



**Etudes techniques détaillées des travaux d'aménagement et
du bitumage de route de désenclavement des zones à forte
production agricole au Burkina Faso : Cas du tronçon
Tienzan-Lanfièra (11,650 km)**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR AVEC GRADE
MASTER**

SPECIALITE Génie Civil – Bâtiments et Travaux Publics

Présenté et soutenu publiquement le 19 Janvier 2026 par

Ivette Tatiana BAYILI (2020 0712)

Directeur de Mémoire : Dr Abdou LAWANE GANA (MC), Enseignant-Chercheur, Institut 2iE

Encadrant 2iE : Dr Arnaud OUEDRAOGO, Enseignant-Chercheur, Institut 2iE

Maitre de Stage : Mme BAMBARA/KINDA Judith, Ingénieure Génie Civil à AGEIM
Ingénieurs – conseils

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

Jury d'évaluation du Mémoire :

Président : Pr Wennd Kouni Igor OUEDRAOGO

Membres : Dr Mamadou Pousga Junior KABORE

M. Georges Kibalo TCHAMIE

Promotion : 2025-2026



DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

A ma chère et tendre famille pour leur soutien et leur encouragement tout au long de ces longues études.

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce présent mémoire n'aurait été possible sans les contributions précieuses et l'accompagnement de nombreuses personnes. Ainsi, il serait indispensable d'exprimer notre profonde reconnaissance à l'ensemble de celles et ceux qui par leur soutien, leur orientation et leur disponibilité ont apporté une contribution déterminante à la réalisation de ce travail.

Nos sincères remerciements s'adressent en premier lieu à Monsieur le Directeur Général, à tout le personnel de l'Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (Institut 2iE) pour la qualité de la formation offerte ainsi que les connaissances théoriques et pratiques qui ont constitué une base essentielle à la réalisation de ce mémoire.

Nous souhaitons exprimer notre reconnaissance au Directeur Général M. Tiraogo Hervé OUEDRAOGO de AGEIM pour nous avoir offert l'opportunité de réaliser ce stage au sein de son entreprise.

Nous tenons à exprimer toute notre gratitude à Dr Abdou LAWANE GANA, notre directeur de Mémoire pour son précieux accompagnement tout au long de ce stage. A Dr Arnaud OUEDRAOGO, notre encadrant interne pour sa disponibilité et le temps qu'il nous a accordé dans la réalisation de ce travail.

Nos remerciements vont particulièrement à Mme BAMBARA/KINDA Judith notre maitre de stage, pour ses orientations pertinentes, ses conseils avisés et le suivi rigoureux dont elle a fait preuve tout au long de ce travail.

Nous remercions également Mme Diane KABORE, M. Brice KIEMA, M. Arouna YONABA, Mme Béatrice KAFANDO, tous ingénieur à AGEIM pour leur accompagnement, leur partage d'expérience et leur aide durant ce stage.

Enfin nos remerciements s'adressent aussi à nos familles pour leur soutien indéfectible et leurs encouragements qui ont été une source de motivation déterminante tout au long de nos études.

RESUME

Le présent document porte sur une étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage du tronçon Tienzan-Lanfièra long de 11,650 km, de la route régionale n°29 au Burkina Faso. Il permet de désenclaver les zones rurales, améliorer la mobilité et renforcer les échanges socio-économiques. L'objectif principal est de proposer une solution technique de la route adaptée aux conditions climatiques, topographiques et géotechniques du site afin d'améliorer les conditions de circulation.

La conception géométrie du tronçon étudié a permis de définir une route de catégorie T avec une vitesse de référence de 100 km/h en rase campagne et de catégorie R avec une vitesse de référence de 60 km/h en agglomération. Avec un trafic T2 et une classe de portance S4 (avec un CBR de 16), une structure de chaussée souple a été adoptée pour le dimensionnement. Il est constitué d'une couche de revêtement en béton bitumineux de 5 cm, d'une couche de base en graveleux latéritique naturel de 15 cm, d'une couche de fondation en graveleux latéritique naturel de 20 cm et d'une couche de forme en graveleux latéritique naturel de 20 cm. Les profils en travers type prévus dans le cadre de ce projet ont une plate-forme de 12 m avec un accotement de 2m de part et d'autre en agglomération et une plate-forme de 10m et un accotement de 1,5 m de part et d'autre en rase campagne.

Dans le but de garantir la durabilité de l'infrastructure et de fournir un environnement de vie sain, une étude hydrologique et hydraulique a été menée. Les débits obtenus ont permis de déterminer les sections des ouvrages de drainage tels que les dalots et les fossés. Le dimensionnement structurel des ouvrages a permis de déterminer les sections d'armature nécessaire pour la réalisation de ces ouvrages. Des dispositifs de signalisation et de sécurité routière sont recommandés pour limiter les risques d'accidents.

Aussi, une analyse d'impact environnemental et social a été effectuée afin d'identifier les effets potentiels du projet et proposer des mesures d'atténuations pour réduire les impacts négatifs liés à la réalisation de ce projet.

Le coût global du projet a été estimé à 5 487 009 401 Franc CFA TTC soit un coût kilométrique de 470 978 512 Franc CFA TTC.

Mots clés : Aménagement routier – désenclavement rural – Dimensionnement de la chaussée – Assainissement routier.

ABSTRACT

This document presents a detailed technical study of the construction and asphaltting works for the 11.650 km Tienzan-Lanfiera section, of regional road No.29 in Burkina Faso. The project aims to open up rural areas, improve mobility, and strengthen socio-economic exchanges. The main objective is to propose a technical solution of the road adapted to the topographical, geotechnical and climatic conditions of the site in order to facilitate traffic conditions.

The geometric design of the section studied made it possible to define a T-category road with a reference speed of 100 km/h in open country and R-category road with a reference speed of 60 km/h in built-up areas. With T2 traffic and an S4 load-bearing class (a CBR of 16), a flexible pavement structure was adopted for the design. It consists of a 5 cm layer of asphalt concrete pavement, a 15 cm layer of natural lateritic gravel base, a 20 cm layer of natural lateritic gravel foundation, and a 20 cm layer of natural lateritic subbase. The planned cross-sections have 12 m platform with a 2 m shoulder on either side in built-up areas and 10 m platform with a 2 m shoulder on either side in open countryside.

In order to ensure the sustainability of the infrastructure and provide a healthy living environment, a hydrological and hydraulic study was conducted. The flow rates obtained were used to determine the Cross-sections of drainage structures such as culverts and ditches. The structural design of the structures made it possible to determine the reinforcement sections required for the construction of these structures. Road signage and safety devices are recommended to limit the risk of accidents.

Also, an environmental and social impact assessment was carried out to identify the potential effects of the project and propose mitigation measures to reduce the negative impacts associated with its implementation.

The total cost of the projects has been estimated at 5,487,009,401 CFA francs including tax, or 470,978,512 CFA francs including tax per kilometer.

Keywords : Road development – rural accessibility – Pavement design – Road drainage.

Table des matières

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT	iv
ABREVIATIONS ET SIGLES.....	viii
LISTE DES FIGURES	ix
LISTE DES TABLEAUX	x
INTRODUCTION GENERALE.....	1
Chapitre I. Présentation de la structure d'accueil et du projet	2
I.1. Présentation de la structure d'accueil.....	2
I.1.1. Historique	2
I.1.2. Objectifs et missions.....	2
I.1.3. Domaines d'activités et organigramme	3
I.1.3.1. Domaines d'activités	3
I.1.3.2. Organigramme.....	3
I.2. Présentation du projet	5
I.2.1. Contexte.....	5
I.2.2. Justification et objectif du projet	5
I.2.3. Localisation du projet	6
I.2.4. Données de base	7
I.2.4.1. Analyse du fond topographique	7
I.2.4.2. Comptage routier.....	8
I.2.5. Caractéristiques physiques et climatiques de la zone d'étude	8
Conclusion partielle.....	9
Chapitre II. Matériels et méthodes.....	10
II.1. Matériels	10
II.1.1. Supports numériques et/ou physiques	10
II.1.2. Outils de traitement de données	10
II.2. Méthodes.....	11
II.2.1. Méthode d'étude géométrique	11
II.2.1.1. Choix du type et de la catégorie de route	11
II.2.1.2. Le tracé en plan	12
II.2.1.3. Le profil en long.....	13
II.2.1.4. Le profil en travers	13

II.2.1.5.	Aménagement routier	14
II.2.2.	Méthode d'étude de dimensionnement structurel de la chaussée	14
II.2.2.1.	Les paramètres d'entrée de dimensionnement des chaussées	15
II.2.2.2.	Méthodologie de dimensionnement	17
II.2.3.	Méthodologie d'étude hydrologique	17
II.2.3.1.	Délimitation et caractérisation des bassins versants.....	18
II.2.3.2.	Méthodologie d'estimation des débits du projet	18
II.2.4.	Méthodologie d'études hydrauliques	20
II.2.4.1.	Diagnostic des ouvrages existants.....	20
II.2.4.2.	Méthode de dimensionnement des sections hydrauliques.....	21
II.2.5.	Méthodologie du dimensionnement structurel des ouvrages	24
II.2.5.1.	Références et Règles de calcul	24
II.2.5.2.	Prédimensionnement du dalot 4 X 3,5 X 2	26
II.2.5.3.	Détermination des charges	28
II.2.5.4.	Dimensionnement avec le logiciel CYPEcad.....	28
	Conclusion partielle.....	28
Chapitre III.	Résultats et discussions	29
III.1	Conception géométrique de la route	29
III.1.1.	Choix du type et de la catégorie de route	29
III.1.2.	Tracé en plan	29
III.1.3.	Profil en long.....	29
III.1.4.	Profil en travers	30
III.1.5.	Aménagement de la route.....	32
III.2	Dimensionnement structurel de la chaussée	32
III.2.1.	Plate-forme support.....	32
III.2.2.	Etude du trafic	34
III.2.3.	Structure de la chaussée	35
III.2.3.1.	Méthode empirique ou CEBTP	35
III.2.3.2.	Dimensionnement selon la méthode rationnelle (vérification sur Alizé).....	37
III.2.3.3.	Limites et critiques des deux méthodes	41
III.3	Etude hydrologique.....	41
III.3.1.	Délimitation et caractérisation des bassins versants.....	41
III.3.2.	Estimation des débits de crue	43
III.4	Etude hydraulique	45
III.5	Dimensionnement structurel des ouvrages hydrauliques	46

III.4.1. Section d'armatures	46
III.4.2. Plan d'exécution du dalot.....	47
Conclusion partielle.....	47
Chapitre IV. Sécurité routière	48
IV.1. La signalisation routière.....	48
IV.1.1. La signalisation temporaire	48
IV.1.2. La signalisation permanente.....	49
IV.1.2.1. La signalisation verticale.....	49
IV.1.2.2. La signalisation horizontale.....	49
IV.1.2.3. La signalisation lumineuse	50
IV.2. Equipement de sécurité routière.....	50
IV.2.1. Eclairage public.....	51
IV.2.2. Les bordures	51
Conclusion partielle.....	51
Chapitre V. Principaux impacts potentiels environnementaux – Coût global du projet.....	52
V.1. Les principaux impacts potentiels environnementaux et sociaux du projet et propositions de mesures environnementales et sociales	52
V.1.1. Définitions de quelques mots clés	52
V.1.2. Cadre politique, législatif, réglementaire et institutionnel du Burkina Faso	53
V.1.3. Principaux impacts potentiels environnementaux et sociaux du projet.....	53
V.1.3.1. Principaux impacts potentiels négatifs	53
V.1.3.2. Principaux impacts potentiels positifs.....	55
V.1.3.3. Risques potentiels du projet	57
V.1.4. Mesures environnementales et sociales du projet.....	57
V.1.5. Recommandations	57
V.2. Cout global du projet	58
V.2.1. Avant métré.....	58
V.2.2. Devis estimatif du projet.....	59
Conclusion partielle.....	61
CONCLUSION GENERALE	62
PERSPECTIVES OU RECOMMANDATIONS	63
Bibliographie.....	64
ANNEXE	63

ABREVIATIONS ET SIGLES

AGEIM-IC	Agences d'Etudes d'Ingénierie et de Maîtrise d'œuvres
ARP	Aménagement des Routes Principales
BAEL	Béton Armé aux Etats Limites
BV	Bassin Versant
BCEOM	Bureau Central d'Etudes pour les Equipements d'Outre-Mer
CAM	Coefficient d'Agressivité Moyen
CBR	Californian Bearing Ratio
CEBTP	Centre Expérimental de Recherche et d'Etude de Bâtiment et des Travaux Publics
CIEH	Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques
CRT	Coefficient de Répartition Transversale
EPI	Equipement de Protection Individuel
FCFA	Franc de la Communauté Financière d'Afrique
GL	Graveleux Latéritique
HA	Haute Adhérence
HT	Hors Taxe
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
LNBT	Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics
PK	Point Kilométrique
NE	Nombre d'Essieux Equivalent
NPL	Nombre de Poids Lourds
ORSTOM	Office de Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer
OPM	Optimum Proctor Modifié
SETRA	Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes
TDR	Termes De Références
TN	Terrain Naturel
TVA	Taxe sur la Valeur Ajoutée
UTM	Transverse Universelle de Mercator

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme de AGEIM-I	4
Figure 2: Carte de la division régionale du projet	6
Figure 3: Carte de localisation du projet	7
Figure 4: Représentation schématique d'une structure de chaussée	14
Figure 5: Vue en plan du dalot	27
Figure 6: Profil en travers type en agglomération.....	31
Figure 7: Profil en travers type en rase campagne	32
Figure 8: Charge de référence	37
Figure 9: Vérification avec Alizé	39
Figure 10: Délimitation des bassins et sous bassins versants dans la zone du projet.....	42
Figure 11: Répartition du devis par composante	60

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Caractéristiques du tronçon de route selon les termes de référence	12
Tableau 2: Caractéristique du tracé en plan.....	13
Tableau 3: Caractéristique du profil en long	13
Tableau 4: Caractéristique du profil en travers	14
Tableau 5: Données pour l'estimation du trafic	16
Tableau 6: Classe de l'ouvrage	27
Tableau 7: Résultats du tracé en plan	29
Tableau 8: Récapitulatif des résultats du profil en long	30
Tableau 9: Caractéristiques des profils en travers type du projet.....	31
Tableau 10: Résultats géotechniques.....	33
Tableau 11: Classe de portance de sol	33
Tableau 12: Classe de plate-forme	34
Tableau 13: Estimation du trafic	34
Tableau 14: Classe du trafic	35
Tableau 15: Proposition de Variantes	36
Tableau 16: Variante retenue [2].....	37
Tableau 17: Caractéristique des matériaux de la variante retenue	38
Tableau 18: Contraintes Admissibles	39
Tableau 19: Tableau comparative des épaisseurs des couches des deux méthodes.....	40
Tableau 20: Caractéristiques des bassins et sous-bassins versants.....	42
Tableau 21: Estimation de débit par la méthode rationnelle	43
Tableau 22: Estimation de débit par la méthode ORSTOM.....	43
Tableau 23: Estimation de débit par la méthode CIEH	44
Tableau 24: Estimation des débits par la méthode Caquot.....	44
Tableau 25: Récapitulatif des devis du projet	44
Tableau 26: Récapitulatif des sections des ouvrages hydrauliques	45
Tableau 27: Sections des fossés trapézoïdaux	46
Tableau 28: Récapitulatif des sections d'aciers du dalot	47
Tableau 29: Récapitulatif du devis	60

INTRODUCTION GENERALE

Les infrastructures routières constituent un levier principal dans le développement économique et social d'un pays, notamment dans les pays à économie majoritairement agro-pastoral comme le Burkina Faso. Elles jouent un rôle stratégique dans l'écoulement des produits agricoles vers les marchés, assure la mobilité des populations, la circulation des biens et la réduction des disparités territoriales. Malgré leur rôle essentiel dans le développement économique, certaines routes restent peu aménagées, voire constituées de simple pistes en terre souvent impraticable en saison pluvieuse ce qui entraine des difficultés d'accès aux zones de production augmentant ainsi le coût du transport.

Conscient de ces enjeux, l'Etat Burkinabé avec l'appui des partenaires techniques et financiers a initié plusieurs programmes visant l'aménagement et le bitumage de routes de désenclavement dans le but de renforcer la résilience des infrastructures de transport dans les zones rurales. C'est dans cette optique que s'inscrit le projet d'aménagement et de bitumage de la route régionale n°29 (RR29), reliant Boromo, Safané et Lanfièra de 81 km de linéaire qui vise à améliorer les conditions de vie des populations tout en facilitant l'accès aux marchés, aux services sociaux de base et aux centres urbains.

Le présent mémoire porte sur les études techniques détaillées du tronçon Tienzan-Lanfièra de longueur 11, 650 km et traversant une zone agricole stratégique. L'objectif principal de cette étude est de proposer une solution techniquement adaptée et économiquement optimisée tout en tenant compte des contraintes topographiques, géotechniques et climatiques de la zone d'étude. De manière spécifique, il s'agit de réaliser la conception et le dimensionnement de la route, d'assurer l'assainissement routier, de mener une analyse d'impact environnemental et d'estimer le coût global du projet.

La méthodologie suivie dans la réalisation de cette étude comprend une présentation générale du projet, une étude technique englobant la conception géométrique de la route, le dimensionnement structurel de la chaussée, des études hydrologiques, hydrauliques ainsi que le dimensionnement structurel des ouvrages, une proposition en matière de sécurité, une analyse d'impact environnemental et social du projet et une estimation du coût global du projet.

Chapitre I. Présentation de la structure d'accueil et du projet

Ce chapitre présente de manière succincte la structure d'accueil ainsi que les principales caractéristiques du projet. D'une part, il présente de manière générale l'organisme au sein duquel les travaux ont été réalisés en mettant en relief son fonctionnement ainsi que ses missions. D'autre part, il expose le contexte, la justification et les objectifs du projet étudié, les caractéristiques physiques et climatique de la zone d'étude ainsi que les données de base qui ont été fournies pour la réalisation des différentes études.

I.1. Présentation de la structure d'accueil

I.1.1. Historique

AGEIM-IC (Agence d'Etude d'Ingénierie et de Maitrise d'œuvre-Ingénieurs Conseils) connu sous le statut juridique de société à responsabilité limitée (SARL) est un bureau d'étude d'ingénieurs conseils créé en janvier 2000 au Burkina Faso dans la ville de Ouagadougou plus précisément à 1200 logements 64 Rue 14.10 villas n°205 et 206. Il intervient à tous les stades d'élaboration de projets.

I.1.2. Objectifs et missions

L'AGEIM exerce des activités dans certains pays de l'Afrique notamment au Burkina Faso, au Bénin, en Côte d'Ivoire, au Mali, au Niger, en Guinée Bissau, en Guinée Conakry, au Togo, en Mauritanie et au Tchad. Ses missions dans les projets incluent :

- L'identification et la formulation de projets ;
- La Reconnaissance et l'évaluation des sites d'intervention ;
- La Réalisation d'études primaires et techniques ;
- Les dossiers de consultation des entreprises ;
- La Supervision et contrôle des travaux ;
- Le suivi et la maintenance ;
- L'étude d'impact environnementale ;
- L'aménagement forestier et gestion des ressources naturelles ;
- L'étude diagnostic conjoint ;
- L'élaboration des plans de développement et de gestion des terroirs ;
- L'étude sur les énergies nouvelles et énergie renouvelable ;

- L'étude cartographique.

I.1.3. Domaines d'activités et organigramme

I.1.3.1. Domaines d'activités

Grâce à la qualité de ses ingénieurs issus de différentes spécialité, AGEIM Ingénieurs Conseils intervient dans les différents domaines notamment :

- ✓ Infrastructures de transport pour la réalisation de routes, voiries, pistes rurales, réseaux divers, réhabilitation d'ouvrage et travaux topographiques ;
- ✓ Aménagement hydraulique et environnemental pour la conception des barrages, des aménagements agricoles, des études hydrologiques et hydrogéologiques, l'hydraulique urbaine et rurale ;
- ✓ Bâtiments et ouvrages d'art pour la construction et la réhabilitation des bâtiments, les structures métalliques ou en bois, les ouvrages d'art, les études géotechniques et les expertises techniques.

I.1.3.2. Organigramme

L'organigramme ci-après présente la structure organisationnelle de l'entreprise mettant en évidence les différentes unités ainsi que les relations hiérarchiques qui assurent son fonctionnement.

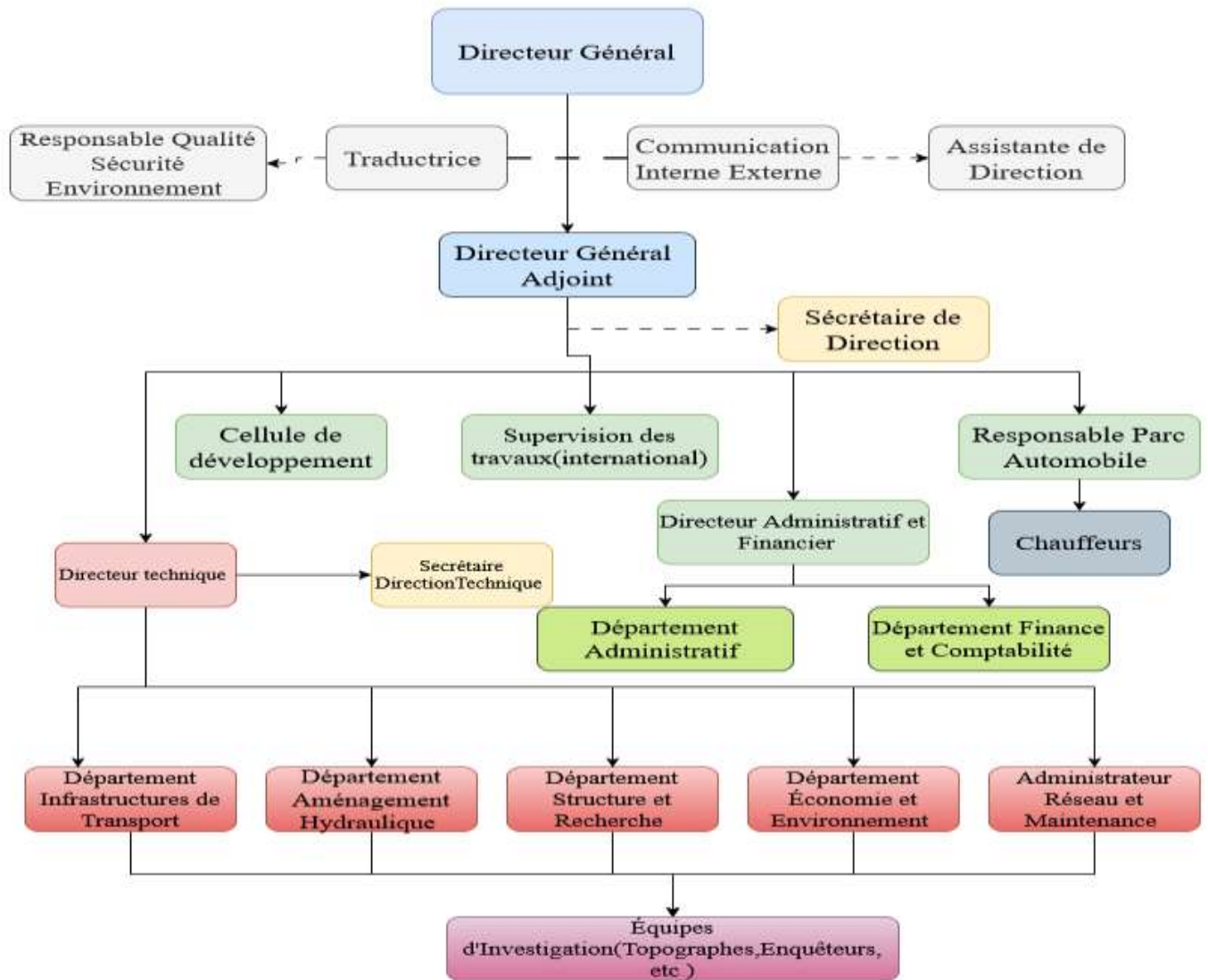


Figure 1: Organigramme de AGEIM-I

I.2. Présentation du projet

I.2.1. Contexte

Le Burkina Faso, pays sahélien enclavé fonde une grande partie de son économie sur l'agriculture et l'élevage. En ce sens le potentiel agricole demeure important mais reste sous-exploité à cause des difficultés d'accès aux marchés, aux centres urbains et aux infrastructures socio-économiques. Au Burkina Faso, certaines régions, notamment la boucle du Mouhoun, le Sud-ouest et l'est se distinguent par leur forte capacité de production agricole. Malgré leur potentiel, l'écoulement des produits agricoles est entravé par la dégradation avancées des pistes existantes, surtout en saison pluvieuse, le manque de routes revêtues pour relier les zones de production aux centres de consommation et d'exportation.

Ce projet a pour objectif de donner les moyens aux populations rurales des zones du projet de participer beaucoup plus activement au développement de l'économie locale et nationale grâce au désenclavement de la zone rurale.

L'une des phases du projet est la réhabilitation et le bitumage de l'axe Boromo-Safané-Lanfièra de 81 km afin de faciliter l'écoulement des productions agricoles vers Boromo, puis vers Ouagadougou, stimuler les échanges commerciaux et renforcer l'intégration des marchés, désenclaver les zones de Safané et Lanfièra. Il permet également d'améliorer l'accès des populations aux infrastructures de santé, d'éducation et aux services administratifs.

I.2.2. Justification et objectif du projet

Le tronçon Tienzan-Lanfièra traverse une zone à forte production agricole où l'agriculture, l'élevage et le commerce constituent les principales sources de revenus pour les populations riveraines. Toutefois, l'état actuel de la piste rend difficile l'écoulement des productions agricoles surtout en saison pluvieuse. Le bitumage de cette route contribuera à :

- Réduire les coûts de transport et les temps de trajet ;
- Améliorer l'accès aux services sociaux de base tels que les centres de santé, les marchés, les écoles ;
- Stimuler les échanges commerciaux inter-régionaux ;
- Créer des emplois directs et indirects pendant les phases de travaux.

