ cm}^2$$

Vérification de la condition de non fragilité (CNF)

$$Ast_{min} = 0,23 \times b_0 \times d \times \left(\frac{f_{ti}}{f_e}\right)(9) = 0,23 \times 1 \times 0,225 \times \frac{2,1}{400} = 2,71 \text{ cm}^2$$

La présente condition est vérifiée car $Ast > Ast_{min}$

- Dimensionnement à l'ELS

$$M_{ser} = 35,04 \text{ KN.m/ml}$$

σ_{st} en fonction du paramètre de déformabilité :

$$\sigma_{st} \begin{cases} \varphi = \text{fissuration préjudiciable} \\ 0,8\varphi = \text{fissuration très préjudiciable} \end{cases} (9)$$

L'expression de φ

$$\text{Avec } \varphi = \min \begin{cases} \frac{2}{3}fe = 266,67 \\ \max \begin{cases} 0,5fe = 200 \\ 110\sqrt{\eta \times ftj} = 201,63 \end{cases} \end{cases} (9)$$

$$\varphi = 201,63 \text{ Mpa}$$

$$\overline{a_{ser}} = \frac{n \times \overline{\sigma_{st}}}{n \times \overline{\sigma_{st}} + \sigma_{st}} (9) = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63} = 0,53$$

Détermination de la fibre neutre :

$$y_{ser} = a_{ser} \times d (9) = 0,53 \times 0,225 = 0,12 \text{ m}$$

$$Z_{ser} = d - \frac{y_{ser}}{3} (9) = 0,225 - \frac{0,12}{3} = 0,185$$

Détermination du moment résistant :

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b_0 \times y_{ser} \times \overline{\sigma_{bc}} \times Z_{ser} (9) = 0,5 \times 1 \times 0,12 \times 15 \times 0,185 = 166,5 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{serb} = 166,5 \text{ KN.m/ml}$$

Le moment de service étant inférieur au moment de résistant ($M_{ser} < M_{serb}$) il n'y a pas d'acier comprimer



Détermination de la section d'acier

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z \times \sigma_{st}} (9) = \frac{30,05 \cdot 10^{-3}}{0,185 \times 201,63} = 8,06 \text{ cm}^2$$

$$A_{st} = 9,4 \text{ cm}^2$$

Vérification de la condition de non fragilité (CNF) :

$$Ast_{min} = 0,23 \times b_0 \times d \times \left(\frac{f_{ti}}{f_e} \right) (9) = 0,23 \times 1 \times 0,225 \times \frac{2,1}{400} = 2,71 \text{ cm}^2$$

$A_{st\ min} < A_{st}$ de ce fait la condition est vérifiée

Déterminons la section sous l'appui gauche

Calcul à l'ELU

$$M_u = 46,856 \text{ KN.m / ml}$$

Détermination du pivot

$$\mu_u = \frac{M_u}{(b \times d^2 \times F_{bu})} (9) = \frac{46,856 \cdot 10^{-3}}{(1 \times 0,225^2 \times 14,17)} = 0,065$$

$$\mu_u = 0,06 < 0,186$$

nous sommes dans le pivot A cela signifie donc qu'il n'y a pas d'acier comprimé

Les paramètres de déformations

$$a_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) (9) = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,065}) = 0,084$$

$$Z_u = d(1 - 0,4a_u) (9) = 0,225(1 - 0,4 \times 0,08) = 0,2174$$

Détermination de la section d'acier théorique

$$Ast = \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s} (9) = \frac{46,856 \cdot 10^{-3}}{0,2115 \times 347,83} = 6,37 \text{ cm}^2$$

Vérification de la condition de non fragilité (CNF)

$$Ast_{min} = 0,23 \times b_0 \times d \times \left(\frac{f_{ti}}{f_e} \right) (9) = 0,23 \times 1 \times 0,225 \times \frac{2,1}{400} = 2,71 \text{ cm}^2$$

La présente condition est vérifiée car $Ast > Ast_{min}$

- Dimensionnement à l'ELS

$$M_{ser} = 35,04 \text{ KN.m / ml}$$

σ_{st} en fonction du paramètre de déformabilité :

$$\sigma_{st} \begin{cases} \varphi = fissuration préjudiciable \\ 0,8\varphi = fissuration très préjudiciable \end{cases} (9)$$

L'expression de φ



Avec $\varphi = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{2}{3} f_e = 266,67 \\ \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5 f_e = 200 \\ 110 \sqrt{\eta \times f_{tj}} = 201,63 \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (9)$

$$\varphi = 201,63 \text{ MPa}$$

$$\overline{a_{ser}} = \frac{n \times \overline{\sigma_{st}}}{n \times \overline{\sigma_{st}} + \sigma_{st}} \quad (9) = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63} = 0,53$$

Détermination de la fibre neutre :

$$y_{ser} = a_{ser} \times d = 0,53 \times 0,225 = 0,12 \text{ m}$$

$$Z_{ser} = d - \frac{y_{ser}}{3} = 0,225 - \frac{0,12}{3} = 0,185$$

Détermination du moment résistant :

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b_0 \times y_{ser} \times \overline{\sigma_{bc}} \times Z_{ser} \quad (9) = 0,5 \times 1 \times 0,12 \times 15 \times 0,185 = 166,5 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{serb} = 166,5 \text{ KN.m/ml}$$

Le moment de service étant inférieur au moment de résistant ($M_{ser} < M_{serb}$) il n'y a pas d'acier comprimer

Détermination de la section d'acier

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z \times \sigma_{st}} \quad (9) = \frac{35,07 \cdot 10^{-3}}{0,185 \times 201,63} = 9,4 \text{ cm}^2$$

$$A_{st} = 9,4 \text{ cm}^2$$

Vérification de la condition de non fragilité (CNF) :

$$A_{st\ min} = 0,23 \times b_0 \times d \times \left(\frac{f_{ti}}{f_e} \right) \quad (9) = 0,23 \times 1 \times 0,225 \times \frac{2,1}{400} = 2,71 \text{ cm}^2$$

$A_{st\ min} < A_{st}$ de ce fait la condition est vérifiée

Détermination des sections d'armature des piédroits centraux

Les piédroits seront considérés dans ce calcul comme des poteaux de sections 1 x 0,25 m²

Les calculs se feront sur la base des données suivantes :

Epaisseur $h = 0,25 \text{ m}$ Hauteur $H = 2,5 \text{ m}$ base $b = 1 \text{ ml}$ l'enrobage $c = 0,02 \text{ m}$

- Détermination de l'effort normal que doit supporter le poteau :

$$N_u = 598,45$$

La longueur de flambement est de : $lf = 0,7 \times 2,5 = 1,75 \text{ m}$

$$\text{La longueur d'élanancement : } \lambda = 3,46 \times \frac{lf}{h} \quad (9) = 3,46 \times \frac{1,75}{0,25} = 24,22$$



Vu que $\lambda < 50$ alors $\beta = 1 + 0,2 \times \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2(9) = 1,1$

Détermination du paramètre B_r

$$B_r = (h - c) \times (b - c)(9) = (0,25 - 0,02) \times (1 - 0,02) = 2254 \text{ cm}^2$$

Détermination des sollicitations dans le béton

$$\text{Béton } N_b = \frac{B_r \times f_{bu}}{0,9}(9) = \frac{0,2254 \times 14,17}{0,9} = 3548,8 \text{ KN}$$

Détermination de la sollicitation dans les aciers

$$\text{Acier } N_s = \frac{k \times \beta \times N_u - N_b}{0,85}(9) = \frac{1,1 \times 1,1 \times 598,45 - 3548,8}{0,85} = -3323,15 \text{ KN}$$

Le paramètre N_s étant inférieur à 0, les aciers ne reprennent pas de charges, il faut donc respecter la section minimal que la norme impose

Détermination de cette section minimale d'armature

$$A_{min=max} \begin{cases} \frac{4cm^2}{m} \times u(m^2) \\ 0,2 \times \frac{B}{100} \end{cases}(9)$$

Avec

$$u = \text{perimetre} = 2 \times (h + b)(9) = 2 \times (0,25 + 1) = 2,5 \text{ m}$$

$$B = \text{surface} = h \times b(9) = 0,25 \times 1 = 0,25 \text{ cm}^2$$

$$A_{min=max} \begin{cases} 4 \times 2,5 = 10 \text{ cm}^2 \\ 0,2 \times \frac{B}{100} = 0,2 \times \frac{2500}{100} = 5 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

$$A = A_{min} = 10 \text{ cm}^2$$

La section d'acier ne doit pas dépasser une section maximale prescrite par la norme

$$A_{max} = 5 \times \frac{B}{100} = 5 \times \frac{2500}{100} = 125 \text{ cm}^2$$

La section d'acier A_{min} étant inférieur à la section A_{max} , la condition est vérifiée.

Détermination des sections d'armature des piédroits extrêmes

$$M = 59,91 \text{ KN.m/ml}$$

$$N = 307,4 \text{ KN/ml}$$

Détermination de e_a et de e_1 :

$$e_a = \begin{cases} 2 \text{ cm} \\ \frac{H}{250} = 2 \text{ cm} \end{cases}(9)$$

$$e_1 = \frac{M}{N} + e_a = \frac{59,91}{307,04} + 0,02(9) = 0,22 \text{ m}$$

Correction du flambement :

Détermination de l'élançement géométrique :

$$L_f = 0,7 \times l_0(9) = 0,7 \times 2,5m = 1,75m$$

Excentricité de pièces chargées de manière excentrique

$$\frac{l_f}{h} < \max \left\{ 20 \times \frac{e_1}{h} = \frac{1,75}{0,25} = 7 \right\} \quad (9)$$

$$\frac{l_f}{h} = 15$$

Détermination de l'excentricité du second ordre :

$$a = \frac{6,53}{6,53 + 22,42} = 0,23$$

$$e_2 = \frac{3 \times l_f^2}{6,53 + 22,42} (2 + a \times \varphi) = \frac{3 \times 1,75^2}{6,53 + 22,42} (2 + 0,22 \times 2) = 0,009$$

$$e_2 = 0,9 \text{ cm}$$

Avec $\varphi = 2$

Sollicitations corrigées pour le calcul en flexion composée :

$$\begin{cases} N_u = N_i \\ M = N_u(e_1 + e_2) \quad (9) \\ e_0 = e_1 + e_2 \end{cases} \quad \begin{cases} N_u = 307,04 \\ M = 307,4(0,008 + 0,17) = 54,65 \text{ kN.m} \\ e_0 = 0,17 + 0,008 = 0,178m \end{cases}$$

Les sollicitations ramenées au centre de gravité tendus

$$\begin{cases} e_A = e_0 + (d - \frac{h}{2}) \\ Mu_A = N_u \times e_A \end{cases} \quad (9) \quad \begin{cases} e_A = 0,178 + \left(0,225 - \left(\frac{0,25}{2} \right) \right) = 0,278 \\ Mu_A = 307,04 \times 0,278 = 85,35 \text{ kN.m} \end{cases}$$

Détermination du moment réduit de référence à l'ELU :

$$\mu_{BC} = 0,8 \times \frac{h}{d} \times \left(1 - 0,4 \frac{h}{d} \right) (9) = 0,8 \times \frac{0,25}{0,225} \times \left(1 - 0,4 \frac{0,25}{0,225} \right)$$

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

Détermination du moment réduit agissant :

$$\mu_{uA} = \frac{Mu_A}{b_0 \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{85,35 \cdot 10^{-3}}{0,25 \times 0,225^2 \times 14,17}$$

$$\mu_{uA} = 0,47$$

Détermination de la section d'acier à l'ELS



$$\begin{cases} N_{ser} = N_g + N_q \\ M_{ser} = M_g + M_q \rightarrow (9) \\ e_{ser} = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} \end{cases} \begin{cases} N_{ser} = 167,23 \\ M_{ser} = 26,80 \\ e_{ser} = \frac{26,80}{167,23} = 0,16m \end{cases}$$

Ramener les sollicitations au centre de gravité des aciers tendu

Détermination du moment réduit :

$$\gamma_M = \frac{M_u}{M_{ser}}(9) = \frac{85,35}{43,5} = 1,96$$

$$10^4 \mu_{tu} = 3440 \times \theta \times \gamma_M + 49 \times \frac{f_{c28}}{\theta}(9) = 3440 \times 1 \times 1,96 + 49 \times 25 - 3100 = 4867,4$$

$$\mu_{tu} = 0,486$$

Vu que $\mu_{uA} < \mu_{tu}$ ce qui indique que la section est particulièrement comprimée donc pas besoin d'aciers comprimés.

Déterminons les paramètres de déformations :

$$a_{uA} = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_{uA}})(9) = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,47}) = 0,94$$

Détermination du bras de levier :

$$Z_{uA} = d(1 - 0,4a_{uA})(9) = 0,225 \times (1 - 0,4 \times 0,94) = 0,14m$$

$$Au = \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s}(9) = \frac{85,35 \cdot 10^{-3}}{0,14 \times 347,83} = 17,52 cm^2$$

Détermination de la section théorique d'acier :

$$A_u = A - \frac{N_u}{\sigma_s} = \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s} - \frac{N_u}{\sigma_s}(9) = \frac{85,35 \cdot 10^{-3}}{0,14 \times 347,83} - \frac{307,04 \cdot 10^{-3}}{347,83} = 8,7 cm^2$$

Vérification de la condition de non fragilité

$$Ast_{min} = 0,23 \times b_0 \times d \times \left(\frac{f_{ti}}{f_e}\right)(9) = 0,23 \times 1 \times 0,225 \times \frac{2,1}{400} = 2,71 cm^2$$

$A_{st\ min} < A_{st}$ de ce fait la condition est vérifiée

$$A_u = 8,7 cm^2$$

Tableaux récapitulatifs des sections d'acier

Ci-dessous sont réencencé la section d'acier principal et les sollicitations

		Section d'acier			Choix Nappe	Espacement
		ELU	ELS	Max		
		AST	AST	AST		
TABLIER	A gauche	6,37	9,4	9,4	9HA16	10 cm

	A droite	5,55	8,02	8,02	Soit 18,10	
	Au milieu	10,97	16,1	16,1		
RADIER	A gauche	6,37	9,4	9,4	9HA16 Soit 18,10	10cm
	A droite	5,55	8,02	8,02		
	Au milieu	10,97	16,1	16,1		
PIEDROIT EXTREME	Inferieur	8,7	4,86	8,7 soit 4,35 par face	4HA14 soit 6,16	20 cm
	Supérieur					
	Au milieu					
PIEDROIT INTERNE	Inferieur	10	4.86	10 soit 5 par face	4HA14 soit 6,16	20 cm
	Supérieur					
	Au milieu					