I.2.3. Localisation du projet

Le projet d'aménagement et de bitumage de la RR29 Boromo (EMBRRN01) située dans la région de la boucle du Mouhoun, au sud-ouest du Burkina Faso débute à Boromo et prend fin à Lanfièra sur un linéaire de 81 Km. Le tronçon concerné par l'étude s'étend sur une distance de 11,650 km du PK68+842 au PK80+492 entre les localités de Tienzan et Lanfièra dans la province des balé. Ce tronçon traverse plusieurs villages et zone à forte production agricole et joue un rôle stratégique dans la liaison entre les communes de la région et les grands axes nationaux notamment la RN14. Le tronçon est limité au nord par la commune de Safané, au sud par la commune de Lanfièra, à l'Est par les localités frontalières de la province des Banwa et à l'ouest par la commune de Boromo.

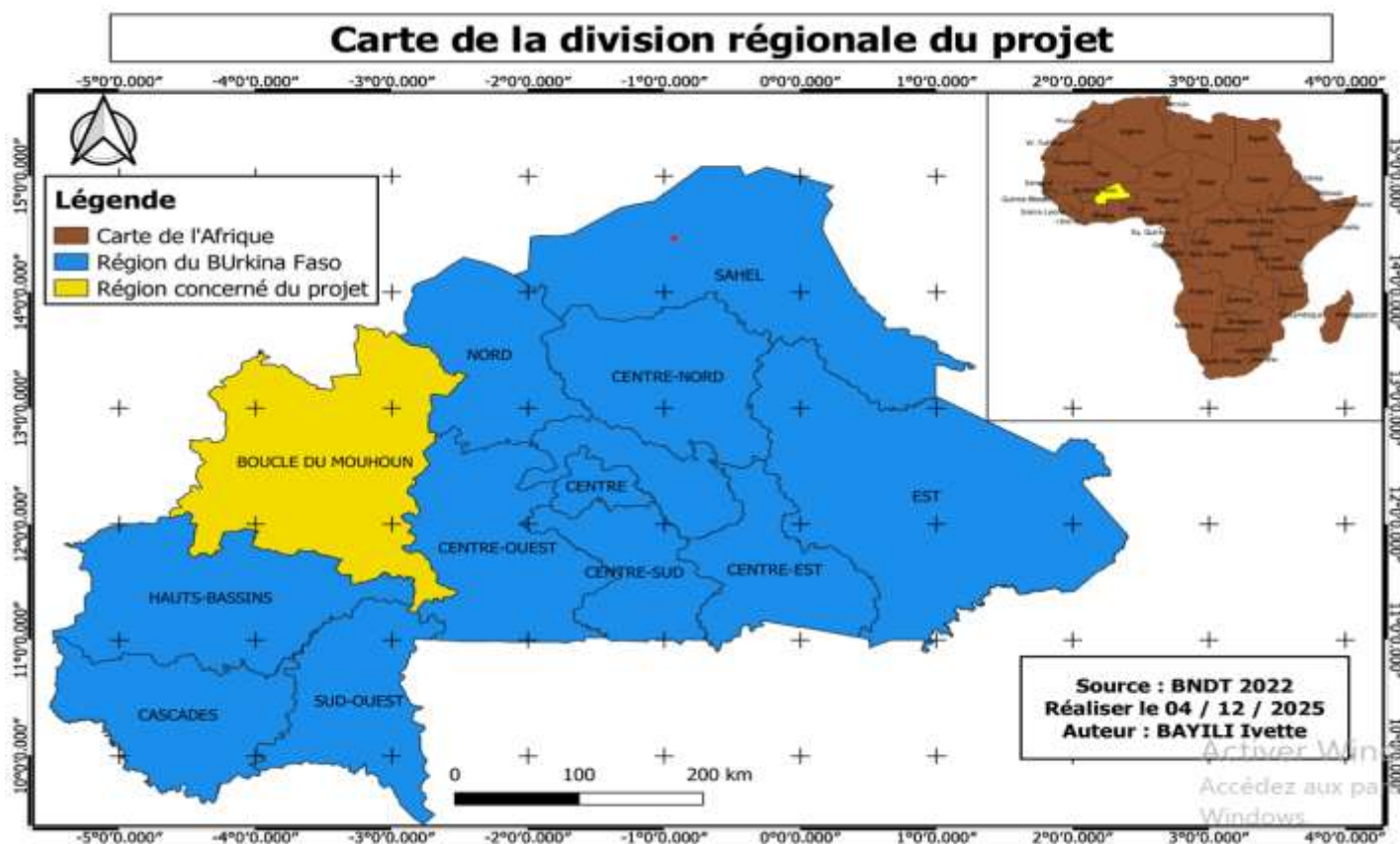


Figure 2: Carte de la division régionale du projet

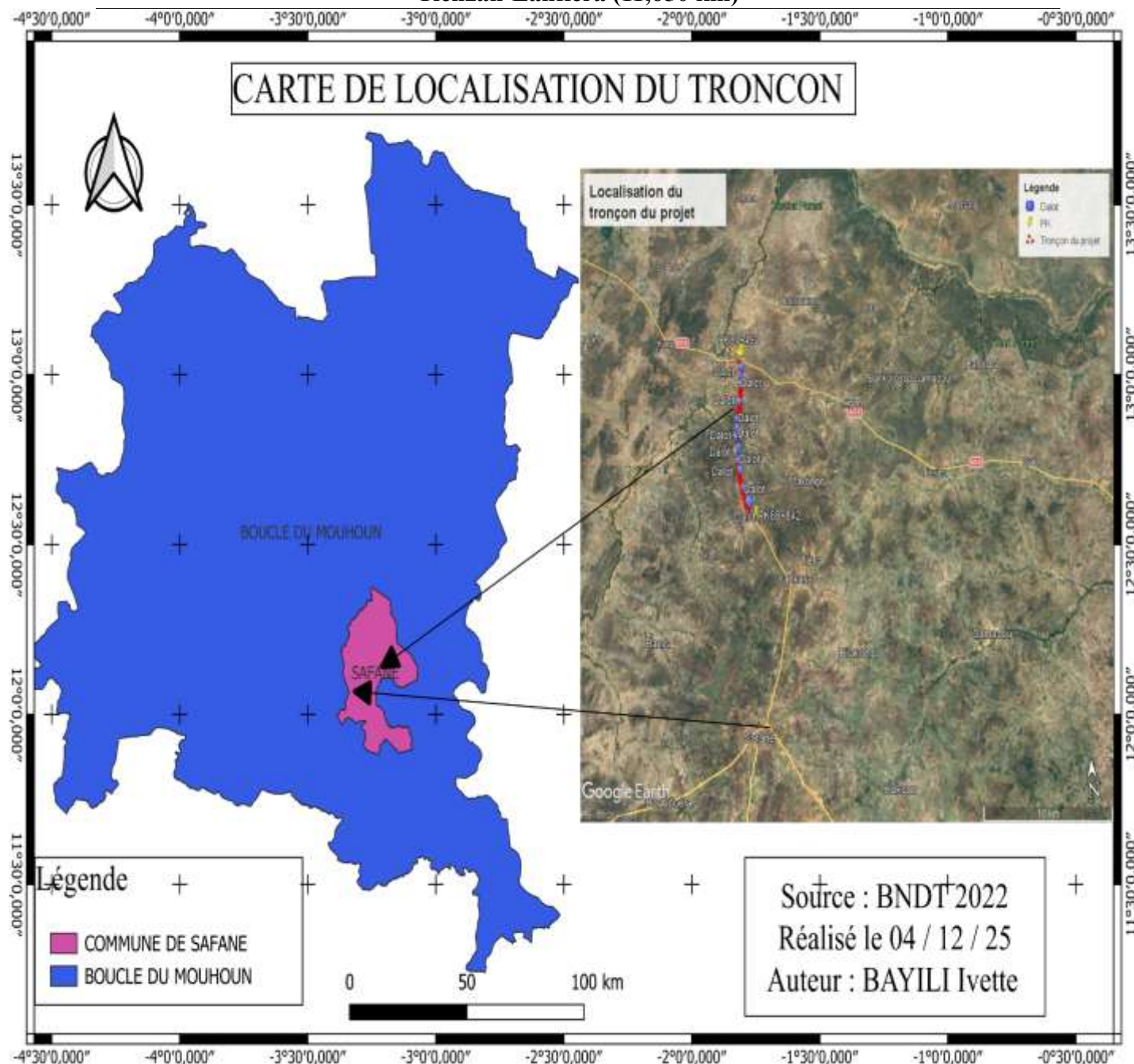


Figure 3: Carte de localisation du projet

I.2.4. Données de base

I.2.4.1. Analyse du fond topographique

Le fond topographie est constitué par l'ensemble des éléments relevés par les topographes sur le tronçon. L'analyse du fond topographique a permis de faire ressortir l'axe existant de la route, les bords de chaussée existantes, les crêtes de talus, les pieds de talus, les ouvrages existants sur la route qui sont au nombre de seize (16) et les réseaux existants. Plusieurs éléments

d'occupation du sol ont été relevés à proximité de l'axe, notamment des groupes de concessions, des points d'eau (forages, puits, pompes), des stations-service et des cimetières implantés en bordure de chaussée. Ce fond topographique a permis d'identifier aussi une dynamique socio-économique notable, caractérisée par la présence d'activités commerciales informelles dans la zone péri-urbaine.

Une polygonale a été mis en place rattaché au système de géolocalisation du Burkina Faso. Cette polygonale est constitué de borne jumelle visible entre elle à 2,500 km. Des levés en travers ont été fait à chaque 25 m au pas. Ces levés en travers ont permis de relevés 6814 points topographiques.

I.2.4.2. Comptage routier

Le comptage routier est un élément essentiel dans l'évaluation des conditions de trafic et dans le dimensionnement des infrastructures routières. Il permet de quantifier le trafic, d'identifier sa composition et d'apprécier son évolution dans le temps sur la route concernée.

Dans le cadre du présent projet, un comptage a été réalisé en 2023 révélant un flux moyen journalier de 113 poids lourds. Ce flux traduit une circulation significative d'engins de transport, relatifs aux zones à vocation agricole. Aussi, une croissance annuelle de 5% a été projetée dans le but de tenir compte de l'évolution du trafic sur l'horizon du projet. Il fournit des informations indispensables pour prévoir les besoins futurs en termes de capacité et de sécurité.

I.2.5. Caractéristiques physiques et climatiques de la zone d'étude

Le relief

La région de la boucle du Mouhoun, qui abrite le tronçon Tienzan-Lanfièra présente un relief peu accidenté avec une altitude moyenne de moins de 340 mètres ainsi que quelques points plus élevés localisés dans la province du Balé où culmine le pic de Konkoliko à environ 621 mètres.

Dans cette région, on rencontre quatre (04) grands types de sols à savoir :

- Les sols minéraux bruts, peu évolués et souvent rencontrés dans les zones rocheuses ;
- Les sols bruns eutrophes et vertisols très répandus ;
- Les sols ferrugineux tropicaux adaptés aux zones de culture de mil et de fonio ;
- Les sols hydromorphes qu'on retrouve dans les zones basses et les secteurs inondables.

Le climat

Le climat de la région est de type tropical soudano-sahélien marqué par deux (02) grandes saisons notamment la saison des pluies allant de Mai à Septembre et la saison sèche d'octobre à Avril.

Les températures varient de 24°C à 40°C et les précipitations annuelles varient généralement entre 500 et 1400 mm avec une région constituée de savane et de steppe ainsi que des arbres et des arbustes.

Conclusion partielle

Au terme de ce chapitre, nous retenons que la présentation de la structure d'accueil et du projet ont permis de mieux appréhender les responsabilités, les moyens mobilisés et l'environnement dans lequel s'inscrit l'étude. Elle offre une vision claire du cadre institutionnel qui ont motivé pour la mise en œuvre du projet.

Chapitre II. Matériels et méthodes

Ce chapitre présente l'ensemble des matériels et outils mobilisés pour la réalisation du présent travail ainsi que la méthodologie adoptée pour la conception de l'étude. Il a pour but d'exposer les supports physiques ou numériques qui ont été utiles, et à faire une description de façon structurée des différentes étapes mise en place pour atteindre les objectifs fixés.

II.1. Matériels

Il s'agit des documents physiques ou numériques qui nous ont permis ainsi que tous les matériels nécessaires pour le traitement des données qui ont été utiles à la rédaction de ce mémoire.

II.1.1. Supports numériques et/ou physiques

Pour la réussite de ce mémoire, nous avons utilisés un bon nombre de supports physiques et/ou numériques. Ses supports sont des documents issus de la recherche documentaire et de la collecte d'informations nécessaires pour la rédaction de ce mémoire. Il s'agit entre autres de :

- ARP- Aménagement des routes principales ;
- Hydraulique routière BCEOM ;
- Crue et apport FAO ;
- CIEH pluie durée fréquence ;
- Guide pratique de dimensionnement CEBETP ;
- Catalogue du Sénégal ;
- Catalogue de structures de chaussées neuves et de dimensionnement des chaussées au Sénégal ;
- Fascicule 61 titre II CPC 1971 charges et épreuves des ponts routes
- BAEL 91 modifié 99

II.1.2. Outils de traitement de données

Cette partie est dédiée aux différents outils qui nous ont permis de réaliser les différentes études. Chaque outil a contribué à une étape précise du processus de conception et de rédaction du projet.

- ALIZE LCPC : c'est un logiciel conçu pour le dimensionnement mécanique de la chaussée à savoir la détermination des différentes épaisseurs de la structure de chaussée en fonction du trafic, du sol support

- Autocad : logiciel de conception 2D, utilisé pour l'élaboration des différents plans du projet ;
- CYPECAD : c'est un logiciel de calcul et de dimensionnement des ouvrages en béton armée notamment les dalots et autres ouvrages de drainage ;
- Global mapper : pour le traitement des données topographiques (cartes, la délimitation des bassins versants) ;
- Google Earth : utilisée pour l'analyse initiale du terrain, la localisation du projet et l'extraction des coordonnées géographiques nécessaires aux études ;
- Hyfran plus : outil utilisé pour le traitement et l'analyse fréquentielle des données hydrologiques ;
- Microsoft office : pour la rédaction du mémoire et les calculs et tableaux ;
- Piste 5 : logiciel dédié à la conception géométrique de la route notamment le tracé en plan, le profil en long, le profil en travers et le calcul des déblais/remblais ;
- Zotero : pour la gestion des sources bibliographiques et la création automatique des références dans le rapport.

II.2. Méthodes

Dans le cadre de cette étude, la méthodologie adoptée repose sur une démarche scientifique et technique structurée en plusieurs étapes permettant d'assurer la fiabilité des résultats obtenus.

II.2.1. Méthode d'étude géométrique

La conception routière constitue une étape essentielle dans la réalisation d'un projet routier. Elle définit les caractéristiques géométriques de la route notamment le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers qui permet d'assurer à la fois la sécurité, le confort et la fluidité de la circulation en prenant en compte les contraintes topographiques, géotechniques et hydrauliques de la zone d'étude.

II.2.1.1. Choix du type et de la catégorie de route

L'aménagement des routes principales (ARP) [1] définit trois (03) catégories de routes notamment :

- Les routes de type L : elles sont considérées comme des routes de liaison.
- Les routes de type T : sont des routes express à une chaussée, conçues avec des vitesses de référence plus élevées.

- Les routes de type R : elles constituent les principales voies en milieu rural et assurent plusieurs fonctions.

Le choix de la catégorie de route dépend essentiellement de l'affectation de la route, de la vitesse de référence, des contraintes topographiques et quelques aspects financiers. Cette vitesse est maintenue sur l'ensemble du tracé.

Pour les routes du type R, on distingue deux catégories :

- Catégorie R60 : adaptée aux reliefs vallonnés
- Catégorie R80 : cette catégorie est adaptée généralement aux zones de faibles contraintes topographiques

En ce qui concerne les routes du type T, on distingue également deux types :

- Catégorie T80 : adaptée également aux reliefs vallonnés
- Catégorie T100 : conçue pour les zones de faibles contraintes topographiques

Les caractéristiques du tronçon de route à aménager sont consignés dans le Tableau 1.

Tableau 1: Caractéristiques du tronçon de route selon les termes de référence

En agglomération	En rase Campagne
-Largeur de chaussée : chaussée de deux voies de 4m de largeur ;	-Largeur de chaussée : chaussée de deux voies de 3,5m de largeur ;
-Accotements : accotement de 2m de part et d'autre de la chaussée ;	-Accotements : accotement de 1,5m de part et d'autre de la chaussée ;
-Vitesse de référence : 60 km/h ;	-Vitesse de référence : 100 km/h ;
-Durée de vie : 15 ans.	-Durée de vie : 15 ans.

II.2.1.2. Le tracé en plan

Le tracé en plan est une représentation horizontale de la route sur le terrain. Il est constitué d'alignement droit et des courbes circulaires. Le tracé en plan doit aussi respecter les rayons minimaux de courbure qui sont fonction de la vitesse de référence du projet, tout en s'intégrant harmonieusement dans le relief et en limitant les travaux de terrassement. Le but principal est d'obtenir un alignement régulier, fluide garantissant les conditions de visibilité et de sécurité pour les usagers. Les caractéristiques du tracé en plan sont données dans le Tableau 2 [1].

Tableau 2: Caractéristique du tracé en plan

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

II.2.1.3. Le profil en long

Le profil en long correspond à une coupe longitudinal suivant l'axe de la route. Il traduit l'évolution altimétrique de l'infrastructure en fonction des contraintes du terrain naturel. Il est constitué, de déclivité, de pente, de rampe et généralement des paraboles qui garantit le raccordement entre les différentes pentes. La réalisation de ce profil tient compte de la pente maximale admissible, du confort de circulation et des exigences de visibilité à savoir la distance de visibilité d'arrêt. Afin d'offrir au conducteur un champ de vision adéquat et permettre l'écoulement des eaux de pluie, les courbes verticales doivent être suffisamment longues. Les rayons minimaux du profil en long sont présentés dans le Tableau 3 [1].

Tableau 3: Caractéristique du profil en long

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

II.2.1.4. Le profil en travers

Le profil en travers est une coupe perpendiculaire à l'axe de la route. Ce profil définit la composition et l'organisation transversale de la plateforme routière à savoir la chaussée, les accotements, les fossés, les caniveaux et les talus de remblai ou de déblais. Ce profil doit aussi respecter les largeurs réglementaires des chaussées en fonction de la catégorie de route, prévoir des pentes transversales pour l'évacuation des eaux de pluie et assurer la stabilité des talus. Les caractéristiques du profil en travers est donné dans le Tableau 4 [1].

Tableau 4: Caractéristique du profil en travers

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

II.2.1.5. Aménagement routier

L'aménagement routier s'appuie essentiellement sur l'analyse des caractéristiques physiques, topographiques et environnementales de la zone d'étude. Dans le cadre de ce projet, il consiste à réaliser une sorte d'opérations techniques visant à définir la configuration géométrique de la route et à garantir la sécurité des usagers.

II.2.2. Méthode d'étude de dimensionnement structurel de la chaussée

Le dimensionnement de la chaussée est une étape indispensable dans la conception d'un projet routier. Il permet de définir la composition et l'épaisseur des différentes couches qui constituent la chaussée dans le but de garantir une durée de vie compatible avec les sollicitations prévues mais en tenant compte des matériaux disponibles localement et en optimisant le coût du projet. A cet effet, il s'appuie sur l'analyse du trafic, de la portance du sol, des conditions climatiques et hydrogéologiques ainsi que des contraintes techniques et économiques du projet.

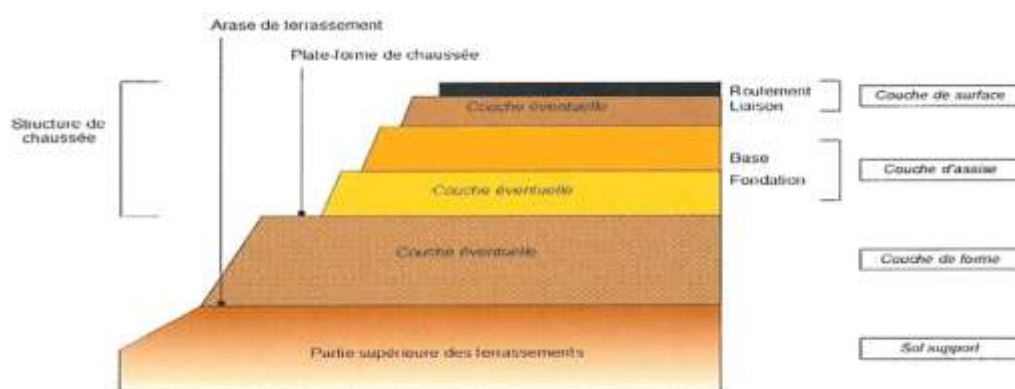


Figure 4: Représentation schématique d'une structure de chaussée

II.2.2.1. Les paramètres d'entrée de dimensionnement des chaussées

La Plate-forme support

Le sol de plateforme correspond au sol en place qui va constituer la structure de notre chaussée. La qualité de ce sol a une influence sur la durabilité et le comportement mécanique de la structure. Dans le cadre de ce projet, des investigations géotechniques ont été menées sur le tronçon dans le but de déterminer la nature et les propriétés des sols rencontrés. A l'issue de ces investigations, des essais ont été réalisées à savoir :

L'analyse granulométrique : permet d'identifier les proportions des diamètres des grains composant le sol de support ;

Les limites d'Atterberg : permet d'identifier un sol et de le caractériser selon son indice de consistance ;

Le Proctor modifié : permet de déterminer la densité maximale sèche atteinte pour une énergie de compactage ;

L'essai CBR : permet de déterminer la portance du sol compacté.

Ces essais permettront d'évaluer la portance naturelle du sol et d'apprécier son aptitude à servir de sol de plate-forme.

Selon les recommandations du guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux (CEBTP) [2], les sols de plate-forme sont classés en cinq (05) catégories en fonction de leur indice CBR à 95% de l'optimum Proctor Normal.

Selon le catalogue de structures de chaussées neuves, il existe une relation entre le module de Young et le CBR. Cette relation est déterminée à travers la formule suivante :

$$E = 5 \times CBR \qquad \text{Équation 1}$$

Le trafic

○ Etude du trafic

La conception d'une chaussée s'appuie en majeure partie sur l'analyse du trafic, en particulier celui des poids lourds, qui constituent les principaux agents de dégradation des structures routières. L'analyse du trafic est une étape importante parce qu'elle est un facteur clé dans le choix de la structure de chaussée et la durabilité des infrastructures. Il est indispensable aussi

de prendre en compte à la fois le trafic existant et le trafic projeté, en tenant compte de leur évolution au cours de la durée de vie de la route. Mais aussi de leur répartition par types de véhicules. Dans cette optique, un comptage routier est prévu afin de déterminer la classe du trafic correspondant à l'année de mise en service. Pour l'évaluation du trafic, nous allons utiliser la méthode CEBTP avec une évolution géométrique du trafic car c'est le cas le plus défavorable. Les données du trafic sont données dans le Tableau 5.

○ Données du trafic

Tableau 5: Données pour l'estimation du trafic

Données	
Essieu de référence (t)	13
Durée de service n	15
Taux d'accroissement annuel du trafic i	0,05
Année de comptage	2023
Année de mise en service	2028
Coefficient d'agressivité moyen	1
Trafic moyen journalier de la première année PL	113
Coefficient de répartition transversale CRT	0,75

○ Estimation du trafic

L'estimation du trafic s'appuie sur le calcul du nombre d'essieux de référence équivalents basés sur les passages des poids lourds standards de 13 tonnes. Les données de base sont issues d'un comptage routier réalisé en 2023. Ensuite, on détermine le trafic cumulé à partir de la formule exponentielle qui tient compte du taux d'accroissement géométrique, du coefficient d'agressivité qui est spécifique à la catégorie de véhicules, ainsi que le coefficient de répartition transversale. Cette méthode permet de tenir compte de l'évolution du trafic dans le temps.

 Les matériaux disponibles

Les matériaux naturels : ce sont des granulats sans ajout de liant et sont issus des gisements locaux à savoir les carrières, les emprunts. Parmi ces granulats, nous avons les graveleux latéritiques, les sablo-argileux et les graves naturelles ou alluvionnaires. Ils sont utilisés

généralement en couche d'assise aussi bien qu'en couche de forme et leur utilisation dépend de leur granulométrie, de leur teneur en fine, de leur portance et de leur plasticité.

Les matériaux traités aux liants hydrauliques : ce sont des granulats stabilisés au ciment, à la chaux ou à la pouzzolane en vue d'obtenir une meilleure résistance mécanique et durabilité. Il s'agit des sols ciment, des graveleux latéritiques stabilisés au ciment, du grave ciment et des bétons de ciment.

Les matériaux traités aux liants hydrocarbonés : ce sont des matériaux traités au liant bitume notamment le grave bitume, le sable bitume, les enrobés bitumineux.

II.2.2.2. Méthodologie de dimensionnement

Méthode empirique (catalogue CEBTP)

Cette méthode s'appuie principalement sur les expériences accumulées au fil des années à travers l'observation du comportement des chaussées en service. Elle apparaît comme un outil de référence généralement utilisé en Afrique de l'ouest permettant de choisir une structure en fonction du trafic cumulé exprimé en nombre d'essieux standard sur la durée de vie et de la classe de portance du sol support. Cette méthode propose sous forme de tableaux et de coupes types, les épaisseurs minimales de couches à mettre en place pour assurer la durabilité de la route.

Méthode rationnelle

La méthode rationnelle quant à elle, se consacre sur le modèle mécanique du comportement des chaussées soumises aux sollicitations du trafic. Selon cette méthode la chaussée est considérée comme un système multicouche élastique et caractérise chaque couche par son module de déformation et son épaisseur. Cette méthode consiste à déterminer les contraintes et déformations engendrées par le passage d'un essieu standard et à vérifier que les critères de résistance sont respectés sur la durée de vie du projet.