Ci-dessous sont récence la section d'acier principal et les sollicitations

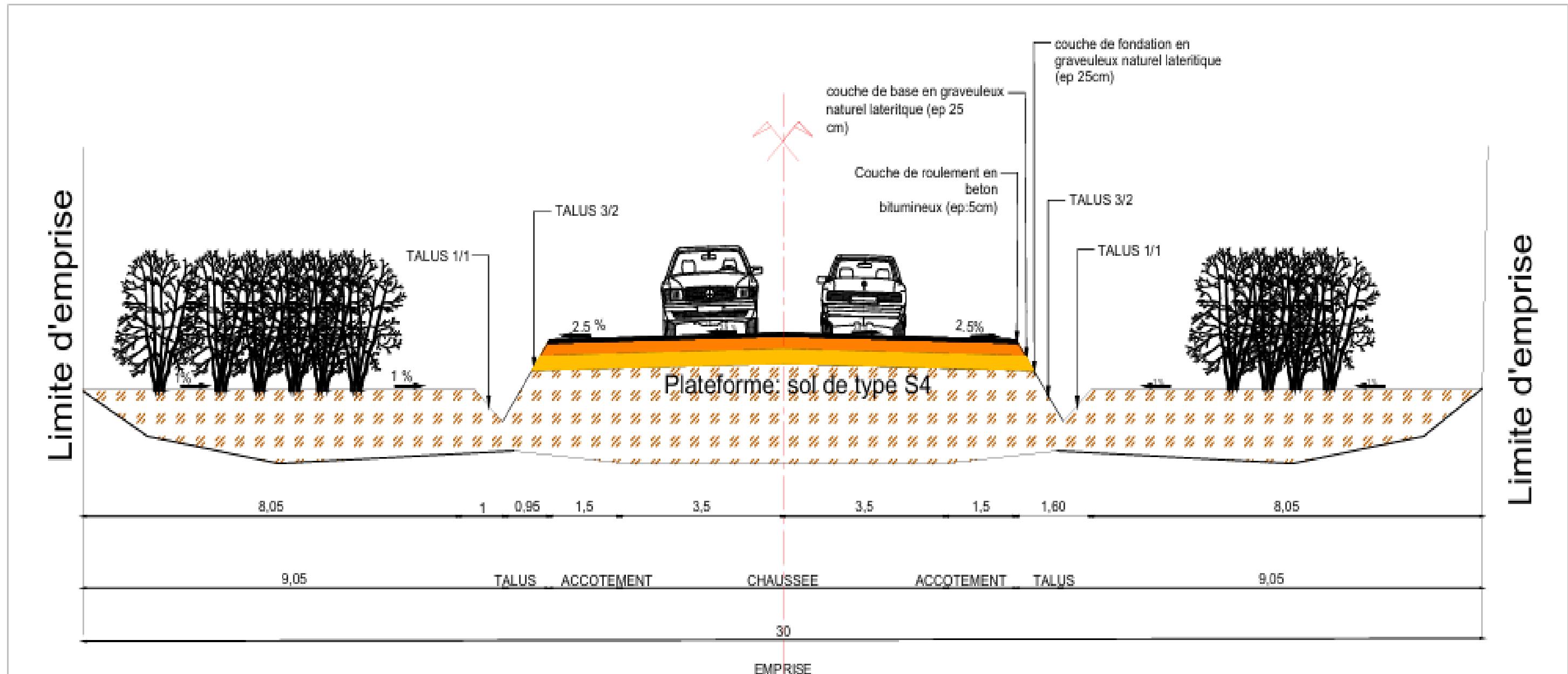
$$AST \ rep = \frac{1}{3} AST$$

		Section d'acier			Choix Nappe	Espacement
		ELU	ELS	Max		
		AST	AST	AST		
TABLIER	A gauche	2,12	3,13	3,13	5HA12 Soit 5,65	20 cm
	A droite	1,85	2,67	2,67		
	Au milieu	3,66	5,37	5,37		
RADIER	A gauche	2,12	3,13	3,13	5HA12 Soit 5,65	20cm
	A droite	1,85	2,67	2,67		
	Au milieu	3,66	5,37	3,13		
PIEDROIT EXTREME	Inferieur	2,9	1,62	2,9	5HA10 soit 3,93	20 cm
	Supérieur					
	Au milieu					
PIEDROIT INTERNE	Inferieur	3,33	1,62	3,33	5HA10 soit 3,93	20 cm
	Supérieur					

	Au milieu					
--	-----------	--	--	--	--	--

Annexe 5 : Plans d'exécutions

- ✓ Profil en travers types
- ✓ Plan dalot 1x150x120
- ✓ Plan dalot 2x150x250
- ✓ Tracé combiné



 Ministère du développement et des Infrastructures Direction Générale de la Normalisation et des études techniques	 AGENCE D'ÉTUDES D'INGÉNIERIE ET DE MAÎTRISE D'OEUVRE / Ingenieurs Conseils	ÉTUDE D'AVANT-PROJET DETAILLE POUR L'AMENAGEMENT ET LE BITUMAGE DE LA ROUTE BOROMO - LANFIERA : CAS DU TRONÇON SIBY LONG DE 5,98 KILOMÈTRES AU BURKINA FASO.	Établie par: A.TANKOANO Vérifiée par: Oral Ky Encadreur interne 2E : I. MADOUGOU	 Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'environnement
---	---	---	---	--

Figure annexe 2 : Profil en travers type en remblai

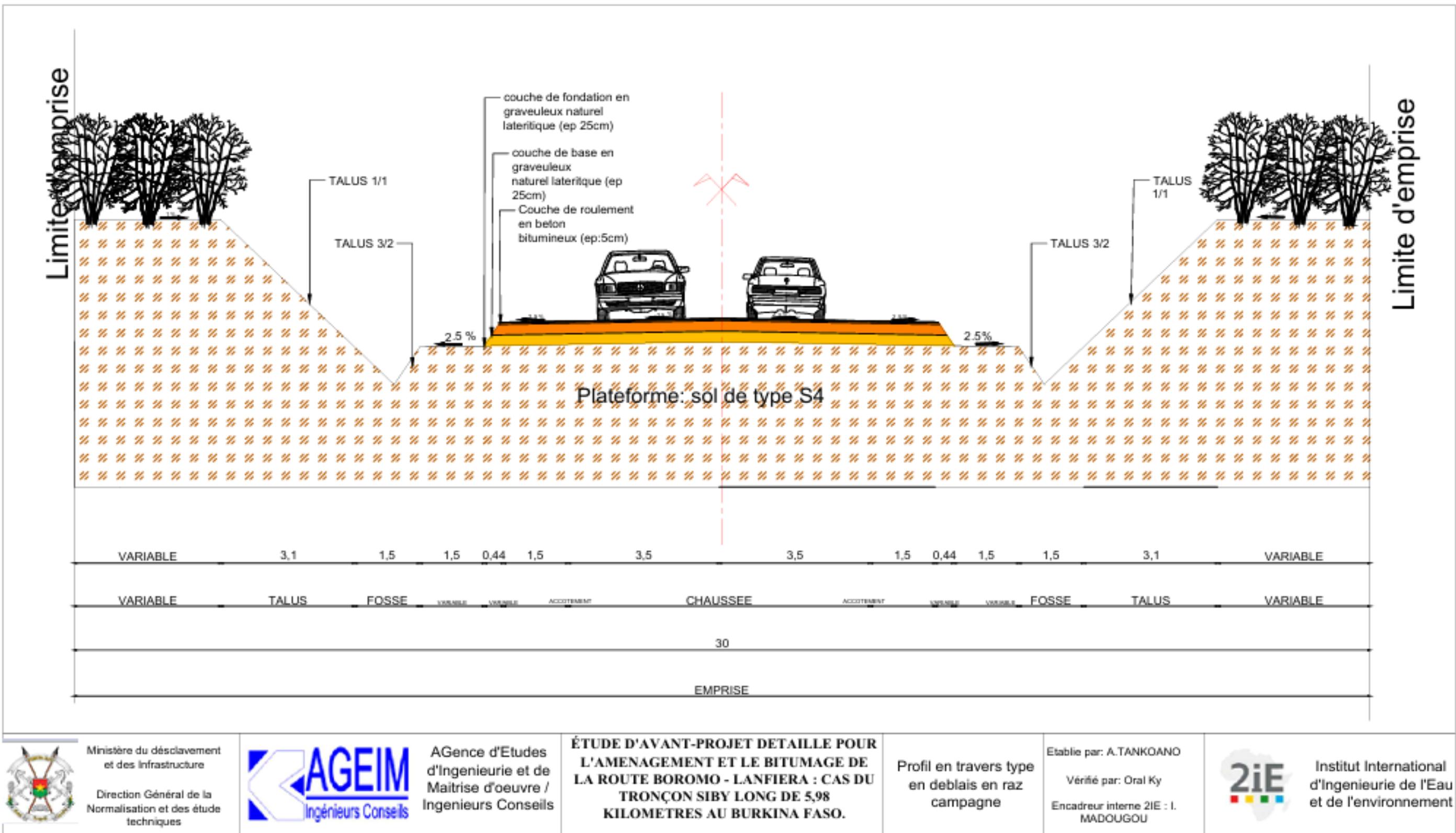


Figure annexe 3: Profil en travers type en déblais en rase campagne.