II.2.3. Méthodologie d'étude hydrologique

Cette étude consiste à analyser le comportement de l'eau dans la zone d'étude afin de garantir une gestion efficace des écoulements et proposés des ouvrages d'assainissement adaptés. Elle a pour but de déterminer les caractéristiques des crues, tels que le débit, la fréquence et la durée pour une période de retour donnée. Cette étude va s'articuler en deux phases à savoir la

délimitation des bassins versants et leur Caractérisation ; l'identification des méthodes de calcul des débits et à leur estimation.

II.2.3.1. Délimitation et caractérisation des bassins versants

Un bassin versant est la surface topographique drainée par un cours d'eau à l'intérieur de laquelle toutes les eaux de pluie s'écoulent vers un même exutoire sous l'effet de la gravité. Cette délimitation est réalisée à partir du modèle numérique de terrain en suivant les lignes de crêtes et les directions d'écoulement. Pour ce faire des outils numériques tels que google Earth et global mapper ont été mobilisées pour la délimitation de ses bassins. Afin de procéder à la délimitation, nous avons exporté l'axe de notre route ainsi que les levés topographiques sur le logiciel Global Mapper où nous avons générés les différents drainage network (réseaux de drainages) et les bassins versants.

II.2.3.2. Méthodologie d'estimation des débits du projet

Pour la détermination des débits d'écoulement des bassins versants, il existe plusieurs méthodes à savoir la méthode rationnelle, ORSTOM, CIEH et CAQUOT.

❖ Méthode rationnelle

Selon le BCEOM [4], cette méthode est applicable à des petits bassins versants dont les superficies ne dépassent pas 4 km². Pour cette méthode pour que le débit maximum soit atteint, il faut que la durée de l'averse soit au moins égale au temps de concentration T_c. Elle tient compte à la fois de l'intensité I de l'averse, de la superficie du bassin versant et du coefficient de ruissellement qui est fonction de la nature du couvert végétal et de la pente du bassin versant. La formule s'écrit :

$$Q_{10} = 0,278 \times C \times I \times A \quad \text{Équation 2}$$

Q₁₀ : Débit de projet exprimé en m³/s

C : Coefficient de ruissellement du bassin versant

I : Intensité de pluie exprimé en mm/h

A : Superficie du bassin versant en km²

❖ Méthode ORSTOM

La méthode ORSTOM encore appelée méthode RODIER et AUVREY s'applique aux bassins versants de superficie inférieure à 200 km². Elle permet de déterminer le débit de crue décennale, La formule s'écrit :

$$Q_{10} = A \times \alpha_0 \times P_{10} \times K_{r10} \times \frac{S}{T_b} \quad \text{Équation 3}$$

Q₁₀ (m³/s) : débit de pointe de la crue décennale

A : coefficient d'abattement

α₀ : coefficient de pointe se rapportant à la crue décennale

P₁₀ (mm) : pluie maximale journalière pour une période de retour T=10 ans

K_{r10} : coefficient de ruissellement se rapportant à la crue décennale

S (km²) : superficie du bassin versant

T_b : Temps de base se rapportant à la crue décennale

❖ Méthode CIEH

C'est une méthode qui s'intéresse au bassin versant dont la superficie est comprise entre 10 et 2500 km² pour la zone sahélienne ainsi que les bassins versants dont la superficie est inférieure à 1500 km² pour la zone tropicale sèche. Le débit de pointe est calculé à partir d'un modèle de régression multiple sous la forme suivante :

$$Q_{10} = a \times S^s \times P_{an}^p \times I_g^i \times K_{r10}^k \times D_d^d \quad \text{Équation 4}$$

Où a, s, p, i, k et d sont des coefficients à déterminer

Q₁₀ (m³/s) :

S : superficie du bassin versant en km²

P_{an} : pluie moyenne annuelle en mm

I_g : l'indice global de pente en m/km

K_{r10} : coefficient de ruissellement décennal en %

D_d : densité de drainage en km-1

Dans le cadre de ce projet, les équations 39, 40, 41, 42, 43, 44 et 45 établies pour le Burkina Faso sont utilisés. Voir Annexe 3 en page 87.

❖ Méthode caquot

Cette méthode mise au point par Albert Caquot concerne les petits bassins versants dont la superficie est inférieure à 4 km². Elle permet d'estimer le débit maximal dans les petits bassins urbains ou périurbains et prend en compte la capacité de stockage du réseau d'écoulement. Elle est la dérivée de la méthode rationnelle, mais introduit des coefficients correcteurs ce qui la rend plus adaptée que la méthode rationnelle. Le débit est déterminé à partir de la formule suivante :

$$Q_p = m \times k^{\frac{1}{u}} \times I^{\frac{v}{u}} \times C^{\frac{1}{u}} \times A^{\frac{w}{u}} \quad \text{Équation 5}$$

Où :

Q_p [m³/s] : débit de pointe maximal

I [m/m] : pente moyenne du bassin versant

C : coefficient de ruissellement

A [ha] : superficie du bassin versant

K , u , v et w sont des coefficients à déterminer en fonction de la zone géographique et de la période de retour.

II.2.4. Méthodologie d'études hydrauliques

Cette étude va consister à faire un diagnostic des ouvrages existants sur notre tronçon afin de s'assurer de leur capacité à évacuer les débits du projet estimés. Sur notre tronçon d'étude, nous pouvons compter deux dalots existants de section 1 x 200 x 120 et 1 x 200 x 100, sept buses de diamètre 80 cm et 90 cm, sept radiers ainsi que cinq passages d'eau. Selon les recommandations du dossier d'appel d'offre, tous les buses ainsi que les radiers devront être remplacés par des dalots.

II.2.4.1. Diagnostic des ouvrages existants

Cette section consiste à faire une évaluation de l'état actuel des ouvrages existants sur notre tronçon notamment les dalots, les buses et les radiers. Pour ce qui est des dalots existants, il a été révélé à travers une inspection faite par le bureau d'étude, que leur état actuel est satisfaisant.

Il conviendra pour nous de vérifier si les sections actuelles vont permettre d'évacuer les débits de projet estimés dans l'étude hydrologique. Cette vérification n'est possible qu'à travers un dimensionnement hydraulique de ses ouvrages. Par ailleurs, il n'existe aucun ouvrage longitudinal sur notre tronçon, cependant, afin d'assurer l'évacuation des eaux de ruissellement provenant de la chaussée, il sera nécessaire de prévoir des caniveaux et des fossés respectivement en agglomération et en rase campagne.

II.2.4.2. Méthode de dimensionnement des sections hydrauliques

 Les ouvrages transversaux (les dalots)

Afin d'assurer la circulation des usagers sur les routes projetées en toutes saisons, il est nécessaire de mettre en place des dispositifs appropriés comme les dalots cadres fermés pour permettre l'écoulement des eaux lors des périodes de crue et facilitant ainsi leur passage sous la chaussée. Leur dimensionnement se fait en sortie libre afin de s'assurer que le niveau d'eau ne dépasse pas la partie supérieure du dalot. Le dimensionnement de ces ouvrages consiste d'une part à déterminer la section hydraulique de l'ouvrage (nombre de cellule, largeur et hauteur du dalot) permettant l'évacuation du débit prévu et d'autre part, à vérifier la vitesse d'écoulement qui doit rester inférieure à la vitesse admissible par l'ouvrage afin d'assurer sa pérennité.

La méthode de calcul utilisée est celle proposée par le manuel Hydraulique Routière du BCEOM [4]. Il s'agit d'une approche de dimensionnement à écoulement libre. Ainsi, à partir du débit de projet à évacuer, des dimensions de l'ouvrage proposées on procède comme suit :

On détermine la profondeur d'eau en amont H grâce au calcul des variables adimensionnels suivant :

$$Q^* = \frac{q}{BD \times \sqrt{2 \times g \times D}} \quad \text{Équation 6}$$

Avec $q = \frac{Q}{n}$; $n = \text{nombre de cellule}$

Pour la détermination de H^* , on procède par lecture sur abaque de la figure 77 page 248 du BCEOM.

Ainsi, H est déterminé grâce à la formule suivante : $H = H^* \times D$ et cette valeur doit vérifier la condition suivante : $\frac{H}{D} \leq 1,25$

Ensuite, on détermine la pente critique I_c correspondante grâce aux variables adimensionnelles débit réduit Q^* et pente critique réduite I_c^* :

$$Q^* = \frac{q}{BD \times \sqrt{g \times B^5}} \quad \text{Équation 7}$$

La valeur de I_c^* est déterminé par lecture sur abaque de la figure 82 page 258 du BCEOM

Ainsi, I_c est déterminé à travers la formule suivante :

$$I_c = \frac{I_c^*}{K_S^2 \times D^{1/3}} \quad \text{Équation 8}$$

Enfin, on calcul la vitesse réelle l'écoulement V correspondante. Pour cela on procède au calcul des variables adimensionnelles débit réduit Q^* et vitesse réduite V^* :

$$Q^* = \frac{q}{K_S \times B^{8/3} \times I_c^{1/2}} \quad \text{Équation 9}$$

On procède à une autre lecture sur abaque de la figure 83 page 263 du BCEOM pour obtenir la valeur de la vitesse réduite V^* .

$$\text{On obtient ainsi, } V = V^* \times K_S \times I_c^{1/2} \times B^{2/3} \quad \text{Équation 10}$$

A la fin du dimensionnement, si la vitesse de l'écoulement est supérieure à la valeur admissible, on peut soit augmenter le nombre de cellule ou soit agrandir la section de l'ouvrage.

Les ouvrages longitudinaux

L'objectif de cette partie est de dimensionner des caniveaux et/ou des fossés revêtue en fonction de la zone traversée par le projet. Dans le cadre de ce projet, les ouvrages longitudinaux prévus sont des fossés trapézoïdaux en agglomération et des divergents de forme triangulaire en rase campagne. Ses fossés ont pour but de garantir une meilleure évacuation des eaux de ruissellement provenant directement de la chaussée ainsi que des parcelles riveraines.

➤ Fossés trapézoïdaux

Le dimensionnement hydraulique des fossés trapézoïdaux a été effectué à l'aide de la formule de Manning Strickler en régime d'écoulement permanent. Le but de ce calcul est de vérifier que les vitesses d'écoulement dans ses fossés restent dans les plages des valeurs admissibles. Ces valeurs admissibles sont comprises entre 0,5 et 3 m/s pour éviter le dépôt des sédiments et

prévenir toute érosion des talus en terre. Le calcul de débit de projet a été effectué à travers la formule de Manning ci-dessous :

$$Q = K_s \times S \times R_h^{2/3} \times I^{1/2} \quad \text{Équation 11}$$

Avec : Q(m³/s) : débit dans le fossé

K_s : coefficient de Manning Strickler

S(m²) : Section mouillée

P(m) : périmètre mouillé

R_h(m) : Rayon hydraulique

I : pente du fond du fossé

Géométrie des fossés : Ses formules ci-dessous vont permettre de déterminer les sections mouillées et le rayon hydraulique pour différentes hauteurs d'eau.

$$S = y \times (b + m \times y)$$

$$P = b + 2y \times \sqrt{1 + m^2}$$

$$R_h = \frac{S}{P}$$

Vérification hydraulique : Le calcul a été fait à partir d'un tableur Excel programmé. Pour ce faire, le débit projet obtenu à partir de l'étude hydrologique est introduite dans la formule de Manning et la profondeur d'eau est ajustée jusqu'à l'obtention d'une vitesse d'écoulement.

➤ Fossés triangulaires

Pour les divergents c'est-à-dire les fossés de forme triangulaire, nous avons également utilisé la formule de Manning Strickler. Selon le manuel Hydraulique routière, la vitesse limite dans ces fossés est de 1,10 m/s. Pour ce faire, nous avons fixé une hauteur d'eau de telle sorte que la vitesse d'écoulement soit inférieure à la vitesse admissible. Les caractéristiques de ses fossés sont définies à travers les formules suivantes :

$$\text{Le rayon hydraulique : } R_h = \frac{h \times \sqrt{13}}{10} [4]$$

$$\text{La surface : } S = \frac{13 \times h^2}{12} [4]$$

La vitesse est calculée comme suit :

$$V = K_s \times R h^{2/3} \times i^{1/2} \quad [4]$$

Avec K_s : coefficient de rugosité

i : pente

Le débit est calculé à travers la formule suivante : $Q = S \times V$

II.2.5. Méthodologie du dimensionnement structural des ouvrages

Le dimensionnement structural de l'ouvrage vise à définir et organiser les éléments porteurs de cet ouvrage dans le but d'assurer sa stabilité, sa durabilité et sa capacité à résister aux sollicitations auxquelles il sera exposé. Dans le cadre de ce projet, il s'agit du dimensionnement du dalot 4X3,5X2 en béton armé qui s'appuie sur le principe du cadre fermé permettant une répartition harmonieuse des efforts horizontaux et verticaux entre ses différentes composantes.

II.2.5.1. Références et Règles de calcul

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

- ✓ Le BAEL 91 modifié en 99 pour les règles de calcul en béton armé
- ✓ Le Guide de Conception des ponts-cadres et portiques (SETRA)
- ✓ Le Fascicule 61 Titre II pour la prise en compte des différentes charges

Les caractéristiques des matériaux à prendre en compte dans le dimensionnement

❖ Le béton

Afin de garantir la pérennité des ouvrages hydrauliques, il sera judicieux de prendre en compte les aspects de la durabilité.

➤ Choix de la classe d'exposition de l'ouvrage

D'après le BEAL 91 révisé 99, les ouvrages concernés par l'étude sont installés dans un environnement faiblement agressif sans présence de chlorures ni agents chimiques particuliers.

Selon la norme NF EN 206-1 [6], il existe dix-huit (18) classes d'exposition regroupées par risque de corrosion ou d'attaques qui sont fonction de l'environnement immédiat dans lequel l'ouvrage est soumis mais aussi de son utilisation au cours du temps. Chaque classe

d'exposition est associé des exigences minimales que le béton doit absolument respecter. Aussi, selon cette norme un même béton peut être appartenir à plusieurs classes d'exposition différentes.

L'ouvrage à dimensionner se trouve dans un environnement alternativement humide ou sec qui appartient à la classe d'exposition XC4. Ainsi, nous avons un béton de classe C25/30 avec les différentes caractéristiques mécaniques suivantes.

➤ Calcul de l'enrobage selon le logiciel LEO

L'enrobage est assimilable à la profondeur de carbonatation et est indispensable dans la durabilité des ouvrages. Il est prédit selon le logiciel LEO à travers la relation suivante :

$$X(t) = \gamma \times f(HR) \times k \times \sqrt{t} \quad \text{Équation 12}$$

Avec :

$X(t)$: l'enrobage minimale ;

t : la durée de vie (15 ans pour ce projet) ;

γ : le coefficient d'exposition à la carbonatation ($\gamma = 0,9$ dans le cadre de ce projet).

$k = \sqrt{365} \times \left(\frac{1}{2,1 \times \sqrt{Rc28}} - 0,06 \right)$ est le coefficient du transport du béton et la formule est applicable si $Rc28 < 63 \text{ MPa}$.

$f(HR)$: facteur de l'humidité relative et est déterminé par la relation suivante :

$$f(HR) = -3,5833 HR^2 + 3,4833 HR + 0,2$$

Dans le cadre de ce projet, HR est estimé à 40%. La valeur de l'enrobage est donnée comme suit :

t (an)	15
HR	0,4
f(HR)	1,019992
Rc28	25
γ	0,9
k	0,6732229
e	2,3935569

Selon le BAEL 91 modifié 99 [7], l'enrobage minimum est de 3 cm par conséquent nous allons prendre $e=3$ cm pour ce projet.

Ainsi, le béton utilisé pour les ouvrages est du B25 avec les caractéristiques mécaniques suivantes :

- La fissuration est jugée préjudiciable
- Résistance caractéristique à la compression F_{c28} : 25MPa
- Résistance caractéristique à la traction F_{t28} : 2,1 MPa
- Module d'élasticité E_i : $51000 \times f_{cj}^{1/3}$
- Poids volumique du béton γ_b : 25 kN/m³

❖ L'acier

Type : HA (Haute Adhérence)

- Nuance : Fe E 400
- Enrobage e : 3 cm
- Coefficient de sécurité γ_s : 1,15
- Coefficient d'adhérence η : 1,6
- Contrainte de calcul : $\sigma_{st} = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{400}{1,15} = 348 \text{ MPa}$

$$\text{- Contrainte limite de l'acier : } \sigma_{st} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{2}{3} f_e \\ \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{2} f_e \\ 110 \sqrt{\eta \times f_{t28}} \end{array} \right. \end{array} \right. \Rightarrow \sigma_{st} = 201,63 \text{ MPa}$$

❖ Autres caractéristiques :

- Poids volumique du remblai : 20 kN/m³
- Contrainte admissible du sol : 0,15 Mpa
- Coefficient de poussée de terre k_a : 0,33

II.2.5.2. Prédimensionnement du dalot 4 X 3,5 X 2

Selon le guide de conception SETRA traitant les ponts cadres et portiques, l'épaisseur est déterminée à partir de l'expression suivante :

$$e = \sup \left[0,30 ; \frac{L}{32} + 0,125 \right]$$

Avec L : la largeur d'une cellule

e : épaisseur du tablier = épaisseur de piédroit = épaisseur du radier

$$e = \sup \left[0,30 ; \frac{3,5}{32} + 0,125 \right] \Rightarrow e = \sup [0,30 ; 0,23]$$

$$e = 0,30 \text{ m soit } 30 \text{ cm}$$

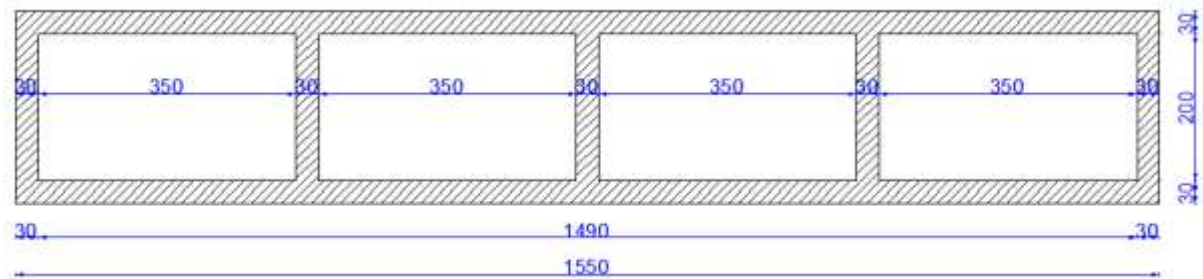


Figure 5: Vue en plan du dalot

Classe de l'ouvrage

Largeur roulable $L_r = 12\text{m}$

Largeur chargeable $L_c = 12\text{m}$ car il n'y a pas de dispositif de retenue

$$n = \text{Ent} \left(\frac{L_c}{3} \right) \text{ avec } n = \text{nombre de voie}$$

$$n = \text{Ent} \left(\frac{12}{3} \right) \Rightarrow n = 4 \text{ voies}$$

$$lv = \frac{L_c}{n} = \frac{12}{4} = 3 \text{ m}$$

Les classes des ouvrages sont fonction des largeurs roulables, On distingue trois classes de ponts selon le fascicule 61 Titre II [8] présentés dans le Tableau 6.

Tableau 6: Classe de l'ouvrage

Classe de pont	Largeur roulable
I	$L_r \geq 7\text{m}$
II	$5,5 \text{ m} < L_r < 7\text{m}$
III	$L_r \leq 5,5\text{m}$

Pour notre projet, $L_r \geq 7\text{m}$ ce qui implique que notre ouvrage est de classe I.

II.2.5.3. Détermination des charges

❖ Charges permanentes

Ses charges sont dues au poids propre de l'ouvrage ainsi que l'ensemble des équipements qui se trouve sur l'ouvrage. Pour cet ouvrage, les charges permanentes à prendre en compte sont le poids propre du tablier et la hauteur du remblai au-dessus du tablier. Les charges permanentes estimées sont présentées dans Annexe 4 en page 102.

❖ Surcharges routières

Le fascicule 61 Titre II [8] définit les différentes surcharges à prendre en compte dans le dimensionnement ainsi que leurs caractéristiques. Il s'agit des surcharges de système A, du sous-système B et système Mc120. Les différents systèmes ainsi que leurs caractéristiques sont présentés en Annexe 4 en page 102.

II.2.5.4. Dimensionnement avec le logiciel CYPEcad

Le dimensionnement du dalot a été réalisé à l'aide du logiciel CYPEcad, un outil spécialisé dans l'analyse et le calcul des structures en béton armé. Il a permis de modéliser l'ouvrage avec précision, d'appliquer les charges réelles notamment le poids propre, le remblai et les surcharges routières et de vérifier automatiquement la conformité aux normes de calcul. Pour ce projet, la modélisation a pris en compte la géométrie du dalot, les caractéristiques des matériaux ainsi que les combinaisons de charges aux états limites. L'analyse par éléments finis fournie par CYPEcad a permis d'avoir une distribution détaillée des efforts internes et d'ajuster par conséquent le ferraillage. Le logiciel s'est révélé particulièrement adapté au dimensionnement des dalots grâce à sa capacité à représenter fidèlement les interactions entre les dalles et les voiles, à optimiser le ferraillage et à garantir la sécurité et la stabilité structurelle de l'ouvrage.

Conclusion partielle

A l'issu de ce chapitre, nous retenons que les matériels utilisés ainsi que la méthodologie adoptée ont permis de disposer des données techniques nécessaires à la réalisation de cette étude. Cette approche constitue donc une étape importante pour garantir la fiabilité des résultats qui seront présentés et analysés dans le chapitre suivant.

Chapitre III. Résultats et discussions

Ce chapitre traite des principaux résultats issus des études techniques du projet d'aménagement du tronçon Tienzan-Lanfièra. Il présente les différentes analyses effectuées pour la conception géométrique, le dimensionnement de la route et l'assainissement routier tout en se basant sur les données recueillies sur le terrain. Les résultats obtenus permettent de discuter de la pertinence des choix opérés en adéquation avec les objectifs du projet.

III.1 Conception géométrique de la route

III.1.1. Choix du type et de la catégorie de route

Selon les termes de référence du projet, la route du tronçon s'inscrit dans la catégorie des routes de type R60 en agglomération et T100 en rase campagne avec des vitesses de référence respectivement de 60 km/h et 100 km/h.

III.1.2. Tracé en plan

Après la conception plane sur le logiciel piste 05, il a été recensé quarante un (41) alignements droits et quarante (40) courbes sur le tronçon. Le Tableau 7 présente les résultats synthétisés du tracé en plan.

Tableau 7: Résultats du tracé en plan

Désignation	Longueur (m)	Pourcentage (%)
Courbes+ clothoïdes	3408,275	29,25
Alignement droit	8242,141	70,75
Longueur totale de la route	11650,416	100

Commentaire : la forte proportion d'alignements droits indique un itinéraire relativement direct et économique en terrassements, tandis que la présence contrôlée de courbes garantit la sécurité, le confort et la continuité dynamique du tracé.

Les résultats obtenus sont présentés en Annexe 1 en page 64.

III.1.3. Profil en long

Ce profil vise à apporter des informations sur les altitudes et les pentes de la route. Ce calage permet d'optimiser les volumes de terrassement dans le but d'équilibrer les volumes de déblais et remblais. La ligne rouge a été calé en suivant le terrain naturel et en tenant compte de la

position des ouvrages sur la route mais aussi de la déclivité maximale de la route qui est de 7% en agglomération et 5% en rase campagne.

Par la suite, nous avons réalisé le tracé combiné en vue d'obtenir une représentation cohérente et harmonieuse de la route projetée. Cette étape permet d'assurer la cohérence entre le profil en long et le tracé en plan dans le but de garantir la sécurité et le confort des usagers. Ce tracé aide à mieux épouser la topographie du terrain naturel en ajustant les pentes et courbures pour faciliter le drainage.

Les résultats obtenus et les tracés du profil en long ainsi que celui du tracé combiné sont présentés en Annexe 1 en page 64. Le Tableau 8 présente le récapitulatif des résultats obtenus.

Tableau 8: Récapitulatif des résultats du profil en long

Profil en long					Cubatures		
Paramètres géométriques	Axe 1		Axe 2		Désignation	Axe1	Axe2
	Nombre	Longueur	Nombre	Longueur		Quantités	Quantités
Pente	10	6459,288	6	4412,496	Déblais	3204	16311
Paraboles	9	287,011	5	491,622	Remblai	51199	36365

Commentaire : A l'issue de la conception, on observe que l'axe 1 comporte un plus grand nombre de pentes et une longueur cumulée plus importante, tandis que les volumes de remblais dominant largement les déblais pour les deux axes, traduisant un besoin significatif d'apport de matériaux pour l'aménagement du tracé.

III.1.4. Profil en travers

Selon les recommandations des termes de référence, nous avons élaborer les profils en travers types de la structure de chaussée qui nous ont permis d'élaborer les profils en travers courants. Pour ce faire nous avons proposé un profil type en agglomération et un autre en rase campagne qui sont présenté dans les figures 6 et 7. Les caractéristiques de ces profils types sont présentés dans le Tableau 9.