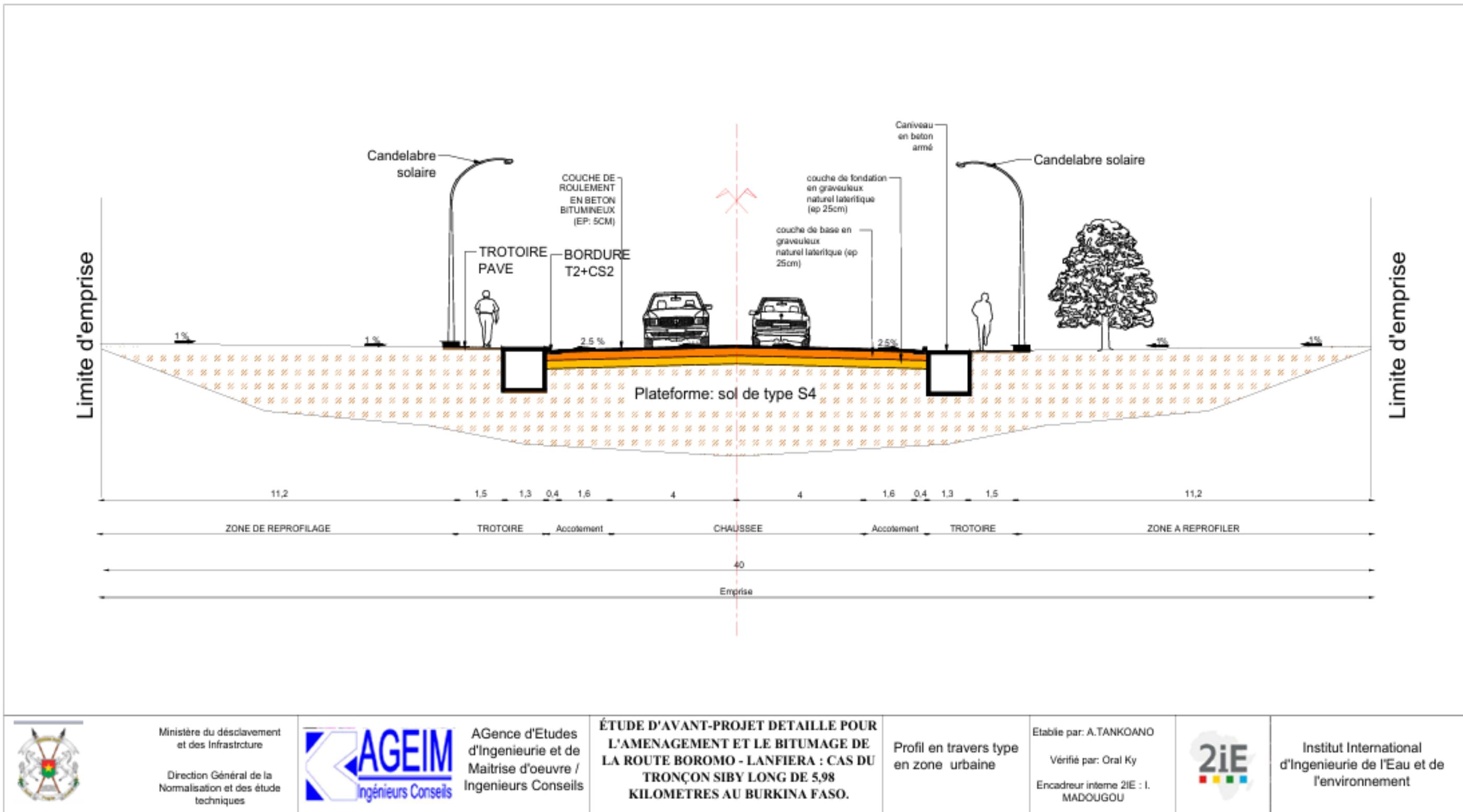


Figure annexe 4: Profil en travers type en zone urbaine.

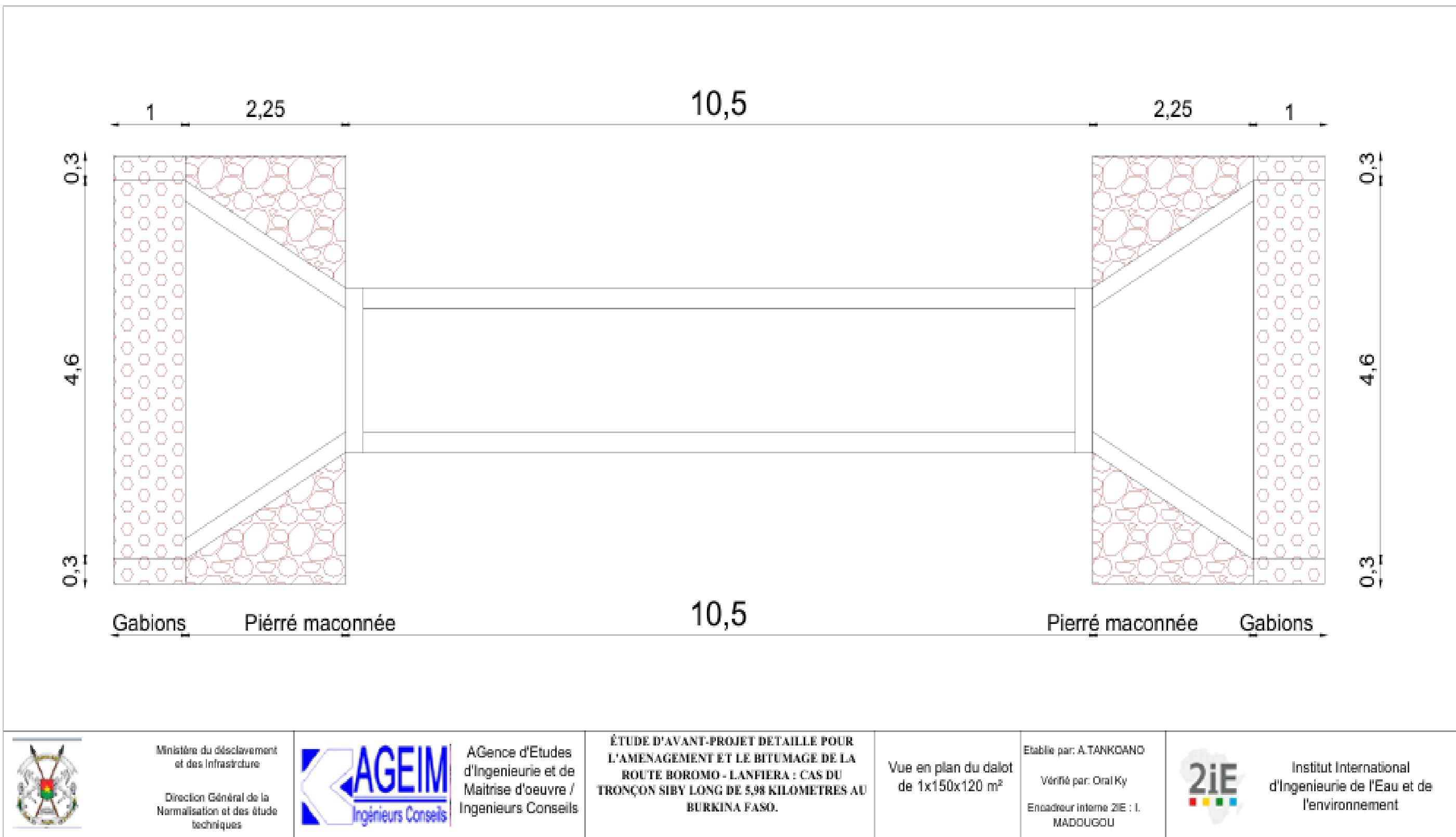


Figure annexe 5: Vue en plan du dalot 1 x 150 x120

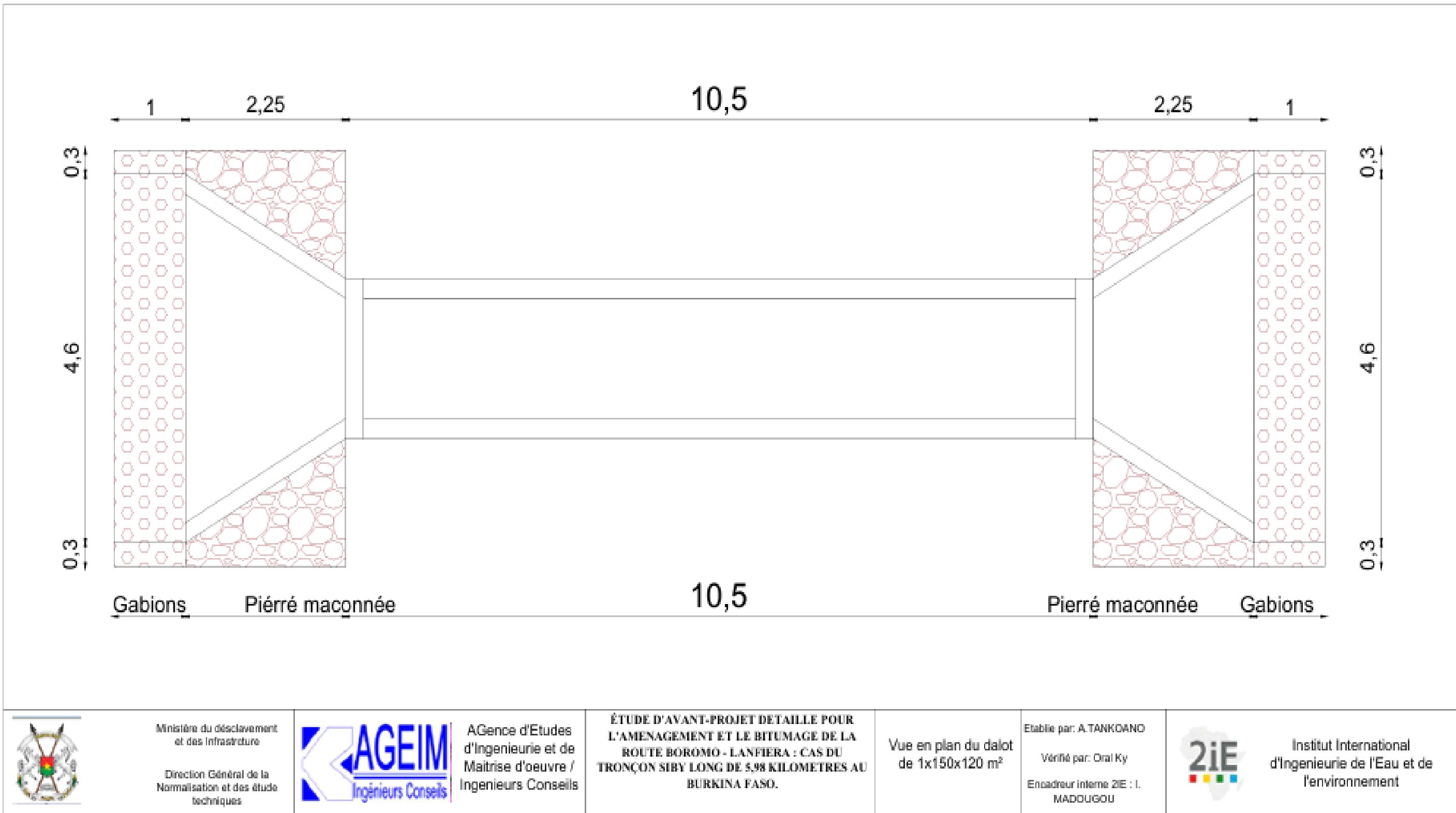


Figure annexe 6: Vue de face dalot 1 x 150 x 120



Ministère du Développement
et des Infrastructures

Direction Générale de la
Normalisation et des études
techniques



AGENCE D'ÉTUDES
D'INGÉNIERIE ET DE
MAÎTRISE D'ŒUVRE /
INGÉNIEURS CONSEILS

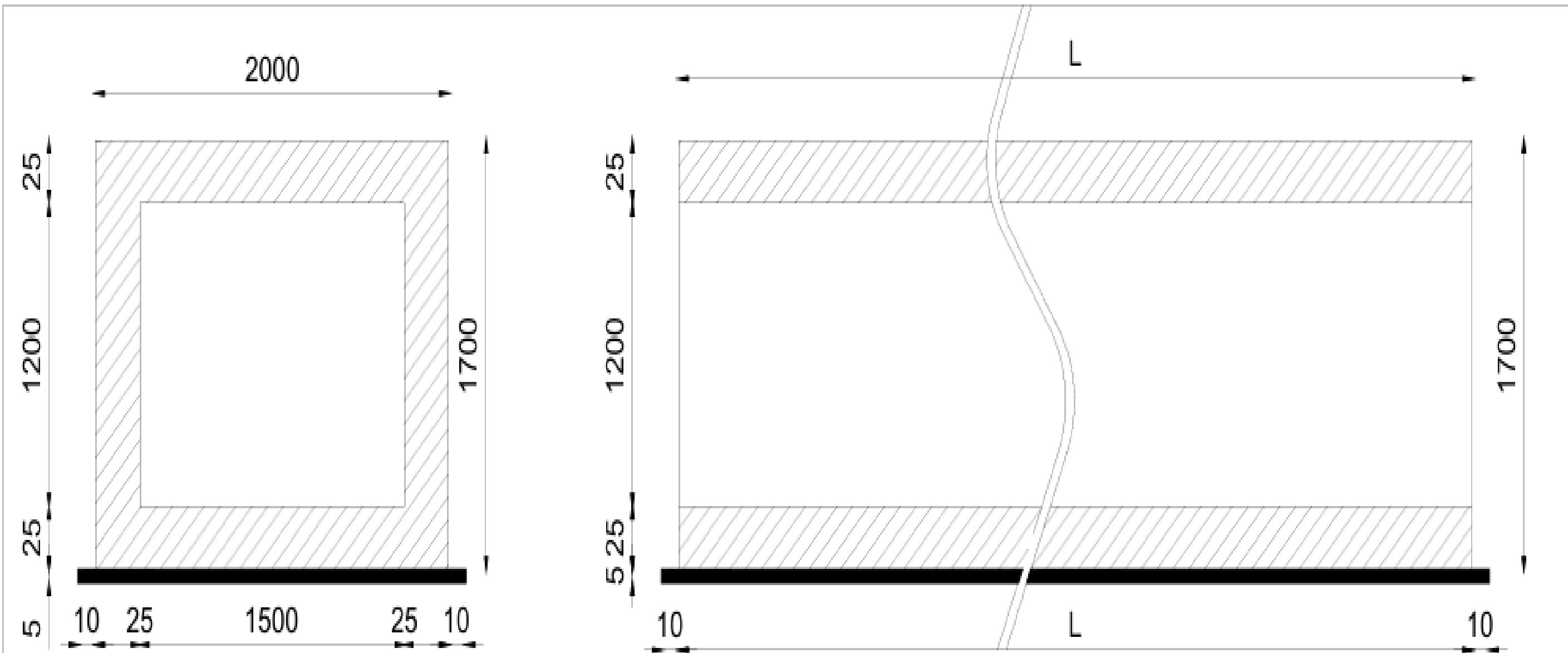
ÉTUDE D'AVANT-PROJET DETAILLE POUR
L'AMÉNAGEMENT ET LE BITUMAGE DE LA
ROUTE BOROMO - LANFIERA : CAS DU
TRONÇON SIBY LONG DE 5,98 KILOMÈTRES AU
BURKINA FASO.

Vue en plan du dalot
de 1x150x120 m²

Etablie par: A.TANKOANO
Vérifiée par: Orai Ky
Encadreur interne 2iE : I.
MADOUGOU



Institut International
d'Ingénierie de l'Eau et de
l'environnement



	<p>Ministère du Développement et des Infrastructures Direction Générale de la Normalisation et des études techniques</p>	AGEIM Ingénieurs Conseils	<p>AGENCE D'ÉTUDES D'INGÉNIERIE ET DE MAÎTRISE D'OEUVRE / Ingénieurs Conseils</p>	<p>ÉTUDE D'AVANT-PROJET DETAILLE POUR L'AMENAGEMENT ET LE BITUMAGE DE LA ROUTE BOROMO - LANFIERA : CAS DU TRONÇON SIBY LONG DE 5,98 KILOMÈTRES AU BURKINA FASO.</p>	<p>Plan de coffrage d'un dalot de 1x150x120 m³</p>	<p>Etabli par: A.TANKOANO Vérifié par: Oual Ky Encadreur intérieur 2iE : I. MADOUOU</p>	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'environnement
--	--	---------------------------	---	---	---	---	--