Tableau 9: Caractéristiques des profils en travers type du projet

En agglomération	En rase campagne
-Chaussée : 8 m dont 4m de largeur de part et d'autre	-Chaussée : 7m dont 3,5m de largeur de part et d'autre
-Accotement : de 2 m de part et d'autre de la chaussée	-Accotement : 1,5 m de part et d'autre de la chaussée
-Pente transversale de la chaussée : 2,5%	-Un fossé latéral triangulaire de part et d'autre de la chaussée
-Pente de fond de forme : 2,5 %	-Pente transversale de la chaussée : 2,5%
-Pente des accotements : 2,5%	-Pente de fond de forme : 2,5 %
-Trottoirs : de 2m de part et d'autre de la chaussée	-Pente des accotements : 2,5%
-Pente de talus de déblais et remblai : 2/3	-Pente de talus de déblais : 2/3
-Une emprise variable de 21 à 30 m	-Pente de talus de Remblai : 2/3
	-Une emprise variable de 21 à 30 m

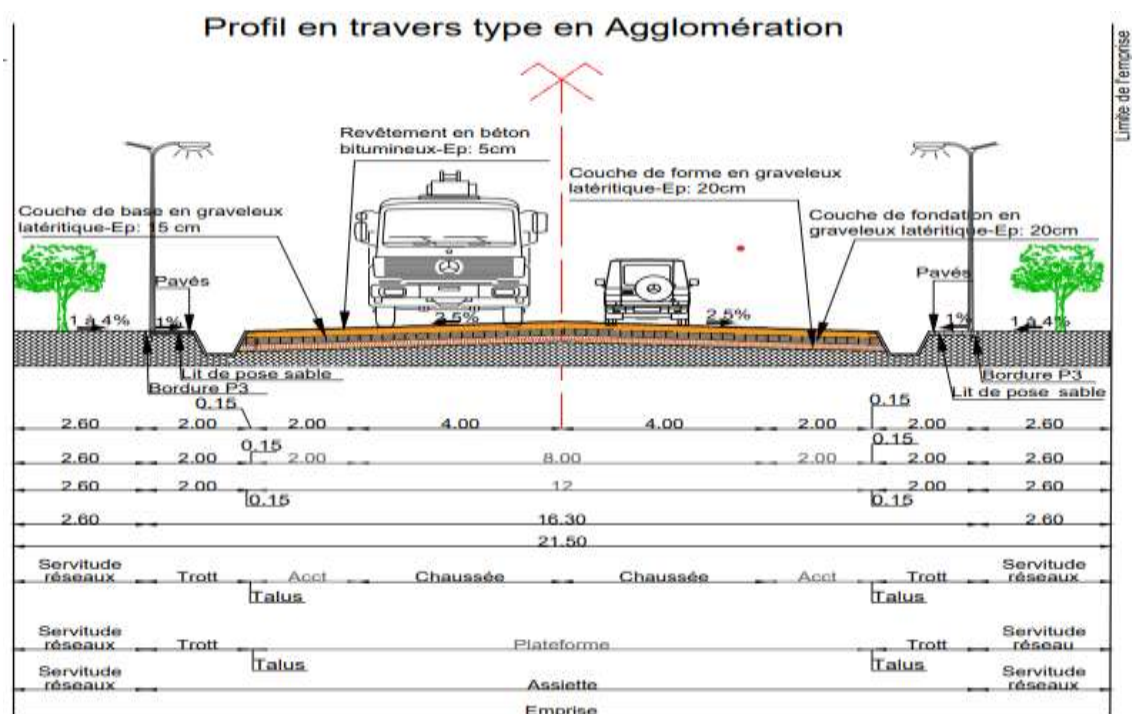


Figure 6: Profil en travers type en agglomération

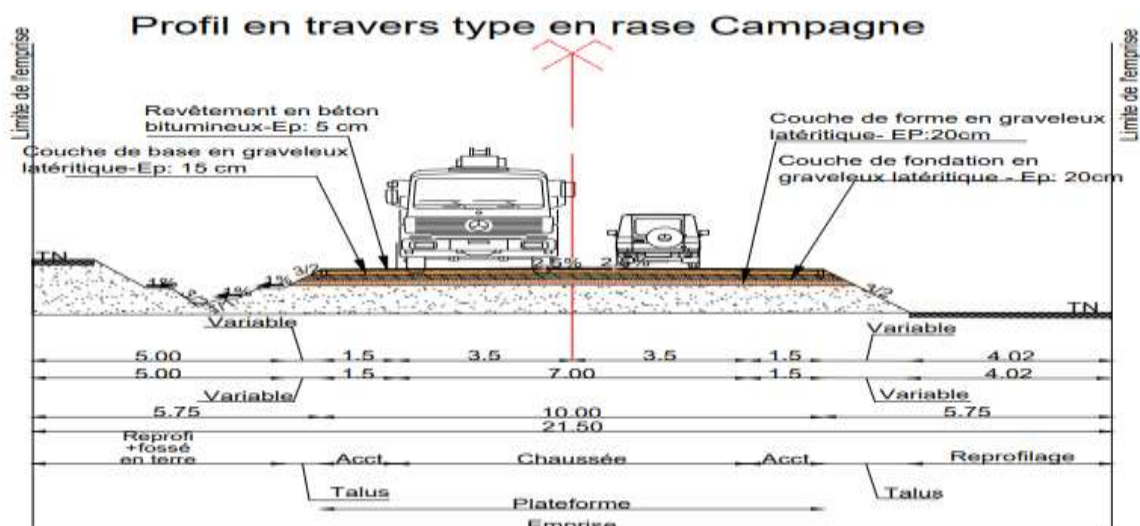


Figure 7: Profil en travers type en rase campagne

Les profils en travers courant sont présentés en Annexe 1 en page 64.

III.1.5. Aménagement de la route

Cet aménagement a été réalisé sur le logiciel Autocad en prenant en compte les caractéristiques des profils en travers types définis plus haut. Nous avons défini également les caractéristiques géométriques des amorces notamment le rayon, la longueur et la largeur qui représente les différentes pistes sur le tronçon et proposer une implantation complète de la signalisation afin d'assurer la sécurité des passagers. Cet aménagement a été superposé avec le tracé combiné en vue d'obtenir une représentation précise et détaillée de l'axe longitudinal avec le tracé en plan. Les plans sont présentés en Annexe 1 en page 64.

III.2 Dimensionnement structurel de la chaussée

III.2.1. Plate-forme support

L'analyse des résultats géotechniques révèlent que les sols rencontrés sur le tronçon étudié sont des graves argiles latéritiques et des argiles très compactes.

Selon la classification AASHTO/GTR, les graves argiles latéritiques sont classées dans la catégorie A2-6 et les argiles très compactes dans la catégorie A7-6 qui permettent d'apprécier la qualité des matériaux en place et leur aptitude à servir de sol de plate-forme dans le cadre des travaux routiers.

Les sols classés A7-6 sont des sols très argileux caractérisés par une plasticité élevée et une forte sensibilité à l'humidité. Ce type de sol présente un comportement mécaniquement défavorable sous charge et peu compatible avec les exigences d'un sol de plateforme. Toutefois, on peut faire une substitution de matériau dans le but d'avoir une plate-forme requise.

Les sols classés A2-6 sont des matériaux granulaires contenant peu de fines argileuses avec une plasticité moyenne ainsi qu'un comportement mécaniquement satisfaisant sous charge. Ce type de sol est généralement favorable pour la réalisation d'un sol de plate-forme sous réserve d'un compactage approprié et d'un bon contrôle de l'humidité.

Les résultats des essais Proctor et CBR indispensables pour déterminer la portance réelle du sol de la plateforme et la densité sèche maximale ainsi que la teneur en eau optimale, ne sont pas encore disponibles au moment de la rédaction du présent document. Cependant, à l'absence de ses résultats, une hypothèse a été émise sur la classe de portance en prenant une portance S4 selon les termes de référence du projet. Le Tableau 10 présente les résultats géotechniques.

La classe de portance S4 correspond à un indice CBR compris entre 15 et 30 comme le présente le Tableau 11 [2] de classe de portance.

Tableau 10: Résultats géotechniques

Echantillon		Analyse granulométrique							Limites d'Atterberg		Proctor Modifié		Portance CBR (%OPM)		HRB	Nature
Sondages	Coordonnées GPS	< 0,063 mm	< 0,40 mm	< 2 mm	< 5 mm	< 10 mm	< 20 mm	D mm	W _L	I _p	W _{0PM} (%)	γ _{d0PM}	95	98		
S163-Droite	30P0477318 UTM11354 546	46,5	65,0	85,0	92,0	98,0	100,0	12,5	58	30					A7-6	Argile très compacte
S185-Axe	30P0473789 UTM13641 80	29,5	38,5	43,5	68,5	92,0	98,0	31,5	35	19					A2-6	Grave argile latéritique

Tableau 11: Classe de portance de sol

Classe	Indice CBR	Portance
S1	$CBR < 5$	Portance très faible
S2	$5 < CBR < 10$	Portance faible
S3	$10 < CBR < 15$	Portance moyenne

S4	$15 < CBR < 30$	Portance bonne
S5	$CBR > 30$	Portance très bonne

Pour ce projet nous avons une classe de portance S4 dont le CBR est compris entre 15 et 30 par conséquent, nous aurons un CBR de 16 pour le dimensionnement de la structure de chaussée. Cette valeur minimale a été retenue afin de garantir la sécurité compte tenu de l'absence de la valeur réelle du CBR. Ainsi,

$$E = 5 \times CBR = 5 \times 16 = 80 \text{ MPa}$$

Dans la suite du travail, cette valeur du module sera utilisée pour la détermination de la classe de portance de la plate-forme.

Pour la détermination de la classe de plate-forme, nous avons utilisé le catalogue de structures de chaussées neuves et de dimensionnement des chaussées au Sénégal [3]. Ce choix s'explique par le fait que le Burkina ne dispose pas de catalogue propre à lui et c'est celui qui est couramment utilisé dans notre zone. Ce catalogue définit quatre (04) classes de plate-forme en fonction du module. Le Tableau 12 présente les classes de plate-forme selon le catalogue du Sénégal. Ainsi, le sol support de la structure de chaussée est de classe PF2. Cette classe de plate-forme va être utilisée dans la vérification de la structure par la méthode rationnelle.

Tableau 12: Classe de plate-forme

Classe	PF1	PF2	PF2qs	PF3	PF4
Module E min (MPa)	20	50	80	120	200

III.2.2. Etude du trafic

Les données utilisées pour l'estimation du trafic sont présentées dans le Tableau 5 en page 16 du chapitre 2. Les résultats de calcul du trafic sont présentés dans le Tableau 13.

Tableau 13: Estimation du trafic

Détermination du trafic cumulé (formule exponentielle)		
Désignation	Formules	Résultat de calcul
Trafic moyen journalier de l'année n	$TMJA = CRT \times npl$	84,75
Facteur de cumul	$C = [(1 + t)^n - 1]/t$	21,58
Trafic cumulé en poids lourds pendant la durée de vie	$NPL = 365 \times C \times TMJA$	667505,891

Trafic en nombre d'essieux standards équivalents	$NE = NPL \times CAM$	667505,891
--	-----------------------	------------

Le Tableau 13 nous donne un trafic en nombre d'essieux équivalents de 667505,891 PL soit $6,67 \times 10^5$ PL. D'après la classification du CEBTP donné par le Tableau 14, nous avons un trafic T2. Cette classe du trafic constitue un élément clé du dimensionnement car elle conditionne le choix de l'épaisseur et la nature des différentes couches de chaussée.

Tableau 14: Classe du trafic

Classe du trafic	Trafic cumulé en nombre de poids lourds
T1	$NPL < 5 \times 10^5$
T2	$5 \times 10^5 < NPL < 1,5 \times 10^6$
T3	$1,5 \times 10^6 < NPL < 4 \times 10^6$
T4	$4 \times 10^6 < NPL < 10^7$
T5	$10^7 < NPL < 2 \times 10^7$

III.2.3. Structure de la chaussée

La détermination des épaisseurs de notre structure de chaussée tient compte à la fois de la classe de portance du sol de notre plateforme et de la classe du trafic.

III.2.3.1. Méthode empirique ou CEBTP

Constitution des structures de chaussée

Il existe trois grandes familles de structures de chaussées notamment les chaussées souples, les chaussées semi-rigides et les chaussées rigides.

Les chaussées souples : constituées de matériaux granulaires recouvert de bitume assurant une répartition progressive des charges vers le sol support par déformation. Cette structure est facile à mettre en œuvre mais nécessite un entretien régulier.

Les chaussées semi-rigides : comportent des couches traitées aux liants hydrauliques, offrant une portance et une rigidité accrues. Cette structure permet d'avoir un bon compromis entre performance et coût.

Les chaussées rigides : constituées essentiellement de dalles en béton de ciment, supportant des charges lourdes ce qui lui confère une grande durabilité et résistante aux fortes sollicitations nécessitant peu d'entretien au fil des années.

Proposition des variantes

Partant de la classe de portance S4 et de la classe du trafic déterminés plus haut, nous allons déterminer les épaisseurs ainsi que la nature des différentes couches de la chaussée. Selon le guide de dimensionnement des chaussées des pays tropicaux (CEBTP) [2], nous avons proposés trois variantes présentées dans le Tableau 15.

Tableau 15: Proposition de Variantes

Sol/Trafic	Variantes	Type de matériaux	Epaisseurs (cm)
S4/T2	Variante 1	Béton bitumineux	4
		Graveleux Latéritique naturel	15
		Graveleux latéritique naturel	20
	Variante 2	Béton bitumineux	4
		Grave naturelle améliorée au ciment	15
		Graveleux latéritique naturel	20
	Variante 3	Béton bitumineux	4
		Concassé 0/d	15
		Graveleux latéritique naturel	20

Choix de la variante retenue et justification

Parmi les variantes proposées par le guide de dimensionnement CEBTP, notre choix s'est porté sur la première variante qui résulte d'un compromis technique, économique et opérationnel adapté aux contraintes locales à savoir le trafic, les matériaux disponibles et le coût. En effet, sur l'ensemble du territoire Burkinabé, les graveleux latéritiques constituent un matériau local largement disponible. Leur utilisation permet d'optimiser les coûts de transport et d'approvisionnement liés à l'exploitation ou à l'importation de granulat plus coûteux. Aussi, selon les termes de références, il a été prévu un enduit superficiel en couche de roulement mais nous avons adopté pour une structure de chaussée souple comportant une couche en béton bitumineux à cause de sa bonne étanchéité et sa résistance élevée aux déformations et à la

fatigue dues au trafic qui est celui des poids lourds. En effet, notre projet est situé dans une zone à forte production agricole ce qui peut engendrer des sollicitations intenses dues au passage fréquent des poids lourds. Le Tableau 16 présente la variante retenue.

Tableau 16: Variante retenue [2]

Variante 1	Sol/trafic	Type de matériaux	Epaisseur (cm)
	T2/S4	Béton bitumineux	4
		Graveleux latéritique	15
		Graveleux latéritique	20

III.2.3.2. Dimensionnement selon la méthode rationnelle (vérification sur Alizé)

Cette méthode consiste à vérifier la déformation verticale en compression au niveau du sol support et la déformation horizontale en traction à la base de la couche de roulement pour s'assurer qu'il n'y a pas de risque de fatigue et de déformation sur la durée de vie projetée. Pour ce faire nous allons partir des épaisseurs trouvées à travers la méthode CEBTP pour déterminer les épaisseurs optimales afin d'assurer la durabilité de la chaussée.

Charge agissante

Le calcul des sollicitations est mené pour une charge de référence correspondant au demi-essieu à roues jumelées de 65 kN défini par Alizé LCPC. Cette charge est représentée par deux disques de rayon 0,125 m avec une entraxe jumelage de 0,375 m et une pression verticale uniforme et statique de 0,662 MPa.

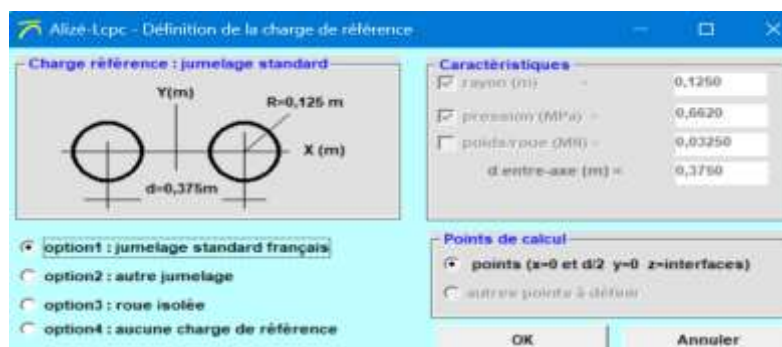


Figure 8: Charge de référence

Caractéristiques de dimensionnement des matériaux de la variante retenue

Le module obtenu à partir de CBR constitue le module du sol support. En ce qui concerne les modules de la couche de fondation et de base, nous avons utilisés la fiche méthode du guide Sénégal 2015 [3]. Selon cette fiche la couche au-dessus du sol support est déterminé par la relation suivante : $E = \min[2 E_0; E_{GL}]$

Avec E_0 : Module du sol support

$E_{GL} = E_{GL1}$: Module de la couche de fondation ($E_{GL1} = 200 \text{ Mpa}$)

Pour la couche de base, le module est $E_{GL2} = 400 \text{ MPa}$

Le Tableau 17 présente les différentes caractéristiques des matériaux.

Tableau 17: Caractéristique des matériaux de la variante retenue

Type de matériaux	Epaisseurs (m)	Coefficient de poisson	Module de Young (MPa)
Béton bitumineux	0,05	0,35	1300
Graveleux latéritique Naturel (GL2)	0,15	0,35	400
Graveleux latéritique naturel (GL1)	0,20	0,35	160

Calcul des contraintes admissibles et vérification de la structure de chaussée

Pour ce projet, nous avons utilisé la fiche méthode de dimensionnement du guide du Sénégal 2015 [3]. Cette fiche stipule que le seul critère à vérifier pour les chaussées souples en graveleux latéritique est celui de la plate-forme comme le montre l'équation ci-dessous :

$$\varepsilon_{zadm} > \varepsilon_{zcalculé}$$

Cette déformation est donnée à travers l'expression suivante :

$$\varepsilon_{zadm} = A \times NE^{-0,222}$$

Avec $A = 16000$ pour un trafic faible et 12000 pour un trafic fort. Selon la fiche, le trafic est considéré comme faible si $NE < 250\,000$ et fort dans le cas contraire. Pour ce présent projet nous retenons un trafic fort car $NE > 250\,000$.

Nous avons vérifié la déformation horizontale admissible en traction à la base des matériaux traités au bitume. Elle est donnée par l'expression suivante :

$$\varepsilon_{t,adm} = \varepsilon_6(10^\circ\text{C}, 25\text{Hz}) \times K\theta \times \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b \times k_c \times k_r \times k_s \times k_\theta$$

Tableau 18: Contraintes Admissibles

Détermination des contraintes admissibles	
Déformation horizontale admissible	$\varepsilon_{t,adm} = 227,70$
Déformation verticale admissible	$\varepsilon_{zadm} = 610,8$

Résultats du dimensionnement de la méthode rationnelle

Pour les matériaux bitumineux, le module varie en fonction de la température de la zone du projet, Pour notre étude, nous avons pris une température moyenne de 30°C.

Après une première vérification avec les épaisseurs de la variante retenue, il a été constaté que les épaisseurs retenues ne répondent pas aux critères de dimensionnement. Afin de remédier à cette insuffisance, les épaisseurs de la couche de fondation et celle de la base ont été augmentées passant de 20 cm à 25cm pour la fondation et de 15 cm à 25 cm pour la base ce qui a permis d'avoir une structure vérifiante. Cependant, dans l'optique d'optimiser le coût global du projet, une couche de forme a été introduite. Cette couche a permis de réduire les épaisseurs de la couche de fondation et de base jusqu'à l'obtention des épaisseurs initialement retenues. La Figure 9 présente la structure vérifiée.

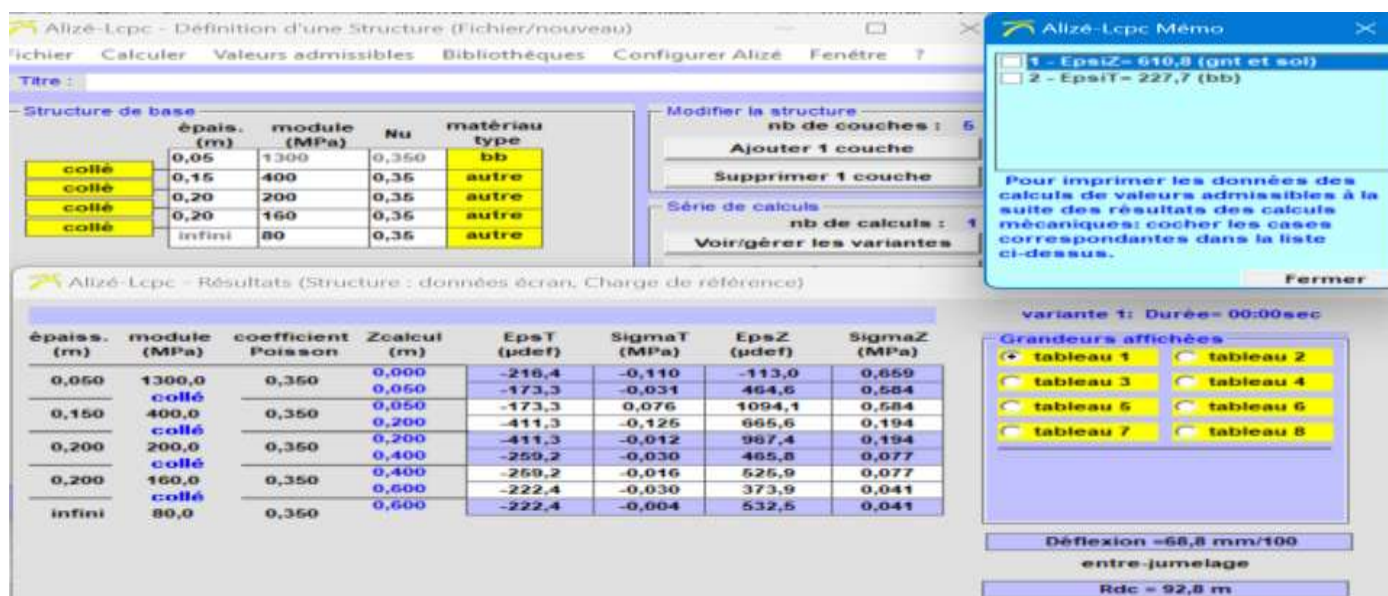


Figure 9: Vérification avec Alizé

Les autres vérifications sont présentées en Annexe 2 en page 82.

La déformation verticale à la surface du sol support ($\varepsilon_z = 532,5 \mu def$) est inférieur à la valeur admissible qui est : $\varepsilon_{z,adm} = 610,8 \mu def$. Aussi, la déformation à la base de la couche de roulement $\varepsilon_t = 173,3 \mu def$ est inférieur à la valeur admissible $\varepsilon_{t,adm} = 227,7 \mu def$ par conséquent, la structure est vérifiée, Ainsi, les épaisseurs des couches retenues sont présentées dans le Tableau 19.

Tableau 19: Tableau comparative des épaisseurs des couches des deux méthodes

Couches	Matériaux	CEBTP (cm)	Alizé LCPC (cm)
Revêtement	Béton bitumineux	5	5
Base	Graveleux latéritique naturel	15	15
Fondation	Graveleux latéritique naturel	20	20
Forme	Graveleux latéritique naturel	-	20
Epaisseur totale de la chaussée		40	60

Discussions et analyses des résultats obtenus des deux méthodes

A l'issu des résultats obtenus, on constate que les deux méthodes aboutissent à des structures similaires mais avec une légère variation au niveau de certaines couches.

La méthode CEBTP qui repose sur les expériences accumulées au fil des années propose des épaisseurs généralement suffisantes pour des conditions moyennes de trafic et de sol, sans toutefois tenir compte de manière détaillée des sollicitations mécaniques réelles. Malgré l'avantage de sa simplicité et de sa rapidité de mise en œuvre, elle reste moins précise en matière d'optimisation de structure selon les contraintes mécaniques locales.

En ce qui concerne la méthode rationnelle, elle est basée sur la modélisation mécanique du comportement des matériaux et la répartition des contraintes dans la chaussée. Les épaisseurs obtenues sont identiques à celles obtenue par la méthode CEBTP auxquelles s'ajoutent une couche de forme.

Il est bien que les deux méthodes aboutissent à des structures cohérentes et compatibles. Cependant, la méthode rationnelle offre une meilleure fiabilité dans l'évaluation des

déformations et de la durée de vie de la chaussée, alors que la méthode CEBTP reste la plus adaptée aux projets courants dans des contextes où les données mécaniques sont limitées.

III.2.3.3. Limites et critiques des deux méthodes

✚ Méthode empirique (CEBTP)

La méthode empirique repose essentiellement sur des catalogues de structure types basé sur des expériences et des observations de chantiers antérieurs. Il est bien que cette méthode malgré sa simplicité et sa rapidité présente plusieurs limites. Ainsi, cette approche ne prend pas en compte de manière explicite les contraintes mécaniques réelles subies par les chaussées. Elle ne considère pas aussi les propriétés spécifiques des matériaux locaux ce qui peut mener à des surdimensionnements ou sous-dimensionnements en fonction du contexte géotechnique. De plus cette méthode ne tient pas compte de l'évolution du trafic dans le temps et n'intègre pas la vérification des déformations telles que les tassements, la fissuration et la fatigue qui conditionnent la durabilité de la chaussée.

✚ Méthode rationnelle (Alizé LCPC)

L'approche mécanistique-empirique constitue le fondement de cette méthode et permet une analyse plus fine du comportement des structures de chaussées. Toutefois, comme la méthode CEBTP, elle comporte aussi des limites. En effet, elle nécessite la prise en compte d'un grand nombre de données d'entrées précises comme les caractéristiques des matériaux qui sont parfois difficiles à obtenir sur le terrain. Aussi, la qualité des hypothèses de calcul influence fortement sur les résultats et néglige même parfois les effets environnementaux réels à savoir la variation de l'humidité, la température ou les phénomènes de gonflement des sols.

III.3 Etude hydrologique

III.3.1. Délimitation et caractérisation des bassins versants

La délimitation nous a permis d'obtenir dix grands bassins versants et trois sous bassins versants dont les caractéristiques sont présentées dans le Tableau 20. La Figure 10 montre les bassins versants délimités.

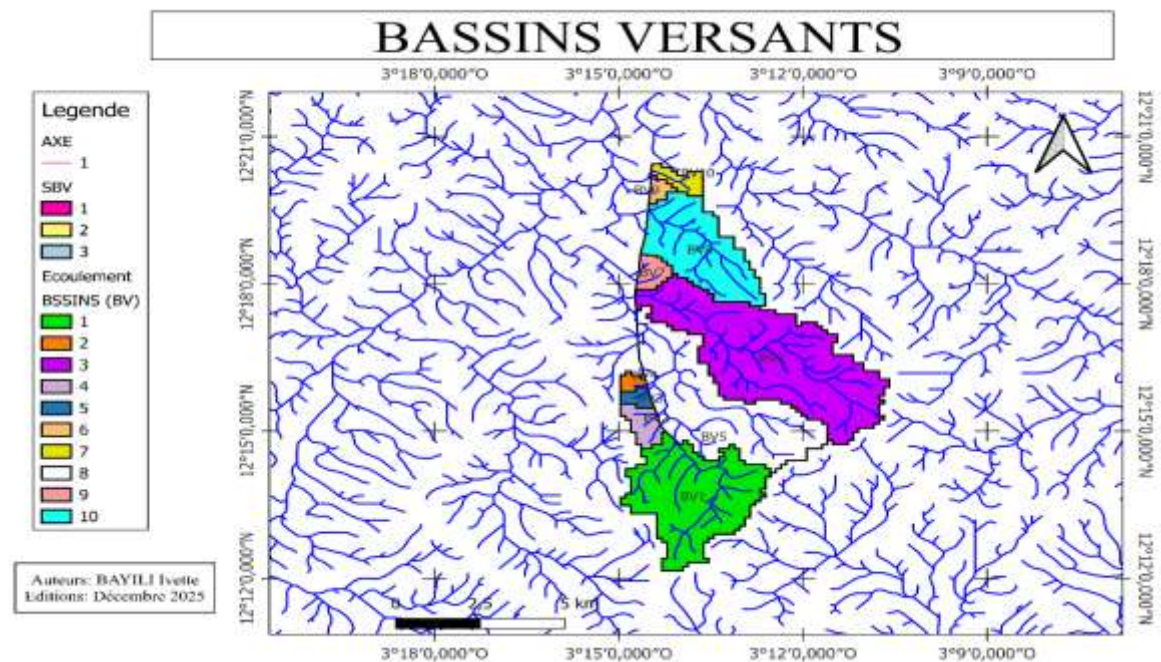


Figure 10: Délimitation des bassins et sous bassins versants dans la zone du projet

Tableau 20: Caractéristiques des bassins et sous-bassins versants

Bassins versants	Superficie (km ²)	Périmètre (km)	Pente (%)	Altitude max Z (m)	Altitude min Z (m)	Longueur hydraulique (m)
SBV2-1	0,03157	1,118	1,99	304	297	90,858
SBV1	0,02677	0,58807	0,58	272	269	67,915
SBV2	0,01236	1,197	0,68	270	269	71,159
BV1	12,565	22,382	2,77	383	298	7213
BV2	1,355	5,83	3,03	327	294	2590
BV3	0,548	3,367	1,91	309	292	1016
BV4	0,4235	3,085	1,61	307	292	996
BV5	29,821	36,692	2,48	399	282	12107
BV6	20,369	30,187	1,96	384	283	10588
BV7	1,055	4,945	1,98	308	282	2036
BV8	8,508	15,588	1,71	324	274	5349
BV9	0,502	3,749	1,63	284	268	1610
BV10	1,022	5,771	2,47	308	270	1927

III.3.2. Estimation des débits de crue

❖ Méthode rationnelle

Les résultats de débits estimés à partir de la méthode rationnelle sont présentés dans le Tableau 21.

Tableau 21: Estimation de débit par la méthode rationnelle

BV	Surface en km ²	Périmètre en km	Pente (m/m)	Longueur d'écoulement	Indice de compacité	Longueur du rectangle	Temps de concentration	Intensité (mm/h)	Débits (m ³ /s)
BV2	1,355	5,83	0,0303	2590	1,412	3083,914	30,852	152,207	7,454
BV3	0,548	3,367	0,0191	1016	1,283	2101,589	17,886	189,298	3,749
BV4	0,4235	3,085	0,0161	996	1,337	2106,840	18,796	185,578	2,840
BV7	1,055	4,945	0,0198	2036	1,358	2714,497	30,132	153,653	5,858
BV9	0,502	3,749	0,0163	1610	1,492	2636,475	27,078	160,362	2,909
BV10	1,022	5,771	0,0247	1927	1,610	3578,660	26,554	161,621	5,970

❖ Méthode ORSTOM

Les résultats de calcul sont présentés dans le Tableau 22.

Tableau 22: Estimation de débit par la méthode ORSTOM

Calcul de crue décennale Q10							
Bv	Superficie (m ²)	Coefficient d'abattement A	Kr10	P10 (m)	Coefficient de pointe (alpha10)	Tb10 (s)	Débit Q10 (m ³ /s)
BV1	12565000	0,863	0,293	0,101	2,6	23085,868	36,172
BV6	20369000	0,837	0,274	0,101	2,6	33643,764	36,439
BV5	29821000	0,816	0,261	0,101	2,6	41586,987	40,172
BV8	8508000	0,884	0,295	0,101	2,6	23502,875	24,767

❖ Méthode CIEH

Le Tableau 23 présente les débits estimés par la méthode CIEH.

Tableau 23: Estimation de débit par la méthode CIEH

BV	Superficie (km ²)	Indice de pente global	Kr10 (%)	Coefficient d'abattement A	P10 (mm)	Pm10	EQ39	EQ40	EQ41	EQ42	EQ43	EQ44	EQ45	Débit Q(m ³ /s)
BV1	12,565	9,11	29,33	0,86	101	87,15	27,18	27,65	37,59	35,06	26,27	30,25	25,96	29,99
BV6	20,369	7,73	27,39	0,84	101	84,50	31,34	31,80	45,58	41,78	32,76	37,18	32,33	36,11
BV5	29,821	7,02	26,14	0,82	101	82,41	35,29	35,89	53,43	49,00	39,05	44,05	38,57	42,18
BV8	8,508	8,47	29,47	0,88	101	89,28	23,13	23,03	30,69	26,64	22,00	24,60	21,51	24,52

❖ Méthode Caquot

Le Tableau 24 présente les résultats des débits obtenus par la méthode Caquot.

Tableau 24: Estimation des débits par la méthode Caquot

Sous bassin	Superficie (ha)	Pente (m/m)	Coefficient de ruissellement	Facteur de correcteur m	Coefficients de Caquot			Débits Q (m ³ /s)
					u	v	w	
SBVeq1 = SBV2-1	3,157	0,0199	0,13	1,678	0,885	0,164	0,747	0,468
SBVeq2 = SBV1	1,236	0,0068	0,13	1,569	0,885	0,164	0,747	0,162
SBVeq1 = SBV1+SBV2	2,677	0,0058	0,13	1,487	0,885	0,164	0,747	0,512

❖ Récapitulatif des débits par les différentes méthodes

Pour les bassins versants dont les méthodes ORSTOM et CIEH ont été appliquées, nous avons fait la moyenne des deux débits obtenus pour obtenir le débit du projet.

Tableau 25: Récapitulatif des devis du projet

BV	Surface (km ²)	Périmètre (km)	Pente (%)	Z MAX	Z MIN	Méthode de calcul				Débits retenus (m ³ /s)
						Rationnelle	ORSTOM	CIEH	Caquot	
SBV2-1	0,03157	1,118	1,99	304	297	-	-	-	0,47	0,47
SBV1	0,02677	1,197	0,58	272	269	-	-	-	0,16	0,16
SBV2-1	0,01236	0,58807	0,68	270	269	-	-	-	0,51	0,51

BV1	12,565	22,382	2,77	383	298	-	36,17	29,99	-	33,08
BV2	1,355	5,83	3,03	327	294	7,45	-	-	-	7,45
BV3	0,548	3,367	1,91	309	292	3,75	-	-	-	3,75
BV4	0,4235	3,085	1,61	307	292	2,84	-	-	-	2,84
BV6	20,369	30,187	1,96	384	283	-	36,44	36,11	-	36,27
BV5	29,821	36,692	2,48	399	282	-	40,17	42,18	-	41,18
BV7	1,055	4,945	1,98	308	282	5,86	-	-	-	5,86
BV8	8,508	15,588	1,71	324	274	-	24,77	24,52	-	24,64
BV9	0,502	3,749	1,63	284	268	2,91	-	-	-	2,91
BV10	1,022	5,771	2,47	308	270	5,97	-	-	-	5,97

Commentaire : on remarque que les méthodes ORSTOM et CIEH fournissent des débits légèrement différents mais de même ordre de grandeur. Ces résultats sont tout à fait acceptables et s'expliquent par les différences des facteurs intervenant dans chaque méthode. Ces méthodes sont bien adaptées aux contextes tropicaux et semi-arides et leurs résultats concordants renforcent la fiabilité des débits retenus pour le dimensionnement.

III.4 Etude hydraulique

Détermination des sections des ouvrages transversaux

Le Tableau 26 présente un résumé des différentes sections trouvées hydrauliques des vingt un (21) ouvrages sur notre tronçon. Les détails des calculs de dimensionnement des sections se trouve en **Annexe 3** en page 87.

Tableau 26: Récapitulatif des sections des ouvrages hydrauliques

BV	Ouvrages	Points kilométriques	Cellule	Largeur (m)	Hauteur (m)	Section (m)
BV1	OH1	PK69+262	4	3,5	2	4 x 3,5 x 2
BV2	OH2	PK70+390	1	2	1,2	1 x 2 x 1,2
	OH3	PK70+550	1	2	1,2	1 x 2 x 1,2
	OH4	PK70+710	1	2	1,2	1 x 2 x 1,2
	OH5	PK71+120	1	1	1	1 x 1 x 1
BV3	OH6 (existant)	PK71+446	1	2	1	1 x 2 x 1
	OH7 (existant)	PK71+674	1	2	1,2	1 x 2 x 1,2
BV4	OH8	PK71+738	1	1	1	1 x 1 x 1
	OH9	PK72+201	2	3	1,5	2 x 3 x 1,5
BV5	OH10	PK74+290	2	3	1,5	2 x 3 x 1,5

	OH11	PK74+514	2	3	1,5	2 x 3 x 1,5
BV6	OH12	PK74+562	2	3	1,5	2 x 3 x 1,5
	OH13	PK74+622	2	3	1,5	2 x 3 x 1,5
	OH14	PK74+659	2	3	1,5	2 x 3 x 1,5
BV7	OH15	PK75+368	1	1,5	1	1 x 1,5 x 1
	OH16	PK75+405	1	1,5	1	1 x 1,5 x 1
	OH17	PK75+607	1	1,5	1	1 x 1,5 x 1
BV8	OH18	PK78+272	3	3,5	1,5	3 x 3,5 x 1,5
BV9	OH19	PK79+571	1	2	1,2	1 x 2 x 1,2
BV10	OH20	PK79+779	1	2	1,2	1 x 2 x 1,2
	OH21	PK80+241	1	2	1,2	1 x 2 x 1,2

Détermination des sections des ouvrages longitudinaux

Le Tableau 27 présente les sections obtenues des fossés trapézoïdaux en perré maçonné. Les détails des calculs sont présentés en **Annexe 3** en page 87.

Tableau 27: Sections des fossés trapézoïdaux

Sous-bassin	b (m)	H (m)	B (m)
SBVeq1 = SBV2-1	0,60	0,70	1,10
SBVeq1 = SBV1	0,60	0,65	1,10
SBVeq2 = SBV1+SBV2	0,60	0,70	1,10

Les fossés triangulaires ont des sections de $0.60 \times 0.75 \text{ m}^2$ avec un talus de $3/2$; $2/3$. Les fossés ont une longueur de 10 ml.

III.5 Dimensionnement structurel des ouvrages hydrauliques

III.4.1. Section d'armatures

Le Tableau 28 présente le récapitulatif des sections d'aciers fournis par le logiciel CYPEcad du dalot. Les notes de calcul du dalot sont présentées en **Annexe 4** en page 102.

Tableau 28: Récapitulatif des sections d'aciers du dalot

Panneau	Position	Armatures de base	Renforts
Tablier	Supérieur	HA10 ; e=15 cm ; HA14 ; e=15cm	HA12
	Inférieur	HA10 ; e=15cm ; HA14 ; e=15cm	
Radier	Inférieur	HA12 ; e=15cm ; HA14 ; e=15cm	HA12
	Supérieur	HA112 ; e=15cm ; HA14 ; e=15cm	
Piédroit gauche	Arrière	HA14 ; e=15cm ; HA10 ; e=15cm	
	Avant	HA10 ; e=15cm ; HA10 ; e=15cm	
Piédroit droit	Arrière	HA14 ; e=15cm ; HA10 ; e=15cm	
	Avant	HA10 ; e=15cm ; HA10 ; e=10cm	
Murs intermédiaires	Gauche et droite	HA10 ; e=15cm ; HA10 ; e=10cm	
Murs en ailes	Verticale arrière	HA12 ; e=15cm	
	Verticale avant	HA10 ; e=15cm	
	Armature semelle	HA10 ; e=15cm	
		HA10 ; e=15cm	
	Armature horizontale	HA10 ; e=15cm	

III.4.2. Plan d'exécution du dalot

A partir des sections d'aciers obtenus après le dimensionnement du dalot sur CYPEcad, nous avons réalisé le plan de ferrailage qui est présenté dans l'Annexe 4 en page 102.

Conclusion partielle

L'analyse des résultats obtenus ont permis de valider les choix techniques retenues pour la conception géométrique, le dimensionnement structurel de la chaussée et l'assainissement routier. Pour la conception géométrique, les caractéristiques ont été réalisés en conformité avec la norme ARP. Pour le dimensionnement de la structure de chaussée, trois variantes ont été proposées dont une a été retenue pour la vérification à travers la méthode rationnelle. Les études hydrologiques et hydrauliques ont permis d'obtenir les débits de crue nécessaires à la détermination des sections des ouvrages. Au-delà de ces études, la route doit assurer aussi la protection des usagers afin de minimiser les risques d'accidents. C'est dans cette optique que s'inscrit le chapitre suivant dédié à la sécurité routière.

Chapitre IV. Sécurité routière

La sécurité routière regroupe l'ensemble des actions, dispositifs et aménagements destinés à réduire les accidents de la circulation et à protéger les usagers. Elle constitue un enjeu majeur pour les infrastructures routières.

IV.1. La signalisation routière

La signalisation routière constitue un élément essentiel pour assurer la sécurité et la fluidité de la circulation sur les infrastructures routières. Elle permet d'avertir, d'informer et de guider les usagers en leur fournissant des indications claires sur les conditions de circulation et les comportements à adopter. La mise en place d'une signalisation adoptée revêt d'une importance particulière compte tenu de la diversité des usagers et de la présence des traversées des villages. Son intégration dans ce projet constitue un levier essentiel pour améliorer la sécurité routière et assurer une exploitation optimale du tronçon aménagé.

IV.1.1. La signalisation temporaire

La signalisation temporaire englobe l'ensemble des dispositifs mis en place pendant la phase des travaux afin d'assurer la sécurité des usagers et du personnel de chantier. Elle est indispensable pour les projets de construction ou de réhabilitation, en particulier dans un contexte de circulation mixte où cohabitent engins lourds, piétons, véhicules légers et motocyclistes. Dans le cadre de ce projet une signalisation temporaire à fond jaune est mise en place pendant toute la durée des travaux. Elle comprend :

Les panneaux et dispositifs d'annonce : Ce sont des panneaux qui avertissent les usagers de la présence du chantier, de la présence d'engins, du rétrécissement de la chaussée ou de la mise en place d'une déviation et sont placés à des distances suffisantes pour permettre un ralentissement progressif.

Les dispositifs de guidage et de protection : Ces dispositifs regroupent l'ensemble des barrières, des rubans, des balises, et des ralentisseurs provisoires et délimitent les zones de travail, les zones interdites, les couloirs de circulation temporaire. Pour ce projet, ces dispositifs seront renforcés dans les zones à trafic dense et à proximité des traversées piétonnes afin de limiter les risques d'accidents.

IV.1.2. La signalisation permanente

Elle regroupe l'ensemble des dispositifs installés de manière durable le long et sur la chaussée afin de garantir une circulation fluide et conforme aux normes en vigueur. Elle constitue un élément essentiel de la sécurité routière car elle guide les usagers, informe des conditions particulières de circulation et prescrit les comportements à adopter. La signalisation comprend la signalisation verticale, la signalisation horizontale et la signalisation lumineuse.

IV.1.2.1. La signalisation verticale

La signalisation verticale regroupe l'ensemble des panneaux implantés au bord des routes et à des endroits stratégiques comme les intersections, les zones à vitesse limitée, les ouvrages d'assainissement, les successions de virage, dans le but d'assurer la sécurité des usagers. Elle comprend :

- Les panneaux de danger destinés à prévenir les usagers des zones potentiellement risquées ;
- Les panneaux d'interdiction utilisés pour signaler les comportements interdits comme le dépassement ou l'excès de vitesse ;
- Les panneaux d'obligation destinés à imposer certaines directions obligatoires ;
- Les panneaux d'indication qui fournissent des informations utiles à la conduite, à l'orientation ou à la localisation de services.

Dans le cadre de ce projet, les différents panneaux utilisés sont synthétisés dans un tableau en Annexe 5 en page 152.

IV.1.2.2. La signalisation horizontale

La signalisation horizontale regroupe l'ensemble des marquages au sol réalisés dans le but d'orienter et d'informer les usagers. Ces dispositifs fournissent des indications essentielles quant au comportement à adopter et joue un rôle déterminant dans la sécurité routière ainsi que dans la régulation du trafic. Elle constitue un élément fondamental d'orientation dans le sens où elle permet de limiter les zones de stationnement, d'indiquer les bandes d'arrêt ou d'organiser les flux de circulation. Ses dispositifs généralement exécutés en peinture blanche se compose de lignes longitudinales et transversales, continues ou discontinues, adaptées selon les besoins de régulation.

Dans le cadre de la présente étude, plusieurs catégories de marquages longitudinaux ont été retenues parmi lesquelles nous avons [9]:

- Les lignes continues infranchissables qui sont utilisées dans les zones à faible visibilité dans le but de renforcer la sécurité des usagers.
- Les lignes discontinues axiales ou de délimitation des voies utilisées pour séparer les différentes voies de circulation.
- Les lignes discontinues d'avertissement conçues pour signaler l'approche d'une ligne continue infranchissable et à inciter les usagers à la prudence.

Quant aux marquages transversaux, ils comprennent les lignes associés aux signaux stop, les bandes destinées au passage pour piétons. Voir Annexe 5 en page 152 pour les différents Marquages.

IV.1.2.3. La signalisation lumineuse

La signalisation lumineuse regroupe l'ensemble des équipements émettant un signal lumineux destiné à attirer l'attention des conducteurs et à renforcer la visibilité de l'information routière. Elle constitue un dispositif essentiel pour réguler la circulation des différents usagers de la route et à assurer leur sécurité. On distingue deux types de signalisation lumineuse dans les aménagements routiers notamment :

- Les feux tricolores de régulation : cette signalisation dédiée au trafic permet de gérer les priorités aux intersections et de fluidifier la circulation.
- La signalisation lumineuse d'alerte et de balisage : elle est utilisée dans les zones dangereuses notamment dans les virages dangereux et permet d'attirer l'attention des conducteurs réduisant les risques de collisions.

Dans le cadre de ce projet, seule la signalisation lumineuse dédiée au trafic est utilisée.

IV.2. Equipement de sécurité routière

Les équipements de sécurité regroupent l'ensemble des dispositifs installés le long de la chaussée dans le but d'améliorer la sécurité, de prévenir les accidents et de réduire la gravité des collisions. Dans le cadre de ce projet, l'éclairage public et les bordures sont les seuls dispositifs de sécurité implantés sur notre tronçon de route.

IV.2.1. Eclairage public

C'est un dispositif indispensable pour améliorer la sécurité nocturne. Ce dispositif permet de réduire les risques d'accidents impliquant les piétons et les deux-roues, de sécuriser les zones habitées et de faciliter la conduite. Son implantation est généralement recommandée dans les zones urbaines ou péri-urbaines. L'éclairage public prévu à cet effet sera des lampes ballon installées sur des candélabres en acier à cause de leur coût plus faible. Il existe plusieurs types d'implantation qui sont fonction du nombre de voie et de la largeur de la chaussée [10].

Pour ce projet, une implantation unilatérale a été retenue parce que ce type d'implantation est généralement utilisé sur une chaussée à double sens de circulation. Nous retenons une inter-distance de 45 cm entre les équipements d'éclairage par conséquent, avec une longueur de tronçon en péri-urbaine en axe 1 de 1394,1732 m on a 30 candélabres implantés et une longueur de 503,6486 m en axe 2, on a 11 candélabres implantés sur la route soient un total de 41 candélabres implantés sur la longueur totale du tronçon en péri-urbaine.

Les différents types d'implantation ainsi que le calcul de l'inter-distance sont présentés en Annexe 5 en page 152.

IV.2.2. Les bordures

Les bordures constituent également un élément essentiel dans la mesure où elles permettent de délimiter la chaussée, de protéger les accotements et de sécuriser les piétons en matérialisant l'espace de circulation. Elles jouent aussi un rôle dans la gestion des eaux pluviales lorsqu'elles sont associées à un caniveau. Dans le cadre de ce projet, les bordures utilisées sont de types T2 en béton.

Conclusion partielle

Ce chapitre nous a permis de présenter les différents panneaux nécessaires pour la réalisation de ce projet, les marquages au sol prévus à cet effet ainsi que les bordures et l'éclairage public retenus pour assurer la sécurité des usagers sur le tronçon de route.

Chapitre V. Principaux impacts potentiels environnementaux – Coût global du projet

V.1. Les principaux impacts potentiels environnementaux et sociaux du projet et propositions de mesures environnementales et sociales

La réalisation de tout projet d'aménagement routier entraîne inévitablement des répercussions sur l'environnement, qui peuvent être positives ou négatives. Les impacts négatifs proviennent souvent des perturbations induites par les travaux sur les écosystèmes, les ressources naturelles et les activités humaines, notamment au cours des phases de construction et d'exploitation. Toutefois, certains effets peuvent s'avérer bénéfiques à moyen et à long terme, à travers l'amélioration de l'accessibilité, le développement économique et le renforcement des conditions de vie des populations.

Conformément aux réglementations en vigueur en matière de préservation de l'environnement, tout projet susceptible de générer des impacts significatifs doit faire l'objet d'une évaluation environnementale appropriée qui permettra dès la phase de conception, de prendre en compte les effets potentiels sur le milieu physique, humain et biologique et de proposer des mesures de gestion adaptées.

V.1.1. Définitions de quelques mots clés

Environnement : il est défini à l'article 5 du code de l'environnement au Burkina Faso [11] comme « l'ensemble des éléments physiques, chimiques et biologiques naturels ou artificiels et des facteurs économiques, sociaux, politiques et culturels, qui ont un effet sur le processus de maintien de la vie, la transformation et le développement du milieu, les ressources naturelles ou non et les activités humaines. »

Impact : est un effet positif ou négatif, temporaire ou permanent, d'un projet ou d'une activité sur les composantes de l'environnement.

Impact positif : est un effet favorable ou bénéfique d'un projet sur les composantes de l'environnement.

Impact négatif : est un effet défavorable ou nuisible d'un projet pouvant affecter les composantes de l'environnement.

Risques : est un danger potentiel associé à une probabilité d'occurrence et susceptible de provoquer des dommages si aucune mesure de prévention n'est mise en place.

Composante environnementale : est un élément spécifique du milieu étudié susceptible d'être affecté par le projet notamment l'air, l'eau, le sol, la faune etc.

Mesure environnementale : est une action proposée pour prévenir, réduire, compenser ou surveiller un impact généralement classé en mesures d'évitement, d'atténuation, de réparation/compensation.

V.1.2. Cadre politique, législatif, réglementaire et institutionnel du Burkina Faso

Afin d'assurer la protection des populations de l'environnement et la durabilité des actions de développement, le Burkina Faso a mis en place des textes institutionnels, législatifs et réglementaires.

Les textes politiques définissent les orientations stratégiques en matière de gouvernance environnementale. Les textes législatifs sont constitués d'un ensemble de loi majeures, notamment le code de l'environnement, le code forestier qui encadrent la gestion durable des ressources et la protection des populations. Quant aux textes réglementaires, ils sont régis par des décrets qui précisent les modalités opérationnelles, en particulier ceux régissant les études d'impact, les normes de rejets et le réseau routier national. Sur le plan institutionnel, la mise en œuvre repose sur le ministère des infrastructures comme l'ANEVE pour le contrôle environnemental.

Ces différents cadres avec leurs principaux objectifs sont présentés dans l'Annexe 6 en page 155.

V.1.3. Principaux impacts potentiels environnementaux et sociaux du projet

V.1.3.1. Principaux impacts potentiels négatifs

 Sur le milieu biophysique

Air : dégradations de la qualité de l'air par les émissions de gaz, de poussières, de fumées et des odeurs durant les travaux chez les riverains du tronçon de route et les ouvriers.

Eau :

- Pollution des eaux de surface dues au rejet des liquides polluants comme les hydrocarbures ainsi que les déchets solides issus du chantier
- Pollution de la nappe souterraine par les déchets liquides (déversement des hydrocarbures, les huiles de vidange usées) issus du chantier.

Végétation : Abattage de 40 arbres lors de la libération de l'emprise pour les travaux sur le tronçon de route.

Sols :

- Destruction ou modification du sol naturel lors des travaux de décapages et terrassements
- Pollution possible des sols dus aux hydrocarbures, aux huiles ou produits bitumineux
- Dégradation des sols due aux excavations et tassement lors des travaux

Faune : dégradation des habitats de la faune dues à l'abattage d'arbres dans l'emprise des travaux et dérangement de la faune due au bruit des engins et véhicules de chantier.

✚ Sur le milieu humain

Sécurité :

- Accidents de circulation avec le personnel de chantier, les usagers et les populations locales dues à la circulation des engins et véhicules de chantier souvent liés au non-respect des consignes de sécurité ;
- Perturbation temporaire de la circulation routière pendant les travaux rendant difficile l'accès des riverains à leurs habitations et aux services essentiels situés le long du tracé.

Santé publique :

- Développement des maladies respiratoires et oculaires chez les usagers de la route et les populations riveraines dues au soulèvement des poussières et aux fumées par la circulation des engins lors des travaux ;
- Propagation de maladies sexuellement transmissibles comme les IST, le VIH/SIDA due au comportement à risque des ouvriers et du genre féminin dans la zone du projet ;

- Nuisances pour la population locale due aux bruits et vibrations engendrés par les engins de chantier en travaux.