Figure annexe 7: Plan de coffrage dalot 1 x 150 x 120

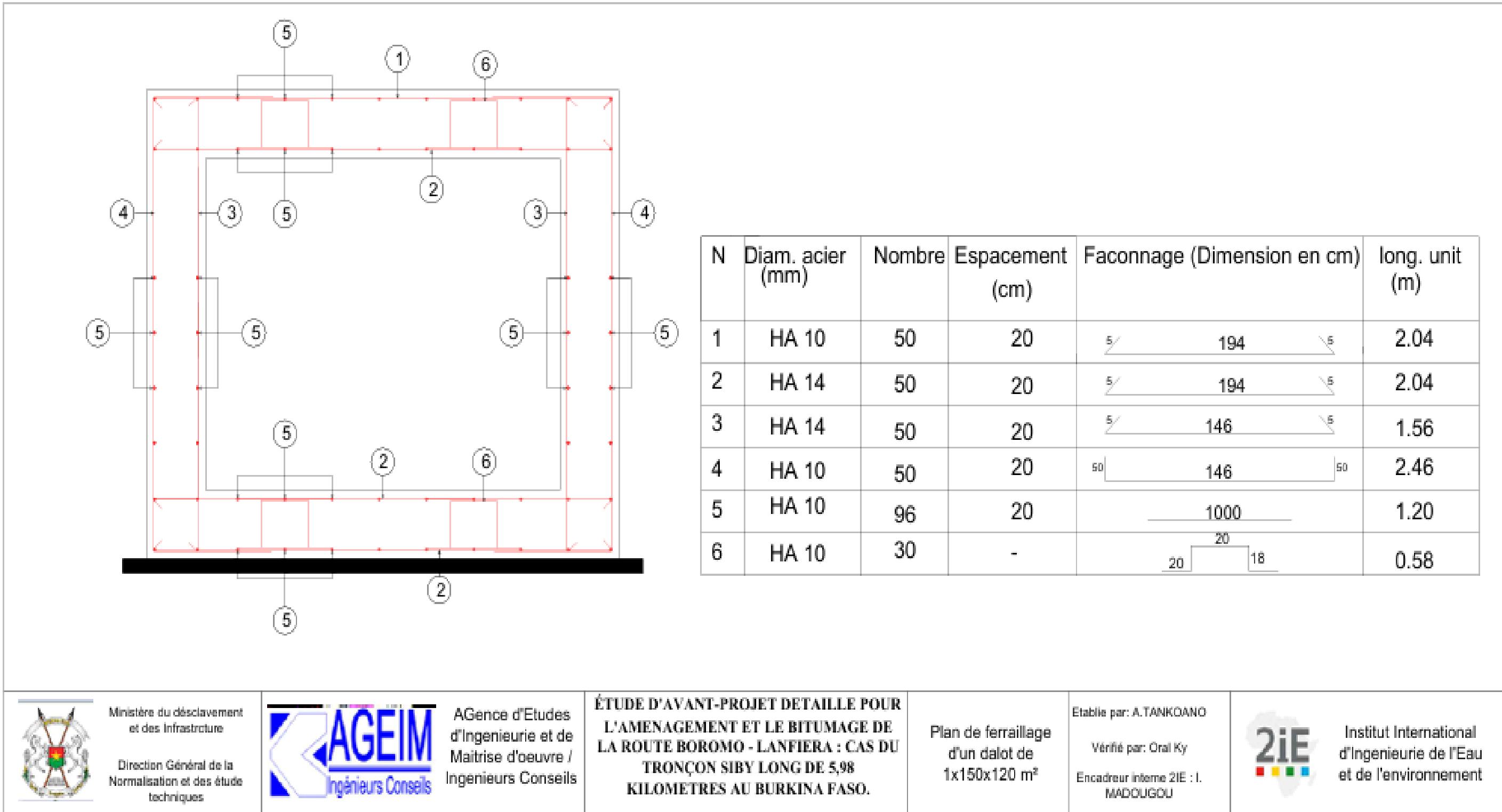
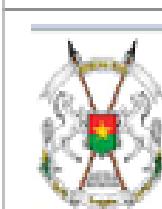


Figure annexe 8: Plan de ferraillage dalot 1 x 150 x 120



Ministère du décentralisation
et des Infrastructures

Direction Générale de la
Normalisation et des études
techniques



AGENCE d'Etudes
d'Ingenierie et de
Maîtrise d'oeuvre /
Ingénieurs Conseils

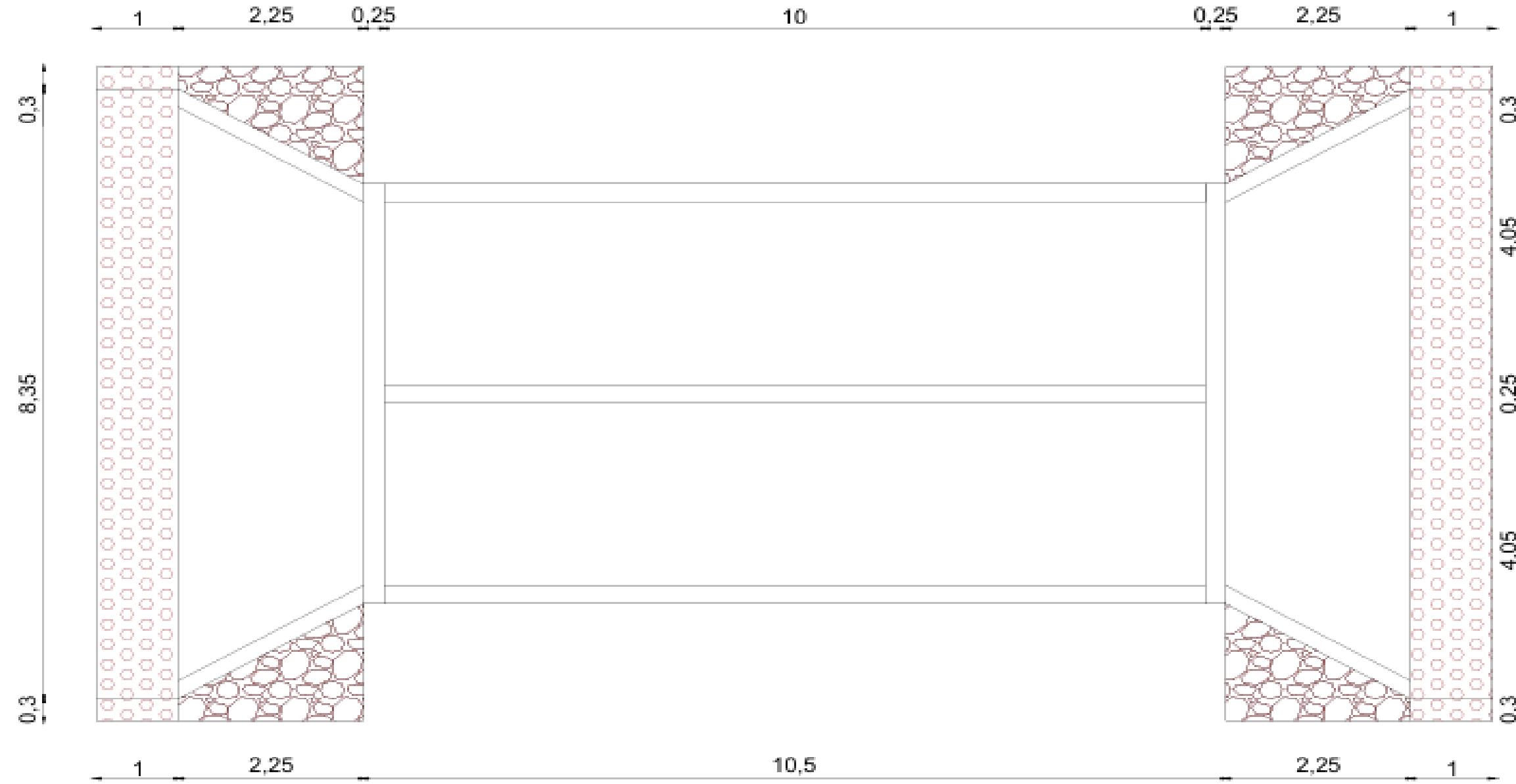
ÉTUDE D'AVANT-PROJET DETAILLE POUR
L'AMENAGEMENT ET LE BITUMAGE DE
LA ROUTE BOROMO - LANFIERA : CAS DU
TRONÇON SIBY LONG DE 5,98
KILOMÈTRES AU BURKINA FASO.