Activités économiques : Perturbations temporaires des activités économiques sur le long du tronçon de la route concerné par le projet.

Circulation et transport :

- Risques d'accidents de circulation due à l'aménagement de la route ;
- Perturbation temporaire de la circulation sur le tronçon de route du projet, accès aux services et domiciles des riverains du tronçon de route du projet.

Conditions de vie et bien être des populations :

- Perturbation des conditions de vie et bien être des populations riveraines causées par les nuisances sonores, les émissions de poussière et aux rejets de fumée ;
- Désagrément pour les populations locales due aux risques d'interruption temporaire des réseaux.

V.1.3.2. Principaux impacts potentiels positifs

 Sur le milieu biophysique

Air : Diminution de la pollution de l'air par la poussière et les fumées due à la fluidification de la circulation.

Eau :

- Amélioration du drainage des eaux pluviales due à l'aménagement des ouvrages d'assainissement sur le tronçon de route après bitumage ;
- Réduction des stagnations d'eau sur la route après bitumage.

Végétation :

- Reboisement de 200 arbres en compensation des arbres qui seront abattus dans l'emprise et l'amélioration du contexte végétale le long du tronçon de route de part et d'autre et les espaces disponibles.

Sols :

- Réduction de l'érosion et de la poussière après bitumage ;

- Amélioration de la stabilité du sol le long de la route grâce aux travaux de terrassement et de drainage du tronçon de route.

✚ Sur le milieu humain

Sécurité :

- Réduction des accidents de circulation due à l'existence du tronçon de route bitumée adaptée aux conditions de circulation ;
- Amélioration de la Circulation des usagers due au bitumage de la route ;
- Augmentation de la sécurité routière due à une meilleure visibilité, signalisation et à l'éclairage public.

Santé publique :

- Réduction des maladies hydriques due au drainage des eaux pluviales par l'aménagement des ouvrages d'assainissement sur la route
- Réduction des maladies respiratoires après bitumage

Activités économiques :

- Création d'emplois locaux dus au recrutement de la main d'œuvre pour la réalisation du projet, dus au développement des petites activités sur le long du tronçon, dus au recrutement de la main d'œuvre pour les entretiens périodiques ;
- Essor du commerce local et régional grâce à la fluidité des échanges entre les zones agricoles et les centres urbains.

Circulation et transport :

- Facilitation de la circulation en toute saison facilitant le transport des produits agricoles et des passagers due au bitumage de la route.
- Réduction du temps de parcours qui améliorera la compétitivité économique et la mobilité régionale.

Conditions de vie et bien être des populations :

- Amélioration de la mobilité, du confort et de la qualité de vie des populations de la zone du projet ;
- Amélioration des conditions de vie, du cadre de vie et du bien-être des populations par la réduction des maladies hydriques due à un meilleur assainissement.

V.1.3.3. Risques potentiels du projet

- Risques d'accidents de circulation pendant les travaux impliquant le personnel de chantier, les usagers et les riverains du tronçon de routes du projet et les populations locales de façon générale par les véhicules et engins de chantier ;
- Risques de rejet des déchets solides et liquides dans les caniveaux aménagés ;
- Risque de collision entre les engins du chantier et les animaux domestiques ;
- Risques liés à la circulation et aux déplacements des camions et des engins de chantier ;
- Risques d'incendie due à la manipulation de produits inflammables ;
- Risques des maladies respiratoires dues à la pollution de l'air par la poussière ;
- Risques de transmission des maladies telles que les IST, le VIH – SIDA pour les travailleurs et les riverains ;
- Risques de pollution des eaux de surface et des eaux souterraines par les déchets solides et liquides du chantier ;
- Risques de conflits entre l'entreprise et la population locale due au soulèvement de poussière, au non-respect des coutumes et us locaux, profanation des sites sacrés des lieux de culte, au destruction accidentelles de biens ;
- Risques de chute dans les tranchées pour l'aménagement des caniveaux ;
- Risques de contraction de grossesses non désirées.

V.1.4. Mesures environnementales et sociales du projet

Cette partie consiste à proposer des mesures en vue de réduire, compenser ou atténuer les impacts négatifs environnementaux et sociaux liés à la réalisation du présent projet et de bonifier les impacts positifs. Ces impacts couvrent les composantes biophysiques et humaines. Ces mesures doivent être mises en place sur toutes les phases du projet afin d'assurer le développement durable. Les différentes mesures proposées sont présentées dans un tableau à l'Annexe 6 en page 155.

V.1.5. Recommandations

Dans l'optique de renforcer la gestion environnementale et sociale du projet, quelques recommandations ont été préconisées afin d'assurer la pérennité du projet. Il s'agit entre autres :

A l'endroit de l'entreprise

- Priorisation de la main d'œuvre locale en phase de travaux tout en respectant le code du travail du Burkina Faso ;
- Reboisement compensatoire des arbres abattus ;
- Affichage des consignes sécuritaires dans la base vie du chantier ;
- Recrutement d'un environnementaliste pour la mise en œuvre des mesures environnementales et sociales ;
- Elaboration et signature des codes de bonne conduite par tout le personnel du chantier.

A l'endroit de la mission de contrôle

- Veiller au respect des consignes de sécurité sur le chantier ;
- Contrôler la mise en œuvre effective des clauses environnementales et sociales ;
- Suivre le reboisement compensatoire.

A l'endroit du maitre d'ouvrage

- Suivi du recrutement local et du respect des engagements sociaux/environnementaux.
- Indemniser les biens qui seront impactés en cas de modification de l'emprise des travaux ;
- Veiller au respect de toutes les mesures environnementales et sociales présentes dans le contrat de l'entreprise.

V.2. Cout global du projet

V.2.1. Avant métré

Installation du chantier

Elle regroupe l'ensemble des dispositions préalables nécessaires au démarrage des travaux. Il s'agit entre autres de la mise en place de la base vie, des zones de stockage, des bureaux temporaires ainsi que l'emménage des engins et équipements.

Les travaux préparatoires et terrassement

Les travaux préparatoires regroupent le débroussaillage, le décapage de la terre végétale, le repérage et l'enlèvement de tout obstacle se trouvant dans l'emprise de la future route. Les travaux de terrassement consistent à modeler le terrain naturel par des déblaiements, des remblaiements afin d'obtenir une plateforme stable. L'estimation de ces travaux sont issues des

propositions d'aménagement prévues et sont déterminés en fonction de leur volume, de leur surface ou de leur longueur.

La chaussée

Les travaux de chaussée comprennent la réalisation des différentes couches structurales notamment la couche de forme, de fondation, de base et de roulement. Il s'agit de déterminer les volumes des matériaux nécessaires pour la réalisation de chaque couche.

Les ouvrages hydrauliques et assainissement

Les estimations de l'ensemble des ouvrages d'assainissement ont été réalisés à partir de l'étude hydraulique et du dimensionnement structurel des ouvrages ainsi que des quantités élémentaires associés aux différents travaux à exécuter.

Sécurité-signalisation-éclairage

Les avant-métré de ce poste concerne les quantités de l'ensemble des dispositifs destinés à assurer la sécurité des usagers et à améliorer la lisibilité de l'infrastructure. Ils incluent la pose de la signalisation verticale, la réalisation des marquages horizontaux ainsi que l'installation éventuelle d'équipement d'éclairage public.

Mesures environnementales et sociales

Cette rubrique consiste à estimer l'ensemble des mesures compensatrices environnementales et sociales liées à la réalisation de ce projet.

Les quantités de l'ensemble des travaux pour la réalisation du projet sont présentés en Annexe 7.

V.2.2. Devis estimatif du projet

Le devis estimatif du projet constitue l'outil d'évaluation financière permettant de déterminer le coût total prévisionnel des travaux. Il est établi à partir des quantités issues de l'avant-métré et valorisées par des prix unitaires de référence. Cette estimation a été faite sur la base du Mercuriale 2025 des prix des infrastructures routières plus particulièrement sur les routes bitumées [12]. Le devis des travaux sont donnés en Annexe 7 en page 165 et le Tableau 29 présente le récapitulatif du coût global du projet.

Tableau 29: Récapitulatif du devis

N°	DESIGNATIONS	MONTANT TOTAL
100	Installation générale du chantier	135 887 125
200	Travaux préparatoires	103 515 498
300	Terrassement	929 841 877
400	Chaussée et revêtement	2 152 116 706
500	Ouvrage d'assainissement	1 058 300 293
600	Signalisation-Sécurité-Eclairage	219 451 466
700	Mesures compensatrices environnementales et sociales	50 895 000
Total (F CFA HT) (1)		4 650 007 967
TVA 18% de (1) : (2)		837 001 434
Total (F CFA TTC) (1) + (2) : (3)		5 487 009 401
Coût Kilométrique du projet (F CFA)		470 978 512

Le coût du projet s'élève à cinq milliards quatre cent quatre-vingt-sept millions neuf mille quatre cent un (5 487 009 401) F CFA TTC soit un coût kilométrique de quatre cent soixante-dix millions neuf cent soixante-dix-huit mille cinq cent douze (470 978 512) F CFA TTC.

La Figure 11 présente la répartition du devis estimatif par composante

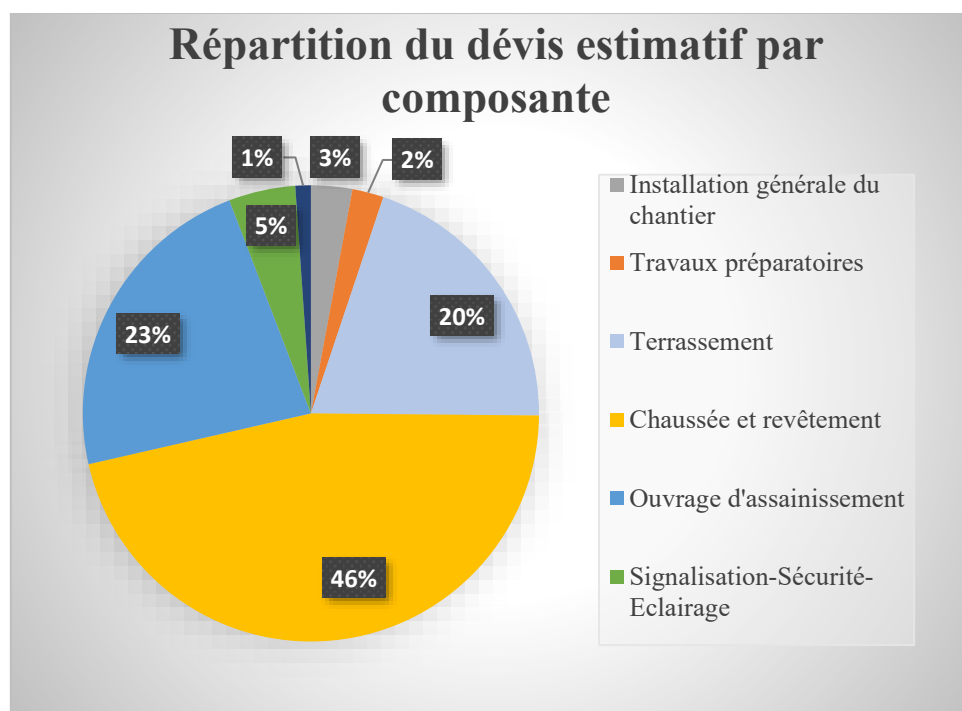


Figure 11: Répartition du devis par composante

Conclusion partielle

Ce chapitre nous a permis d'identifier les principales modifications que le projet pourrait avoir sur le milieu naturel et les communautés en mettant en évidence les enjeux prioritaires nécessitant une gestion appropriée afin de limiter les effets négatifs et de maximiser les bénéfices attendus. Il a permis également d'apprécier avec précision l'ensemble des volumes des travaux et les coûts associés à la réalisation de ce projet. Il constitue un outil d'aide à la décision pour le maître d'ouvrage.

CONCLUSION GENERALE

Les études réalisées dans le cadre de ce projet d'aménagement et de bitumage du tronçon Tienzan-Lanfièra à savoir la conception géométrique de la route, le dimensionnement structurel de la chaussée, l'assainissement routier, la sécurité routière, l'analyse d'impact environnemental ainsi que l'estimation du coût global du projet ont permis d'aboutir à une solution technique adaptée aux contraintes locales du projet.

Les résultats issus de la conception géométrique ont permis de définir un tracé répondant aux exigences de sécurité et de confort des usagers. Le dimensionnement de la chaussée basée sur l'analyse du trafic projeté et de la classe du sol support a permis d'avoir une structure de chaussée de 20 cm de couche de forme, de 20 cm de couche de fondation, de 15 cm de couche de base tous en graveleux latéritiques naturels et de 5 cm de couche de roulement en béton bitumineux.

En matière d'assainissement routier, les débits obtenus issus des études hydrologiques et hydrauliques ont permis d'obtenir des sections minimales des dalots et des fossés afin d'assurer une gestion efficace des eaux de ruissellement. Pour ce projet, les sections des dalots obtenus varient considérablement et les fossés retenus sont des fossés en perré maçonné avec des sections de 60 x 70 x 110 cm et de 60 x 65 x 110 cm.

Les aménagements proposés relatifs à la sécurité routière visent à réduire les risques d'accidents et à renforcer la sécurité des usagers dans les zones à risques et les traversées d'agglomération. Ils ont permis de mettre en évidence un dispositif cohérent de signalisation verticale et horizontal adaptés aux conditions de circulation.

L'analyse d'impact environnemental a permis d'identifier les principaux impacts du projet sur le milieu naturel et humain ainsi que des mesures d'atténuation nécessaires. Ces mesures doivent permettre de réduire les désagréments liés à la réalisation de ce présent projet par l'application d'un plan de gestion environnemental. L'évaluation du coût global du projet issus des quantités des différents matériaux et équipements estimés a permis d'estimer les besoins financiers nécessaires à la réalisation des travaux. Ainsi le coût global du projet s'élève à **5 487 009 401 F CFA TTC**.

PERSPECTIVES OU RECOMMANDATIONS

Afin d'assurer la réussite de la mise en œuvre de ce projet, plusieurs perspectives ou recommandations ont été formulées. Il s'agit de :

- ✓ Contrôler rigoureusement la qualité des matériaux et des conditions de mise en œuvre ;
- ✓ Impliquer la population locale dans la réalisation du projet ;
- ✓ Faire un entretien régulier des ouvrages d'assainissement et de la chaussée afin d'assurer leur durabilité ;
- ✓ Mettre en place des dispositifs de sécurité routière conformément aux normes en vigueur ;
- ✓ Mettre en place un plan de suivi environnemental afin de limiter les impacts négatifs sur le milieu naturel et humain ;

Bibliographie

- [1] Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA) – Centre de la Sécurité et des Techniques Routières, « Aménagement des Routes Principales (ARP) », France: Ministère de l'Équipement – Direction des Routes, Bagneux Cedex, Août 1984.
- [2] Centre expérimental de recherches et d'études du bâtiment et des travaux publics (CEBTP), « Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux », Paris: La Documentation française / Ministère de la Coopération et du Développement, 1984.
- [3] AGEROUTE Sénégal, groupement Egis – Ifsttar – Sénélabo, « Catalogue de structures de chaussées neuves et Guide de dimensionnement des chaussées au SENEGAL », Dakar: AGEROUTE Sénégal, Avril 2015.
- [4] N. VAN TUU, B. LEMOINE et J. POUPLARD, « Hydraulique routière », Paris: Bureau Central d'Études pour les Équipements d'Outre-Mer (BCEOM), 1981.
- [5] Comité interafricain d'études hydrauliques (CIEH), l'Orstom et Laboratoire commun de télédétection CEMAGREF/ENGREF (LCT), « Crues et apports : manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche », Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1996.
- [6] AFNOR (Association Française de Normalisation), « NF EN 206-1 - Béton - Partie 1: Spécification, performances, production et conformité », AFNOR, Avril 2004.
- [7] J. Mougin, « Béton armé – BAEL 91 mod. 99 et DTU associés », Paris: Editions Eyrolles, 1999.
- [8] Ministère de l'Équipement, Fascicule 61 – Titre II, 1971 (rév. 1981), « Cahier des Prescriptions Communes – Fascicule n° 61 conception, Calcul et épreuves des ouvrages d'art Titre II. - Programmes de charges et épreuves des ponts-routes », Ministère de l'Équipement et du Logement / Ministère de l'Économie et des Finances, 1981 1971.
- [9] République française, « Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière (IISR)- Septième Partie : Marques sur chaussées, arrêté du 16 février 1998, version consolidée 2008. », Paris: Journal officiel de la République française, 1998.
- [10] GOPA Infra / SCET - Tunisie / SWECO / CONCEPT, « Guide Technique Module 3 : ECLAIRAGE PUBLIC », Caisse de Prêts et de Soutien des collectivités Locales (CPSCL), Tunisie, Novembre 2019.

- [11] République du Burkina Faso, « Loi N°006- 2013/AN portant code de l'environnement au Burkina Faso », Ouagadougou: Ministère en charge de l'environnement, 02 Avril 2013.
- [12] Autorité de Régulation de la Commande Publique (ARCOP), « Mercuriale 2025 – Ouagadougou », Ouagadougou: ARCOP, 2025.
- [13] C. PUECH et D. C. GONNI, « Courbes Hauteur de Pluie - Durée - Fréquence Afrique de l'ouest et central pour des pluies de durée 5 minutes à 24 heures », Comité interafricain d'études hydrauliques (CIEH), Janvier 1984.
- [14] SETRA (Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes) / LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées), « Conception et dimensionnement des structure de chaussée », Bagneux-Paris: SETRA / LCPC, 1994.
- [15] V. R. NDJANA MBARGA, « Etude d'impact environnemental et social du projet d'élargissement 2*2 voies de la RN4 de la sortie Est de Ouagadougou – route nationale N°4 (RN4),» Ouagadougou, 2022.

ANNEXE

Annexe 1: Conception géométrique	64
Annexe 2: Dimensionnement de la structure de chaussée	82
Annexe 3: Etude hydrologique et hydraulique	87
Annexe 4: Dimensionnement structurel du dalot 4X350X200	102
Annexe 5: Signalisation routière	152
Annexe 6: Impact environnemental et social	155
Annexe 7: Coût global du projet	165

Annexe 1: Conception géométrique

Tableau 1-1 : Axe en plan de l'axe 1

ELEM	CARACTERISTIQUES	LONGUEUR	ABSCISSE	X	Y
			0.000	474628.940	1353711.472
D1	ANG = 145.360g	150.873			
			150.873	474530.310	1353825.641
C1	XC= 475514.051 YC= 1354675.496 R = -1300.000	4.391			
			155.264	474527.445	1353828.969
D2	ANG = 145.145g	192.678			
			347.941	474401.978	1353975.198
C2	XC= 475540.370 YC= 1354951.959 R = -1500.000	2.382			
			350.323	474400.428	1353977.006
D3	ANG = 145.044g	15.736			
			366.060	474390.200	1353988.965
C3	XC= 470590.395 YC= 1350739.122 R = 5000.000	115.906			
			481.965	474313.851	1354076.168
D4	ANG = 146.519g	19.134			
			501.099	474301.081	1354090.417
C4	XC= 476907.500 YC= 1356426.350 R = -3500.000	48.867			
			549.966	474268.722	1354127.034
D5	ANG = 145.631g	116.575			
			666.541	474192.138	1354214.925
C5	XC= 475172.255 YC= 1355068.956 R = -1300.000	60.212			
			726.753	474153.647	1354261.220
D6	ANG = 142.682g	24.311			
			751.064	474138.542	1354280.269
C6	XC= 474530.314 YC= 1354590.936 R = -500.000	198.334			
			949.398	474048.936	1354455.751
D7	ANG = 117.429g	383.396			
			1332.794	473945.277	1354824.868
C7	XC= 467205.984 YC= 1352932.270 R = 7000.000	61.870			

			1394.664	473928.286	1354884.359
D8	ANG = 117.992g	392.005			
			1786.669	473818.968	1355260.813
C8	XC= 466616.501 YC= 1353169.289 R = 7500.000	55.192			
			1841.861	473803.381	1355313.758
D9	ANG = 118.460g	16.184			
			1858.045	473798.754	1355329.266
C9	XC= 476673.506 YC= 1356187.054 R = -3000.000	122.593			
			1980.637	473766.111	1355447.424
D10	ANG = 115.859g	156.756			
			2137.393	473727.464	1355599.341
C10	XC= 475665.727 YC= 1356092.428 R = -2000.000	70.812			
			2208.205	473711.224	1355668.262
D11	ANG = 113.605g	409.244			
			2617.450	473624.430	1356068.197
C11	XC= 465806.416 YC= 1354371.536 R = 8000.000	3.970			
			2621.420	473623.587	1356072.077
D12	ANG = 113.637g	471.566			
			3092.986	473523.348	1356532.865
C12	XC= 482317.665 YC= 1358445.974 R = -9000.000	53.001			
			3145.986	473512.234	1356584.688
D13	ANG = 113.262g	134.977			
			3280.964	473484.320	1356716.747
C13	XC= 473166.346 YC= 1356649.534 R = 325.000	51.110			
			3332.074	473469.869	1356765.717
D14	ANG = 123.273g	74.748			
			3406.822	473443.148	1356835.526
C14	XC= 473840.063 YC= 1356987.458 R = -425.000	139.779			
			3546.601	473415.349	1356971.871
D15	ANG = 102.335g	287.158			
			3833.760	473404.817	1357258.836
C15	XC= 468408.181 YC= 1357075.462 R = 5000.000	51.816			

			3885.576	473402.649	1357310.606
D16	ANG = 102.995g	563.768			
			4449.343	473376.135	1357873.750
C16	XC= 479369.496 YC= 1358155.924 R = -6000.000	13.050			
			4462.393	473375.536	1357886.786
D17	ANG = 102.857g	485.016			
			4947.409	473353.780	1358371.314
C17	XC= 480846.231 YC= 1358707.736 R = -7500.000	16.039			
			4963.448	473353.077	1358387.337
D18	ANG = 102.720g	171.414			
			5134.861	473345.755	1358558.594
C18	XC= 466352.145 YC= 1358259.556 R = 7000.000	130.625			
			5265.486	473338.957	1358689.040
D19	ANG = 103.908g	17.651			
			5283.137	473337.874	1358706.658
C19	XC= 469844.468 YC= 1358491.916 R = 3500.000	60.054			
			5343.191	473333.676	1358766.564
D20	ANG = 105.001g	145.627			
			5488.818	473322.248	1358911.742
C20	XC= 470331.499 YC= 1358676.329 R = 3000.000	37.481			
			5526.299	473319.074	1358949.088
D21	ANG = 105.796g	12.419			
			5538.718	473317.944	1358961.456
C21	XC= 475309.661 YC= 1359143.295 R = -2000.000	148.883			
			5687.600	473309.937	1359110.088
D22	ANG = 101.057g	309.858			
			5997.458	473304.792	1359419.903
C22	XC= 473804.723 YC= 1359428.205 R = -500.000	93.116			
			6090.574	473311.899	1359512.613
D23	ANG = 89.201g	37.689			
			6128.263	473318.262	1359549.760
C23	XC= 472036.920 YC= 1359769.221 R = 1300.000	60.786			

			6189.049	473327.119	1359609.892
D24	ANG = 92.178g	128.292			
			6317.341	473342.843	1359737.217
C24	XC= 475327.765 YC= 1359492.096 R = -2000.000	93.032			
			6410.373	473356.388	1359829.249
D25	ANG = 89.217g	11.310			
			6421.683	473358.294	1359840.398
C25	XC= 471386.917 YC= 1360177.551 R = 2000.000	75.562			
			6497.245	473369.622	1359915.101
D26	ANG = 91.622g	249.054			
			6746.299	473402.305	1360162.001
LONGUEUR DE L'AXE			6746.299		

Tableau 1-2 : Axe en plan de l'axe 2

ELEM	CARACTERISTIQUES	LONGUEUR	ABSCISSE	X	Y
			0.000	473402.305	1360162.002
D1	ANG = 90.457g	157.919			
			157.919	473425.888	1360318.150
C1	XC= 472931.496 YC= 1360392.820 R = 500.000	51.012			
			208.931	473430.923	1360368.890
D2	ANG = 96.952g	39.750			
			248.681	473432.825	1360408.595
C2	XC= 469437.409 YC= 1360600.035 R = 4000.000	119.700			
			368.381	473436.764	1360528.225
D3	ANG = 98.857g	97.160			
			465.540	473438.509	1360625.369
C3	XC= 475138.235 YC= 1360594.850 R = -1700.000	397.942			
			863.482	473491.944	1361018.791
D4	ANG = 83.955g	174.780			

			1038.262	473535.530	1361188.049
C4	XC= 471889.239 YC= 1361611.990 R = 1700.000	237.708			
			1275.970	473578.548	1361421.635
D5	ANG = 92.857g	517.145			
			1793.115	473636.454	1361935.527
C5	XC= 470158.465 YC= 1362327.435 R = 3500.000	31.539			
			1824.654	473639.845	1361966.884
D6	ANG = 93.430g	269.934			
			2094.588	473667.652	1362235.382
C6	XC= 468694.253 YC= 1362750.455 R = 5000.000	119.242			
			2213.830	473678.520	1362354.125
D7	ANG = 94.948g	232.355			
			2446.185	473696.938	1362585.749
C7	XC= 480674.912 YC= 1362030.886 R = -7000.000	8.523			
			2454.708	473697.619	1362594.245
D8	ANG = 94.871g	324.924			
			2779.632	473723.769	1362918.115
C8	XC= 481199.440 YC= 1362314.517 R = -7500.000	102.591			
			2882.223	473732.724	1363020.313
D9	ANG = 94.000g	36.463			
			2918.686	473736.156	1363056.614
C9	XC= 467762.783 YC= 1363621.251 R = 6000.000	160.307			
			3078.993	473749.108	1363216.392
D10	ANG = 95.701g	136.986			
			3215.979	473758.351	1363353.066
C10	XC= 468769.747				