Plan de ferraillage
d'un dalot de
1x150x120 m²

Etablie par: A.TANKOANO
Vérifié par: Orial Ky
Encadreur interne 2iE : I.
MADOUGOU

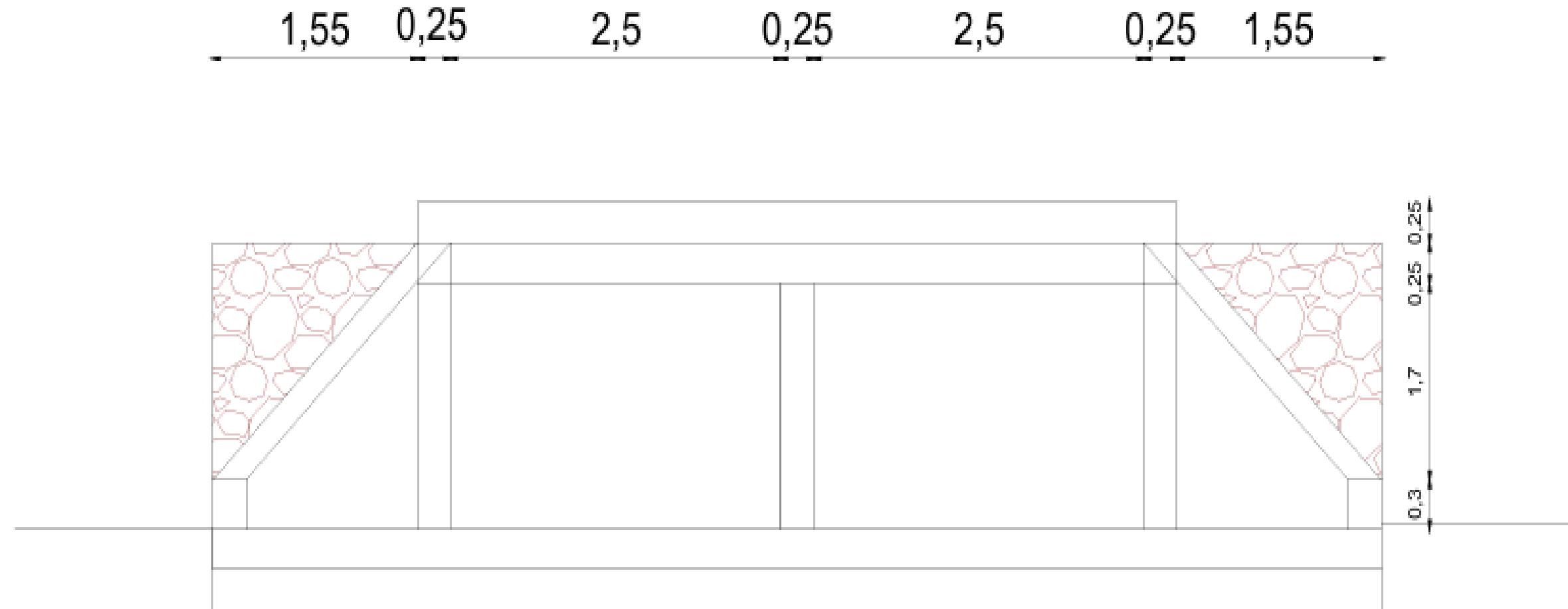


Institut International
d'Ingénierie de l'Eau
et de l'environnement



	Ministère du Développement et des Infrastructures Direction Générale de la Normalisation et des études techniques	AGEIM Ingénieurs Conseils	AGENCE D'ÉTUDES D'INGÉNIERIE ET DE MAÎTRISE D'ŒUVRE / Ingénieurs Conseils	ÉTUDE D'AVANT-PROJET DETAILLE POUR L'AMENAGEMENT ET LE BITUMAGE DE LA ROUTE BOROMO - LANFIERA : CAS DU TRONÇON SIBY LONG DE 5,98 KILOMÈTRES AU BURKINA FASO.	Vue en plan du dalot 2x250x200 m ²	Etablie par: A.TANKOANO Vérifiée par: Oualky Encacheur interne 2iE : I. MADOUGOU	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'environnement
--	--	---------------------------	---	--	---	--	--

Figure annexe 9: Vue en plan dalot 2 x 250 x 200



	<p>Ministère du Développement et des Infrastructures Direction Générale de la Normalisation et des études techniques</p>	AGEIM Ingénieurs Conseils	<p>AGENCE D'ÉTUDES D'INGÉNIERIE ET DE MAÎTRISE D'OEUVRE / Ingénieurs Conseils</p>	<p>ÉTUDE D'AVANT-PROJET DETAILLE POUR L'AMENAGEMENT ET LE BITUMAGE DE LA ROUTE BOROMO - LANFIERA : CAS DU TRONÇON SIBY LONG DE 5,98 KILOMÈTRES AU BURKINA FASO.</p>	<p>vue de face du dalot de 2x250x200 m²</p>	<p>Etablie par: A.TANKOANO Vérifiée par: Orai Ky Encadreur interne 2iE : I. MADOUGOU</p>	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'environnement
--	--	-------------------------------------	---	---	--	--	--