	YC= 1363690.448 R = 5000.000	161.757			
			3377.735	473766.654	1363514.602
D11	ANG = 97.761g	317.564			
			3695.299	473777.822	1363831.969
C11	XC= 465782.771 YC= 1364113.323 R = 8000.000	1.300			
			3696.599	473777.868	1363833.269
D12	ANG = 97.771g	227.023			
			3923.622	473785.815	1364060.152
C12	XC= 466290.412 YC= 1364322.703 R = 7500.000	137.820			
			4061.442	473789.374	1364197.924
D13	ANG = 98.941g	268.080			
			4329.522	473793.834	1364465.967
C13	XC= 473633.856 YC= 1364468.629 R = 160.000	92.827			
			4422.349	473769.116	1364554.097
D14	ANG = 135.875g	444.809			
			4867.158	473531.512	1364930.128
C14	XC= 473556.873 YC= 1364946.153 R = -30.000	17.144			
			4884.302	473526.874	1364946.391
D15	ANG = 99.495g	19.816			
			4904.117	473527.031	1364966.206
LONGUEUR DE L'AXE			4904.117		

Tableau 1-3 : Profil en long de l'axe 1

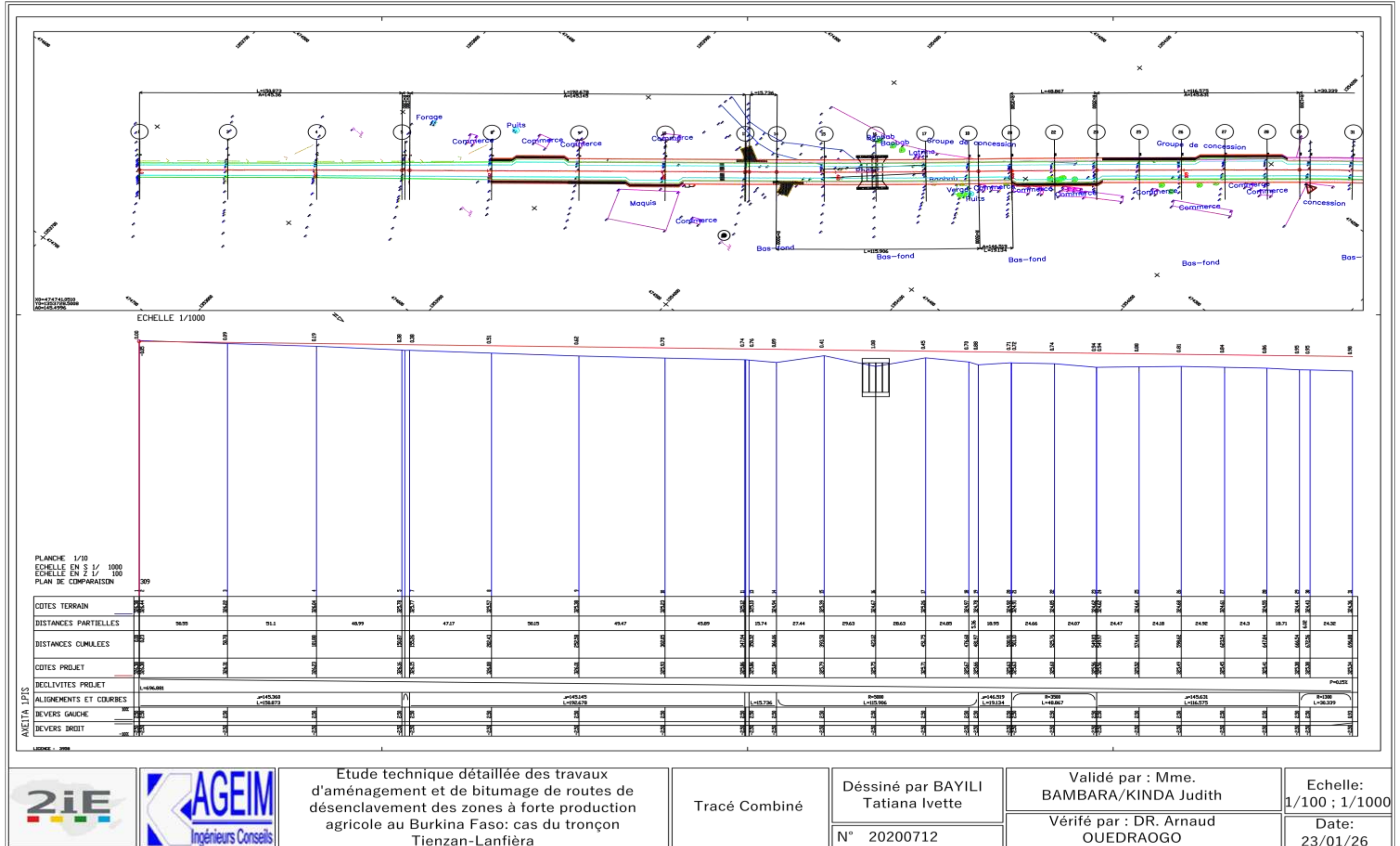
ELEM	CARACTERISTIQUES DES ELEMENTS	LONGUEUR	ABSCISSE	Z
			0.000	326.385
D1	PENTE= -0.150 %	843.722		
			843.722	325.119

PAR1	S= 836.2223 Z= 325.1247 R = -5000.00	19.660		
			863.382	325.051
D2	PENTE= -0.543 %	578.261		
			1441.643	321.910
PAR2	S= 1468.8033 Z= 321.8361 R = 5000.00	7.066		
			1448.709	321.876
D3	PENTE= -0.402 %	725.733		
			2174.442	318.960
PAR3	S= 2198.5552 Z= 318.9114 R = 6000.00	32.013		
			2206.456	318.917
D4	PENTE= 0.132 %	485.908		
			2692.364	319.556
PAR4	S= 2685.7802 Z= 319.5521 R = 5000.00	7.800		
			2700.164	319.573
D5	PENTE= 0.288 %	597.641		
			3297.805	321.292
PAR5	S= 3317.9419 Z= 321.3210 R = -7000.00	107.970		
			3405.775	320.770
D6	PENTE= -1.255 %	649.089		
			4054.865	312.625
PAR6	S= 4142.6980 Z= 312.0744 R = 7000.00	69.479		
			4124.343	312.098
D7	PENTE= -0.262 %	1128.278		
			5252.622	309.140
PAR7	S= 5270.9765 Z= 309.1159 R = 7000.00	4.389		
			5257.010	309.130
D8	PENTE= -0.200 %	654.256		
			5911.266	307.824
PAR8	S= 5921.2419 Z= 307.8145 R = 5000.00	4.567		
			5915.833	307.817
D9	PENTE= -0.108 %	391.592		
			6307.425	307.394
PAR9	S= 6312.8339 Z= 307.3909 R = 5000.00	34.067		
			6341.492	307.473
D10	PENTE= 0.573 %	404.808		
			6746.299	309.793
LONGUEUR DE L'AXE 6746.299				

Tableau 1-4 : Profil en long de l'axe 2

ELEM	CARACTERISTIQUES DES ELEMENTS	LONGUEUR	ABSCISSE	Z
			0.000	309.793
D1	PENTE= 1.542 %	747.638		
			747.638	321.323
PAR1	S= 824.7461 Z= 321.9176 R=-5000	190.446		
			938.084	320.633
D2	PENTE= -2.267 %	791.348		
			1729.432	302.695
PAR2	S= 1956.1078 Z= 300.1260 R = 10000.00	195.922		
			1925.354	300.173
D3	PENTE= -0.308 %	684.559		
			2609.912	298.068
PAR3	S= 2631.4401 Z= 298.0349 R = 7000.00	9.933		
			2619.846	298.044
D4	PENTE= -0.166 %	1721.196		
			4341.042	295.194
PAR4	S= 4330.2756 Z= 295.2025 R = -6500.00	21.021		
			4362.063	295.125
D5	PENTE= -0.489 %	402.018		
			4764.081	293.159
PAR5	S= 4793.4225 Z= 293.0870 R = 6000.00	74.300		
			4838.380	293.255
D6	PENTE= 0.749 %	65.737		
			4904.117	293.748
LONGUEUR DE L'AXE 4904.117				

Plan du Tracé Combiné, des profils en travers types et Courants



Etude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage de routes de désenclavement des zones à forte production agricole au Burkina Faso: cas du tronçon Tienzan-Lanfièra

Tracé Combiné

Déssiné par BAYILI Tatiana Ivette

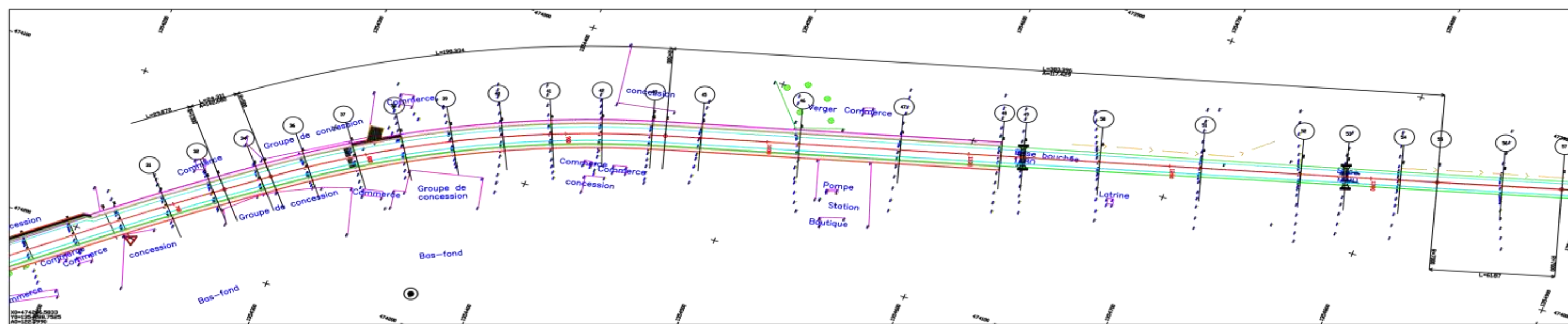
N° 20200712

Validé par : Mme. BAMBARA/KINDA Judith

Vérifié par : DR. Arnaud OUEDRAOGO

Echelle: 1/100 ; 1/1000

Date: 23/01/26



ECHELLE 1/1000

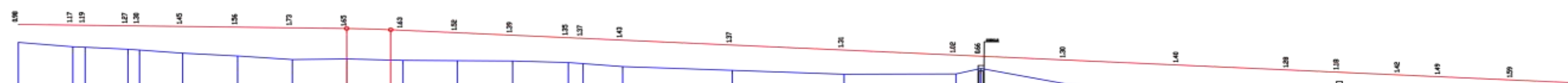


PLANCHE 2/10
ECHELLE EN S 1/ 1000
ECHELLE EN Z 1/ 100
PLAN DE COMPARAISON

[illegible]

Etude technique détaillée des travaux
d'aménagement et de bitumage de routes de
désenclavement des zones à forte production
agricole au Burkina Faso: cas du tronçon
Tienzan-Lanfièra

Tracé Combiné

Déssiné par BAYILI
Tatiana Ivette

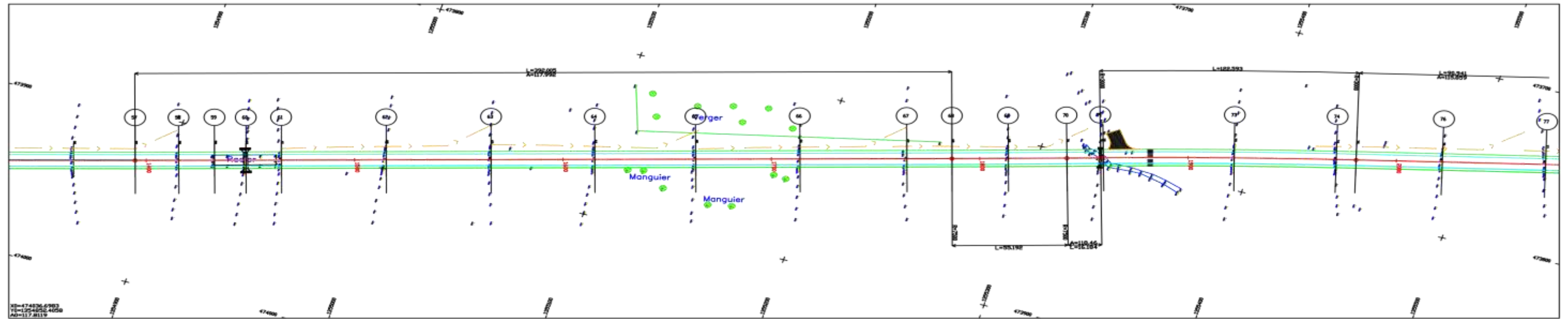
N° 20200712

Validé par : Mme.
BAMBARA/KINDA Judith

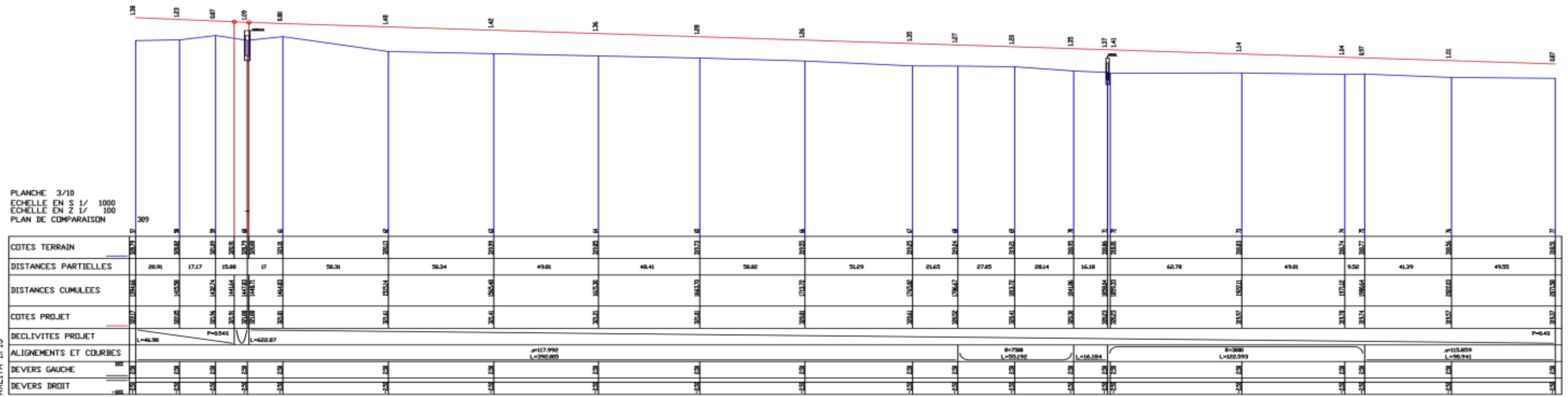
Vééifié par : DR. Arnaud
OUEDRAOGO

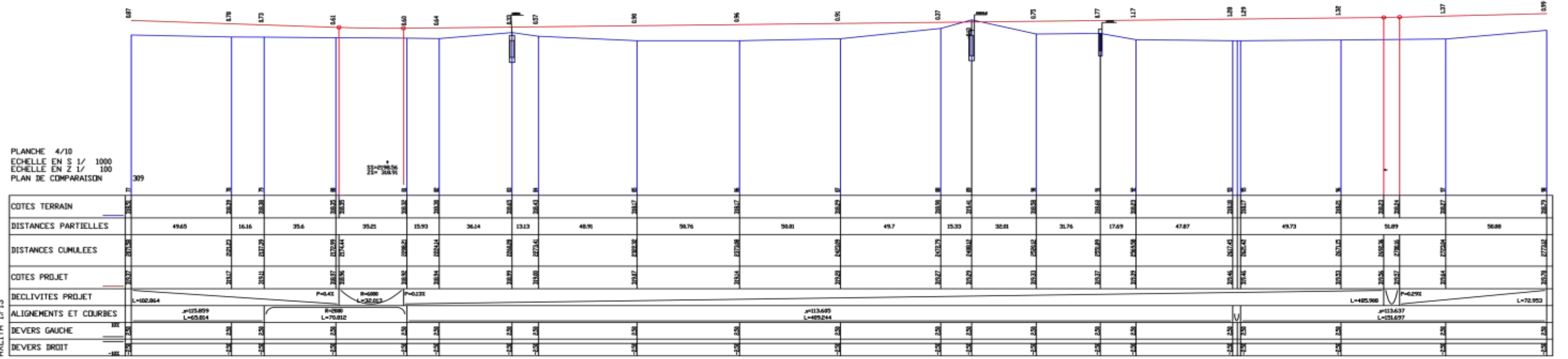
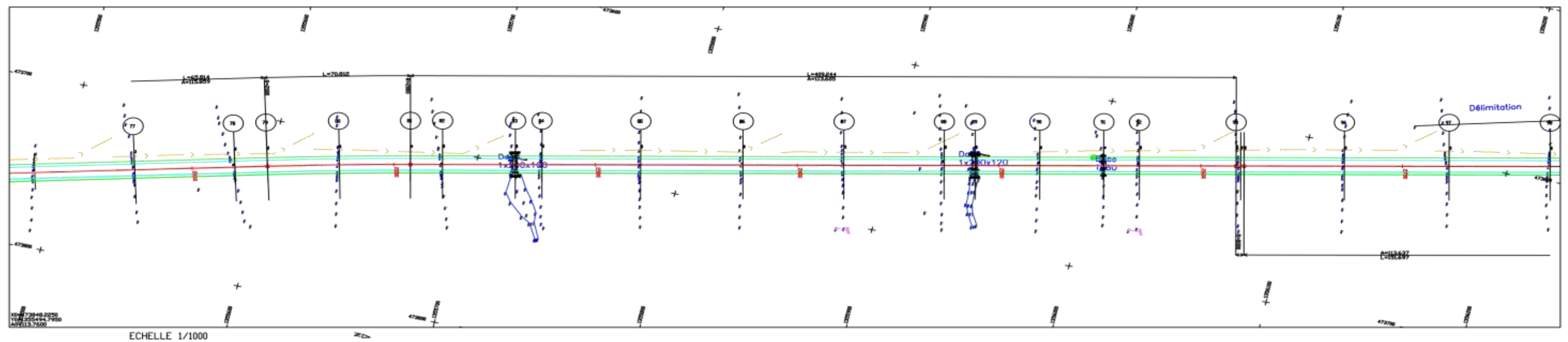
Echelle: 1/100 ; 1/1000