Figure annexe 10: Vue de face dalot 2 x 250 x200

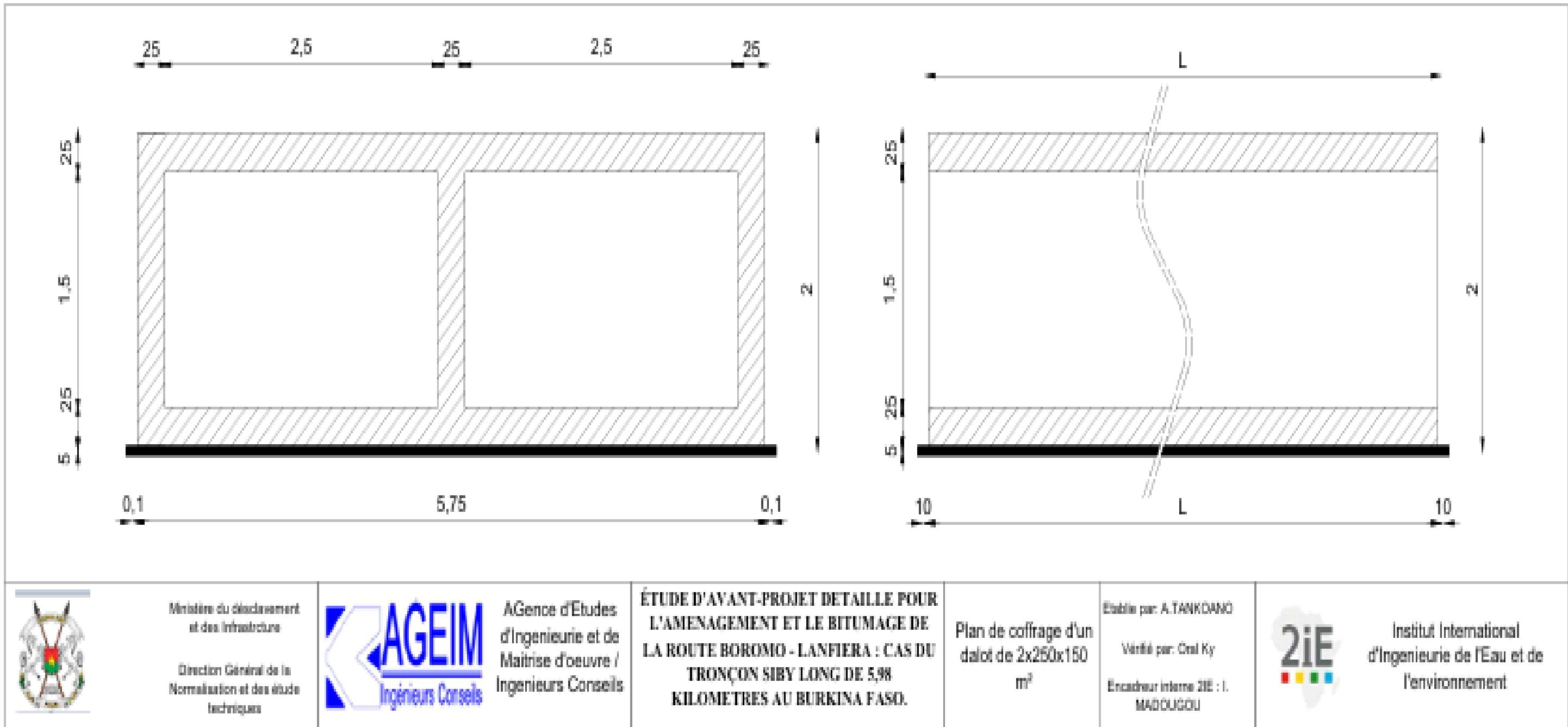


Figure annexe 11: Plan de coffrage dalot 2 x 250 x200

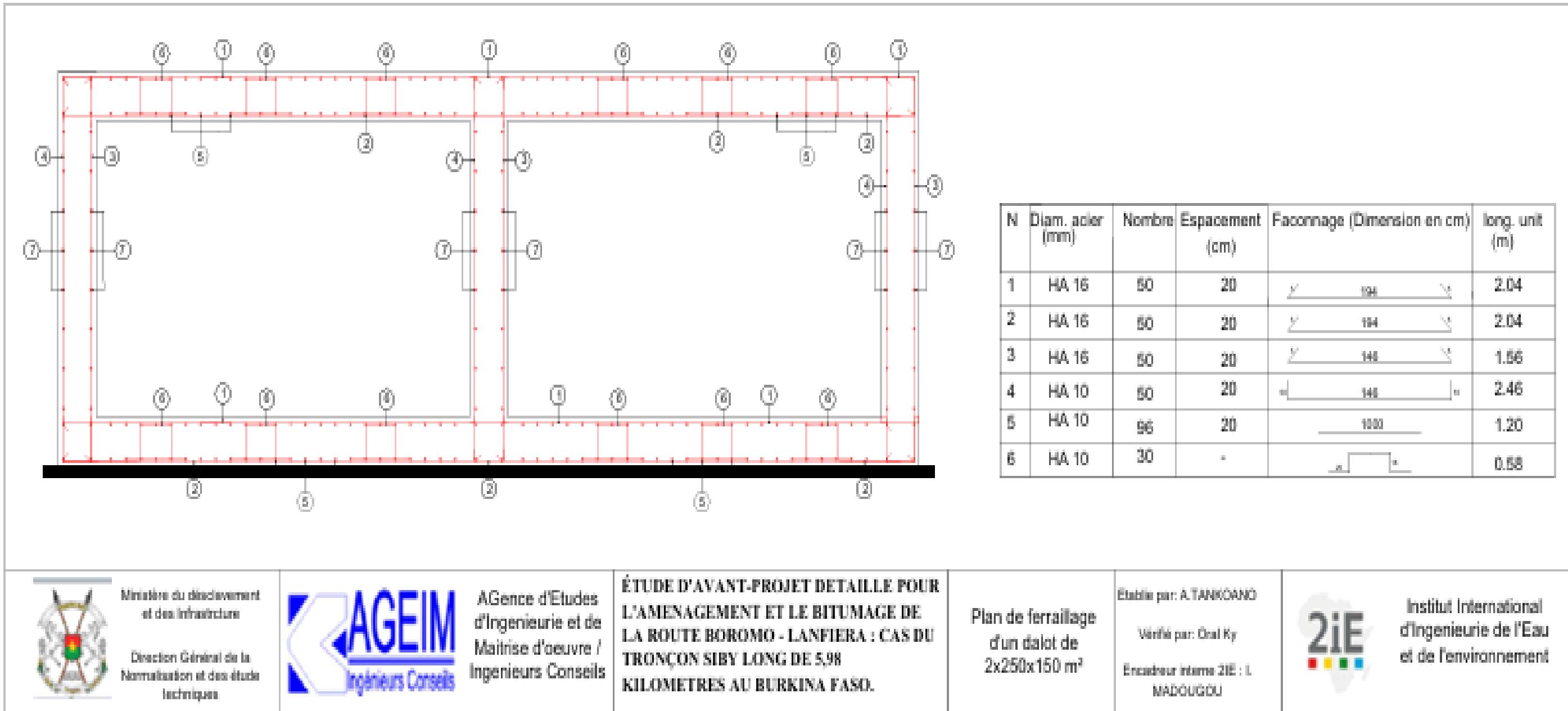


Figure annexe 12: Plan de ferraillage dalot 2 x 250 x200.

Annexe 6 : Devis estimatifs et quantitatifs

N°	Désignation	Unité	Quantité	P.U	Prix total
000	Travaux préliminaires				
001	Installation du chantier	FF	1	100 000 000,00	100 000 000,00
002	Mesure de sécurisation de chantier	FF	1	2 500 000,00	2 500 000,00
003	Amenée et repli du matériel	FF	1	50 000 000,00	50 000 000,00
004	Mise en place de la voie de déviation	Km	8	6 920 000,00	55 360 000,00
005	Entretien de la voie de déviation	Km/mois	8	2 255 000,00	18 040 000,00
	Sous total 000				225 900 000,00
100	DEMOLITION				
101	Démolition des ouvrages en béton armé	u	10	50 395,00	503 950,00
102	Démolition des ouvrages en maçonnerie	u	20	33 315,00	666 300,00
103	Dépose des bornes kilométriques	u	7	13 195,00	92 365,00
104	Dépose de buse	u	7	44 845,00	313 915,00
105	Dépôt des panneaux de signalisation existants	u	6	14 095,00	84 570,00
106	Déposé des panneaux publicitaires existants	u	5	46 765,00	1 661 100,00
	Sous total 100				3 322 200,00
200	PREPARATION DU TERRAIN				
201	Abattage des arbres	u	80	36 500,00	2 920 000,00
202	Désherbage et nettoyage de l'emprise de la route	km	7	47 835,00	334 845,00
	Sous total 200				3 254 845,00

300	TERRASSEMENTS				
301	Remblais provenant d'emprunt compris extraction, transport, et mise en œuvre	m ³	5057,5	161 276,00	815 653 370,00
302	Volume déblais	m ³	7991	49 245,00	393 516 795,00
303	reprofilage des espaces de l'emprise (largeur emprise-chaussée et son assainissement)	m ²	6500	52 300,00	339 950 000,00
	Sous total 300				1 549 120 165,00
400	CHAUSSEE				
401	Couche de fondation en grave naturelle O/d	m ³	15786	7 345,00	115 948 170,00
402	Couche de base grave lateritique amélioré au ciment	m ³	15274	21500,00	328391000,00
403	Pose des bordures	ml	1932	29 470,00	56 936 040,00
404	Pose des pavés autobloquant de 6 cm d'épaisseur	m ²	2778	17 555,00	48 767 790,00
	Sous total 400				762 485 830,00
500	REVETEMENT				
501	Couche d'imprégnation	m ²	72400	785	56 834 000,00
502	Revêtement en enrobé bitumineux	m ³	3000	137 765,00	413 295 000,00
	Sous total 500				470 129 000,00
600	OUVRAGE D'ASSAINISSEMENT				
601	Caniveau en béton armé 120x120	ml	1230	82 640,00	101 647 200,00
602	Dalette 120x120	ml	1230	37 795,00	46 487 850,00

606	Fouille en peine masse	ml	11600	33 315,00	386 454 000,00
610	Dalots de 120x120	ml	200	195 000,00	39 000 000,00
611	Dalots de 150x150	ml	48	225 000,00	10 800 000,00
612	Dalots de 250x150	ml	36	365 000,00	13 140 000,00
613	Dalots de 3x250x250	ml	60	1 485 000,00	89 100 000,00
	Sous total 600				686 629 050,00
700	SIGNALISATION - SECURITE ET ECLAIRAGE				
701	Marquage de chaussée : ligne d'axe discontinue T1	ml	6000	15 900,00	95 400 000,00
702	Panneau de type A	u	2	141 625,00	283 250,00
703	Panneau de type AB	u	19	151 925,00	2 886 575,00
704	Panneau de type B	u	4	151 925,00	607 700,00
	Sous total 700				187 900 000,00
800	MESURES ENVIRONNEMENTALES ET SOCIALES				
801	Indemnisation social	FF	1	65 000 000,00	65 000 000,00
802	Information - éducation - communication	FF	1	35 000 000,00	35 000 000,00
803	Déplacement de tombes et de vestiges et mesure de préservation de sites cultuels et culturels	FF	1	100 000 000,00	100 000 000,00
804	Remise en état des zones d'emprunt	FF	1	7 000 000,00	7 000 000,00
805	Plantation d'arbre non fruitier	u	250	9 225,00	2 306 250,00
806	Réalisation de forage positif à motricité humaine y compris toute sujexion	u	3	5 500 000,00	16 500 000,00

807	Sensibilisation sur les MST, VIH	u	1	15 000 000,00	15 000 000,00
	Sous total 800				240 806 250,00
	TOTAL HORS TAXES				4 129 547 340,00
	TVA (18%)				743 318 521,00
	TOTAL TTC				4 872 865 861,00
	COUT AU KM				812 144 310,17