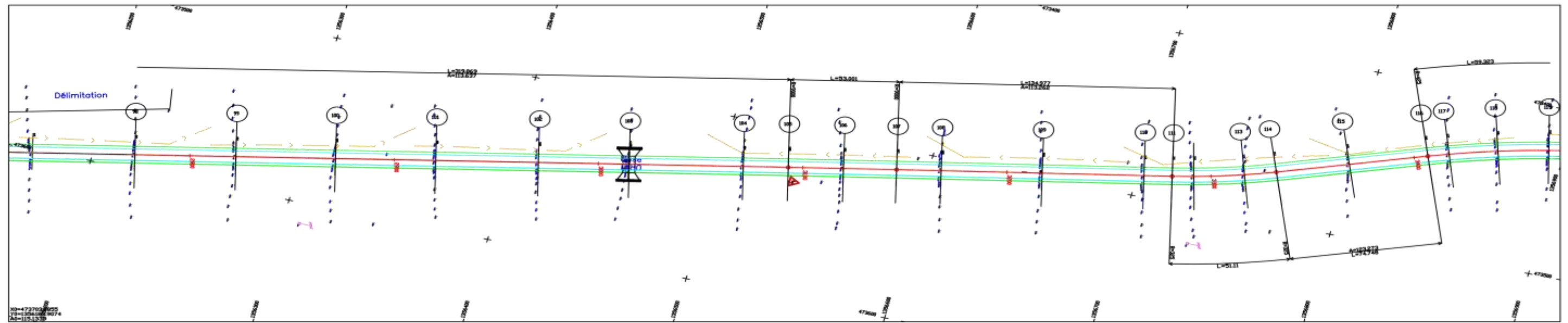
Date:
23/01/26



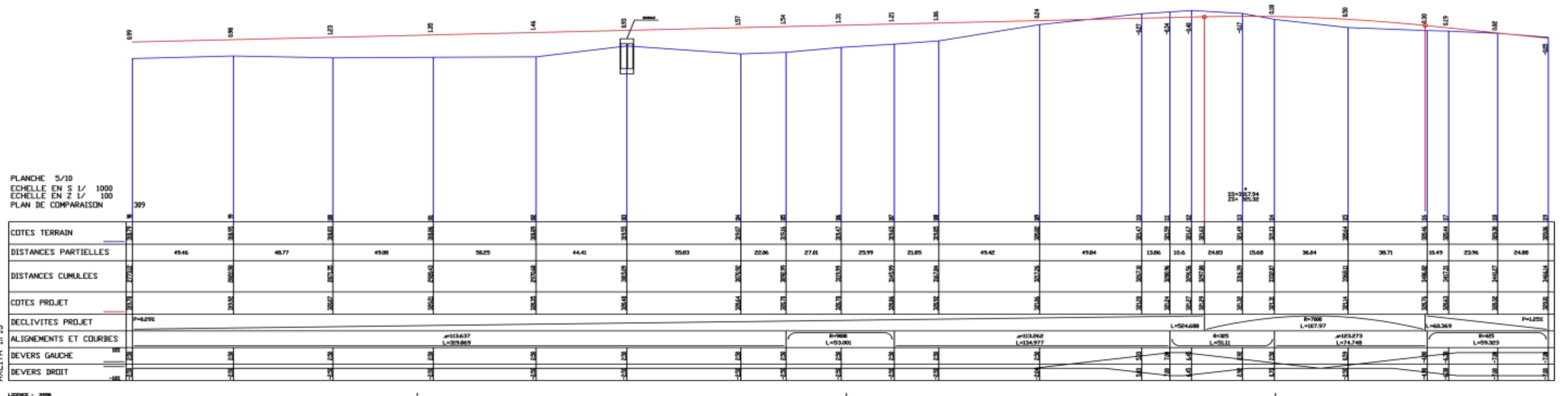
ECHELLE 1/1000





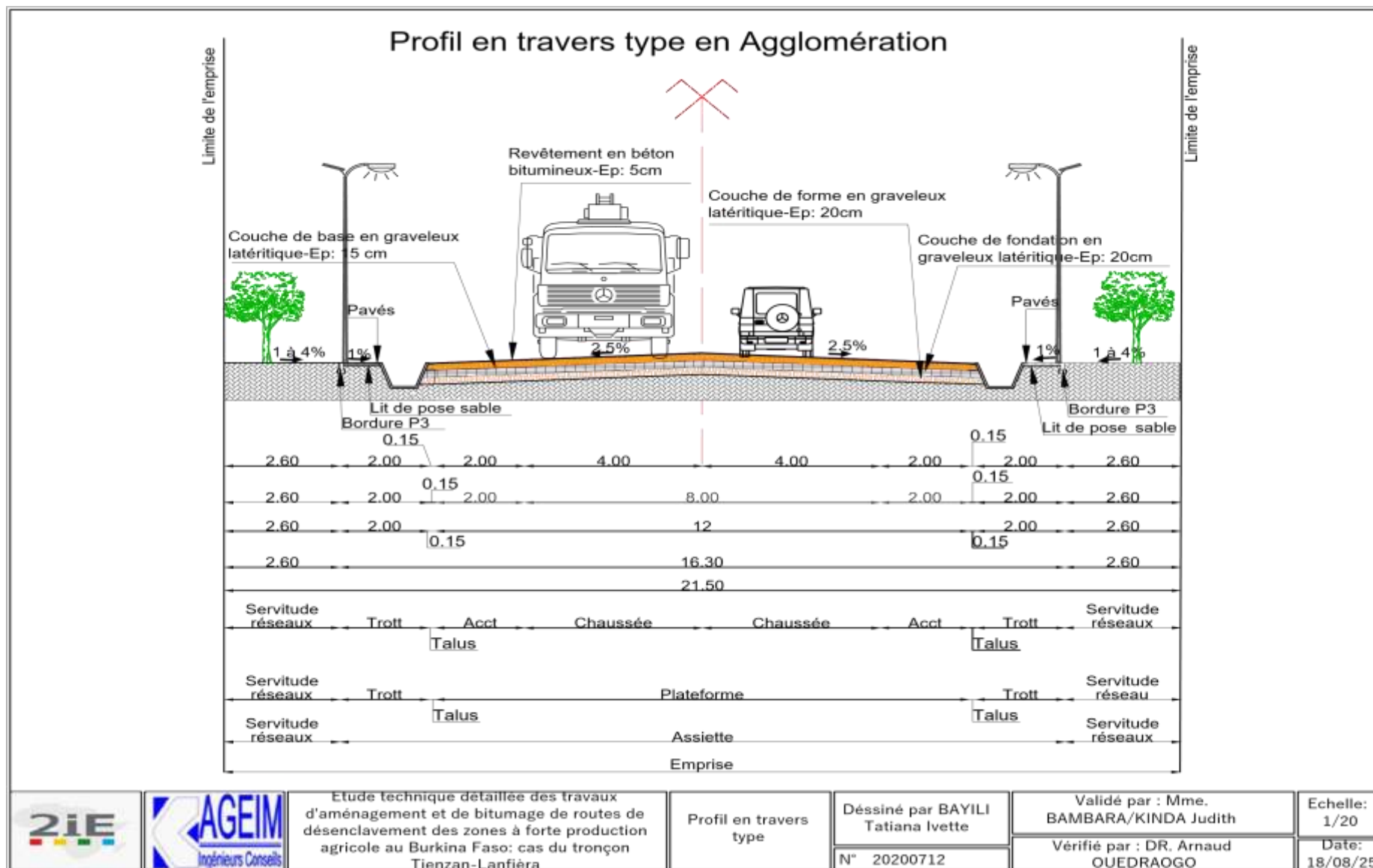


ECHELLE 1/1000

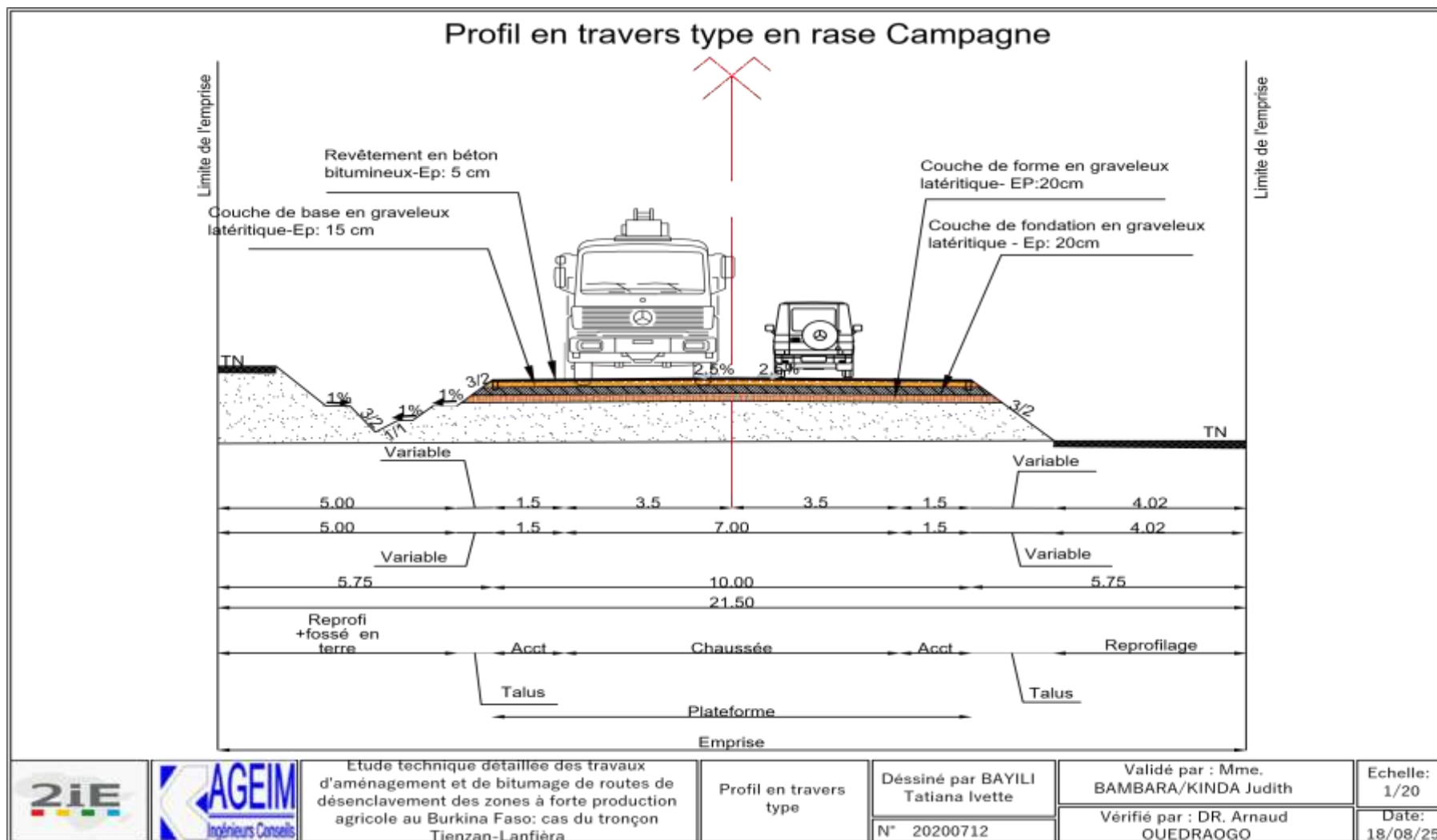


	Etude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage de routes de désenclavement des zones à forte production agricole au Burkina Faso: cas du tronçon Tienzan-Lanfièra	Tracé Combiné	Déssiné par BAYILI Tatiana Ivette	Validé par : Mme. BAMBARA/KINDA Judith	Echelle: 1/100 ; 1/1000
	Etude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage de routes de désenclavement des zones à forte production agricole au Burkina Faso: cas du tronçon Tienzan-Lanfièra	Tracé Combiné	N° 20200712	Vérifié par : DR. Arnaud OUEDRAOGO	Date: 23/01/26

Etude technique détaillée des travaux d'aménagement et du bitumage de routes de désenclavement des zones à forte production agricole au Burkina Faso : cas du tronçon Tienzan-Lanfièra (11,650 km)



Etude technique détaillée des travaux d'aménagement et du bitumage de routes de désenclavement des zones à forte production agricole au Burkina Faso : cas du tronçon Tienzan-Lanfièra (11,650 km)



ROUTE EN 1 X 2 VOIES

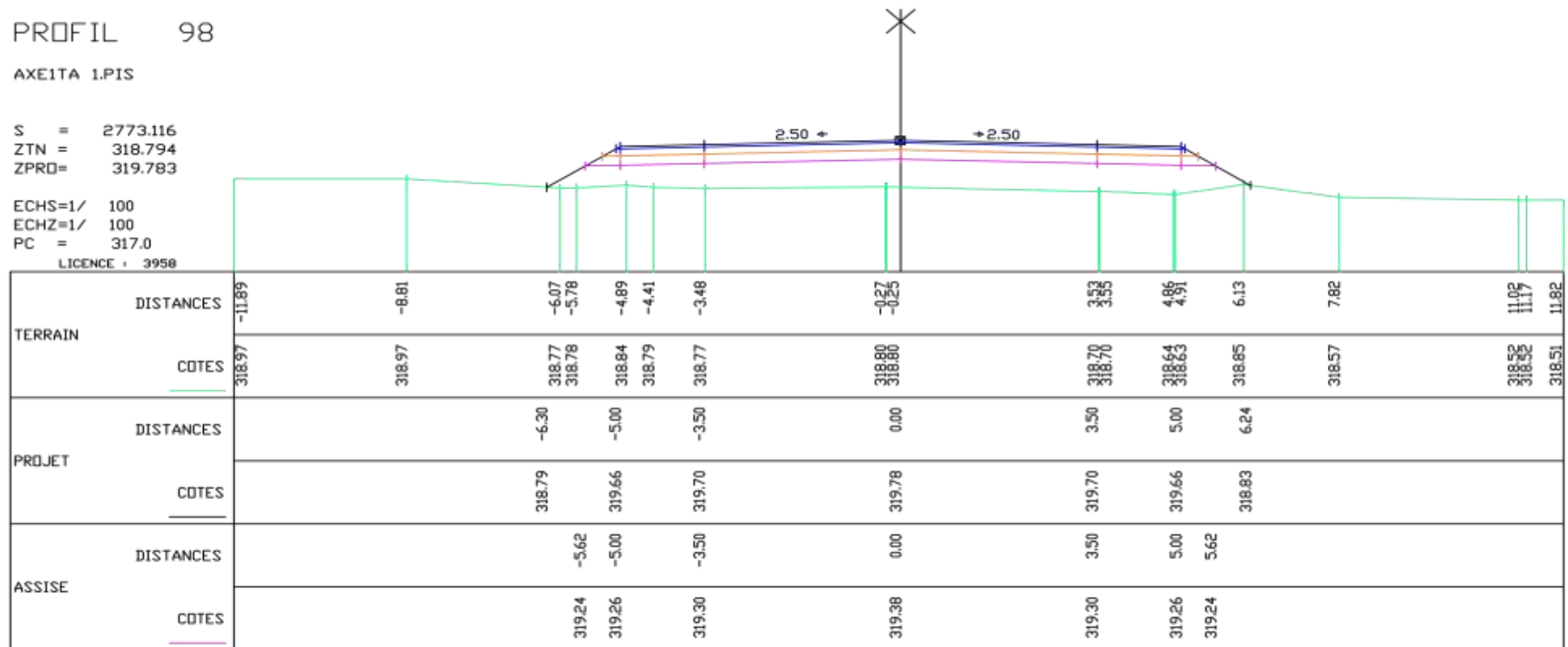
PROFIL 98

AXE1TA 1.PIS

S = 2773.116
ZTN = 318.794
ZPRD = 319.783

ECHS=1/ 100
ECHZ=1/ 100
PC = 317.0

LICENCE : 3958



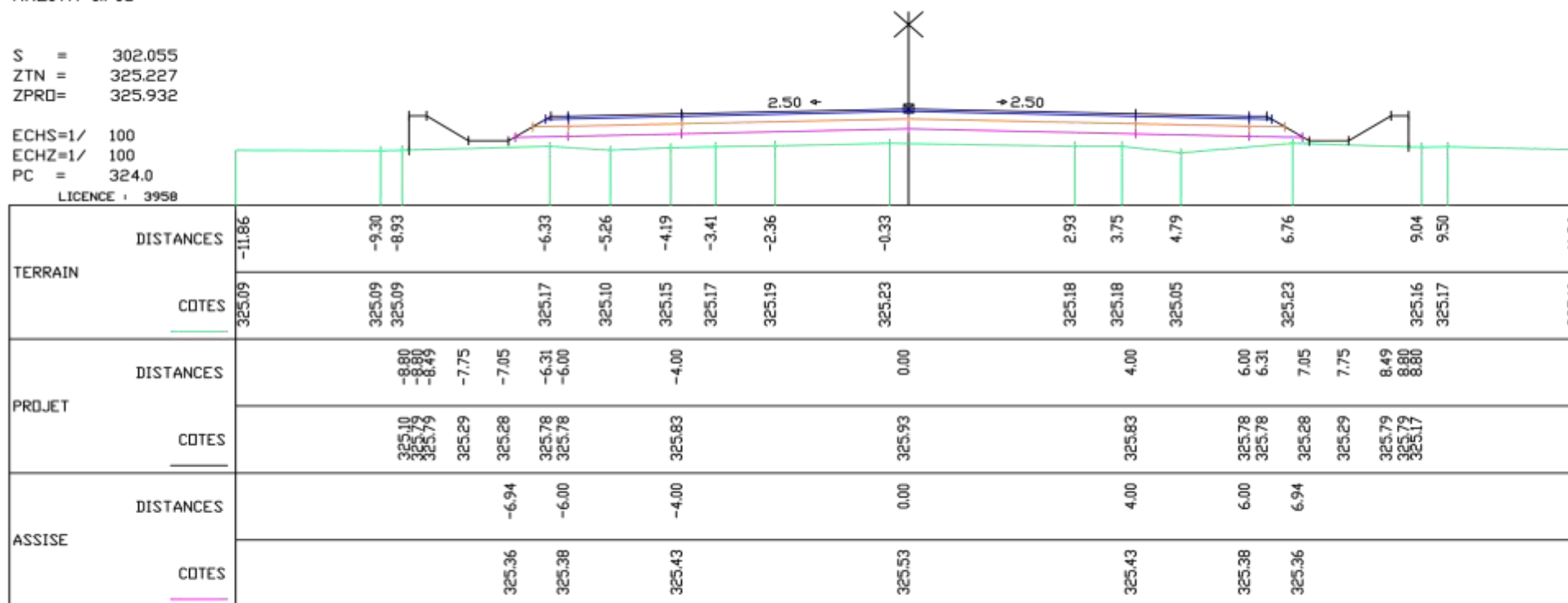
ROUTE EN 1 X 2 VOIES

PROFIL 10

AXE1TA 1.PIS

S = 302.055
ZTN = 325.227
ZPRD = 325.932

ECHS=1/ 100
ECHZ=1/ 100
PC = 324.0
LICENCE : 3958



Annexe 2: Dimensionnement de la structure de chaussée

Caractéristiques de dimensionnement des matériaux de la variante retenue

Le module obtenu à partir de CBR constitue le module du sol support. En ce qui concerne les modules de la couche de fondation et de base, nous avons utilisés la fiche méthode du guide Sénégal 2015 [3]. Selon cette fiche la couche au-dessus du sol support est déterminé par la relation suivante : $E = \min[2 E_0; E_{GL}]$

Avec E_0 : Module du sol support

$E_{GL} = E_{GL1}$: Module de la couche de fondation ($E_{GL1} = 200 \text{ Mpa}$)

Pour la couche de base, le module est $E_{GL2} = 400 \text{ MPa}$

Le tableau 2-1 présente les différentes caractéristiques des matériaux.

Tableau 2-1 : Caractéristique des matériaux

Type de matériaux	Epaisseurs (m)	Coefficient de poisson	Module de Young (Mpa)
Béton bitumineux	0,05	0,35	1300
Graveleux latéritique Naturel (GL2)	0,15	0,35	400
Graveleux latéritique naturel (GL1)	0,20	0,35	160

Calcul des contraintes admissibles et vérification de la structure de chaussée

Pour ce projet, nous avons utilisé la fiche méthode de dimensionnement du guide du Sénégal 2015 [3]. Cette fiche stipule que le seul critère à vérifier pour les chaussées souples en graveleux latéritique est celui de la plate-forme comme le montre l'équation ci-dessous :

$$\varepsilon_{Zadm} > \varepsilon_{Zcalculé} \quad \text{Équation 13}$$

Cette déformation est donnée à travers l'expression suivante :

$$A \times NE^{-0,222}$$

Avec $A = 16000$ pour un trafic faible et 12000 pour un trafic fort. Selon la fiche le trafic est considéré comme faible si $NE < 250\,000$ et fort dans le cas contraire. Pour ce présent projet nous retenons un trafic fort car $NE > 250\,000$.

Nous avons vérifié la déformation horizontale admissible en traction à la base des matériaux traités au bitume. Elle est donnée par l'expression suivante :

$$\varepsilon_{t,adm} = \varepsilon_6(10^\circ C, 25Hz) \times K\theta \times \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b \times k_c \times k_r \times k_s \times k_\theta$$

Tableau 2-2 : Contraintes Admissibles

Détermination des contraintes admissibles	
Déformation horizontale admissible	$\varepsilon_{t,adm} = 227,70$
Déformation verticale admissible	$\varepsilon_{zadm} = 610,8$

❖ Vérification avec la méthode rationnelle (Alizé LCPC)

Après une première vérification avec les épaisseurs de la variante retenue, il a été constaté que les épaisseurs retenues ne répondent pas aux critères de dimensionnement c'est-à-dire que les déformations sont supérieures aux déformations admissibles.



Figure 2-1 : Première vérification de la structure

Afin de remédier à cette insuffisance, les épaisseurs de la couche de fondation et celle de la base ont été augmentées passant de 20 cm à 25cm pour la fondation et de 15 cm à 25 cm pour la base ce qui a permis d'avoir une structure vérifiante comme le montre la figure suivante :

épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,050	1300,0	0,350	0,000	-208,3	-0,111	-97,9	0,658
	collé		0,050	-164,3	-0,010	459,8	0,591
0,250	400,0	0,350	0,050	-164,3	0,082	1097,1	0,591
	collé		0,300	-341,0	-0,123	439,5	0,103
0,250	160,0	0,350	0,300	-341,0	-0,017	680,8	0,103
	collé		0,550	-241,4	-0,032	401,4	0,044
infini	80,0	0,350	0,550	-241,4	-0,004	572,7	0,044

1 - EpsIT= 227,7 (bb)
2 - EpsIZ= 610,8 (gnt et sol)

Pour imprimer les données des calculs de valeurs admissibles à la suite des résultats des calculs mécaniques: cocher les cases correspondantes dans la liste ci-dessus.

Fermer

Figure 2-2 : Deuxième vérification de la stucture

Cependant, dans l'optique d'optimiser le coût global du projet, une couche de forme a été introduite. Cette couche a permis de réduire les épaisseurs de la couche de fondation et de base jusqu'à l'obtention des épaisseurs initialement retenues. La figure ci-dessous présente la structure vérifiée.

❖ Avantages et inconvénients des deux méthodes

Tableau 2-3 : Avantage et inconvénients des méthodes

Méthodes	Méthode empirique (CEBTP)	Méthode rationnelle (Alizé LCPC)
Avantages	- Facile à mettre en œuvre - Elle ne nécessite pas de paramètres mécaniques complexes - Rapidité d'exécution car les calculs sont basés sur des abaques et des formules simples - Méthode fondée sur de nombreuses observations de terrain en Afrique de l'ouest, ce qui est adapté aux contextes locaux	- Approche scientifique rigoureuse s'appuyant sur les lois de la mécanique des milieux continus et permet une meilleure compréhension du comportement de la chaussée - Permet d'évaluer plusieurs types de matériaux et de structures complexes, - optimisation du dimensionnement grâce à la possibilité de simuler différentes configurations et d'optimiser les épaisseurs des couches pour un coût minimal - Permet de prévoir la durée de vie de la chaussée en fonction du trafic et des conditions climatiques

Inconvénients	- Elle est moins précise car elle ne prend pas en compte les contraintes internes ni les déformations dans les couches - La méthode est valable uniquement dans les conditions similaires à celles des essais ayant servi à l'établir - Peu flexible pour des structures ou matériaux nouveaux.	- Nécessite des connaissances approfondies en mécanique et en modélisation - Exige des paramètres mécaniques fiables - Temps d'analyse plus long comparé aux méthodes empiriques simples
---------------	---	--

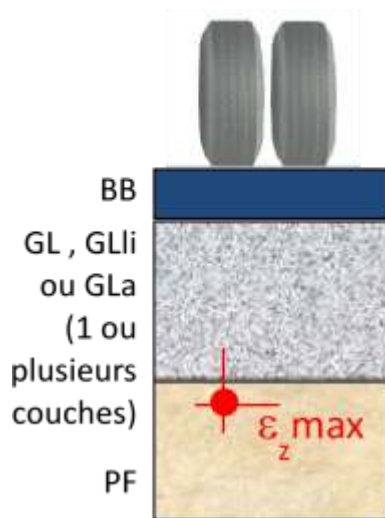
Fiche Méthode
 Guide Sénégal 2015

ALIZÉ-LCPC



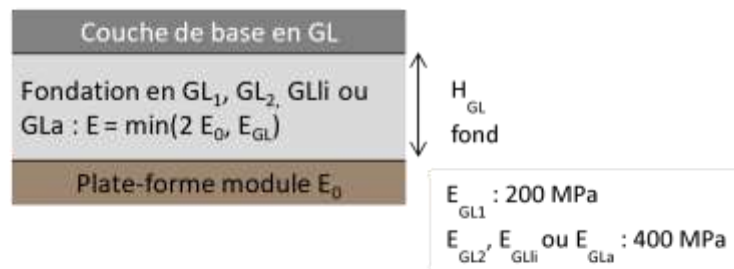
Calcul des chaussées souples en GL :

Mode d'endommagement : orniérage : déformation
 verticale irréversible des matériaux non traités

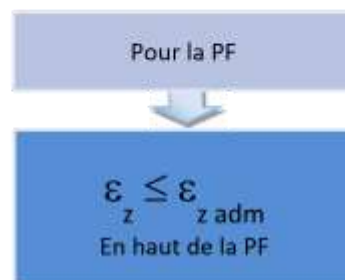


Création du modèle de la structure : GL/GL

- Trafic maximal des GL1 : Base : 150 PL/j
 Fondation : 750 PL/j
- Trafic maximal des GL2, GLli et GLa : 750 PL/j
- Epaisseur minimale de couche de surface bitumineuse :
 $100\,000 \leq NE < 3 \cdot 10^6$: 6cm $3 \cdot 10^6 \leq NE < 10 \cdot 10^6$: 8cm
- Epaisseur de GL en couche de base définie forfaitairement par rapport au trafic :
 - 15 cm jusqu'à un trafic NE de 100 000 essieux
 - 20 cm au-delà
- Epaisseur de mise en œuvre : Couches de 10 à 30 cm
- Dimensionnement sur l'épaisseur de la GL de Fondation, avec :



Critères à vérifier:



Annexe 3: Etude hydrologique et hydraulique

1- Méthode rationnelle

$$Q_{r10} = 0,278 \times C \times I \times A$$

 Détermination de l'intensité

L'intensité i de la pluie est déterminé à partir des courbes (idf) intensité-durée-fréquence. Pour notre étude ces courbes n'étaient pas disponibles par conséquent, nous avons utilisé la formule de montana qui s'écrit sous la forme :

$$i = a \times t^{-b}$$

Où a et b représentent les coefficients de montana, Ces coefficients sont donnés en fonction de la ville où se situe le projet et de la période de retour souhaitée. Pour notre projet, une période de retour de 10 ans a été retenue. Selon le manuel Cieh pluie durée fréquence, les coefficients de montana de la ville de Boromo pour une période de retour de 10 ans sont donnés dans le tableau 3-1 :

Tableau 3-1 : Coefficient de montana [13]

1H	10 ans	a	b
		10	-0,4

 Le temps de concentration T_c

C'est le temps que met la goutte d'eau entre le point le plus éloigné et l'exutoire, Il est déterminé à travers la formule de Kirpich et la formule de Richard. Dans le cadre de ce projet, nous avons utilisé la formule de Kirpich

$$T_c = \frac{1}{52} \times \frac{L^{0,77}}{P^{0,38}}$$

Avec : T_c : temps de concentration en minutes ;

L : distance entre l'exutoire et le point le plus éloigné en mètre ;

P : pente du bassin versant

Tableau 3-2 : Débit obtenu par la méthode rationnelle

BV	Surface en km ²	Périmètre en km	Pente (m/m)	Longueur d'écoulement	Indice de compacité	Longueur du rectangle	Temps de concentration	Intensité (mm/h)	Débits (m ³ /s)
BV2	1,355	5,83	0,0303	2590	1,412	3083,914	30,852	152,207	7,454
BV3	0,548	3,367	0,0191	1016	1,283	2101,589	17,886	189,298	3,749
BV4	0,4235	3,085	0,0161	996	1,337	2106,840	18,796	185,578	2,840
BV7	1,055	4,945	0,0198	2036	1,358	2714,497	30,132	153,653	5,858
BV9	0,502	3,749	0,0163	1610	1,492	2636,475	27,078	160,362	2,909
BV10	1,022	5,771	0,0247	1927	1,610	3578,660	26,554	161,621	5,970

2- Méthode ORSTOM

❖ Coefficient d'abattement A

C'est un coefficient qui p

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

Tableau 3-3 : Calcul du coefficient d'abattement

Calcul du coefficient d'abattement			
BV	Superficie (km ²)	Pluie annuelle pan (mm)	Coefficient d'abattement A
BV1	12,565	862	0,863
BV6	20,369	862	0,837
BV5	29,821	862	0,816
BV8	8,508	862	0,884

❖ Analyse fréquentielle (détermination de la pluie maximale journalière P10)

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique utilisée pour étudier le comportement des événements passés dans le but d'estimer la probabilité d'apparition future. Cette analyse fréquentielle se déroule en plusieurs étapes essentielles :

- Classement des valeurs selon un ordre afin de leur attribuer un rang
- Calcul des fréquences expérimentales de chaque pluie à l'aide d'une formule statistique notamment celle de Hazen : $F = \frac{(r-0,5)}{N}$ où r est le rang et N le nombre d'échantillon
- Synthèse statistique qui comprend la moyenne arithmétique, la variance, l'écart type et le coefficient de variation
- Calcul des paramètres de distribution
- Ajustement des données selon la loi de Gumbel
- Détermination des intervalles de confiance

Nous avons fait usage du logiciel Hyfran plus pour faire l'analyse fréquentielle en utilisant les données de la pluviométrie moyenne annuelle de la station de Boromo.

Tableau 3-4 : Données pluviométriques de la station de Boromo

Pjmax	Année
69.2	1980
79.1	1981
44.8	1982
54.8	1983
47.6	1984
79.6	1985
53.6	1986
50.5	1987
70.6	1988
49	1989
36	1990
98.5	1991
54.6	1992
124	1993
89.6	1994
47.4	1995
72	1996
82	1997
122.5	1998
119.1	1999
44.2	2000

63.3	2001
47.5	2002
77.7	2003
52.4	2004
55.9	2005
50.6	2006
66.4	2007
134.4	2008
48.4	2009
56.7	2010
105.1	2011

➤ Résultats de l'analyse fréquentielle

Tableau 3-4 : Résultats de l'analyse fréquentielle

T	q	XT	Ecart type	Intervalle de confiance (95%)
10000.0	0.9999	231	25.7	181 - 282
2000.0	0.9995	201	21.5	159 - 243
1000.0	0.9990	188	19.7	149 - 227
200.0	0.9950	158	15.5	127 - 188
100.0	0.9900	145	13.7	118 - 171
50.0	0.9800	132	11.9	108 - 155
20.0	0.9500	114	9.52	95.5 - 133
10.0	0.9000	101	7.76	85.4 - 116
5.0	0.8000	86.5	6.02	74.7 - 98.3
3.0	0.6667	75.3	4.78	65.9 - 84.7
2.0	0.5000	65.2	3.88	57.6 - 72.8
1.4286	0.3000	54.9	3.36	48.3 - 61.5
1.2500	0.2000	49.4	3.33	42.9 - 55.9
1.1111	0.1000	42.7	3.52	35.8 - 49.6
1.0526	0.0500	37.8	3.81	30.3 - 45.2
1.0204	0.0200	32.7	4.20	24.5 - 41.0
1.0101	0.0100	29.7	4.48	20.9 - 38.5

1.0050	0.0050	27.1	4.74	17.8 - 36.3
1.0010	0.0010	22.1	5.27	11.7 - 32.4
1.0005	0.0005	20.3	5.47	9.56 - 31.0
1.0001	0.0001	16.7	5.88	5.14 - 28.2

➤ Analyse et interprétation

Les résultats obtenus dans le tableau ci-après montrent les hauteurs de pluies estimées pour différentes périodes de retour. Il ressort que la hauteur de pluie évolue de manière progressive avec la période de retour passant de 86,5 mm pour une période de retour de 5 ans à 145 mm pour une période de retour de 100 ans. Cette évolution se justifie par la rareté croissante des pluies intenses, ce qui correspond au comportement naturel attendu des événements hydrologiques extrêmes. Ainsi, la pluie décennale est estimée à 101 mm pour une période de retour de 10 ans.

L'intervalle de confiance à 95% associé à chaque valeur montre le niveau d'incertitude des estimations. Plus la période de retour est grande, plus l'incertitude augmente légèrement ce qui est d'ailleurs normal compte tenu du faible nombre d'observations disponibles pour les événements rares. Toutefois, les intervalles de confiance restent raisonnables ce qui traduit une bonne stabilité du modèle.

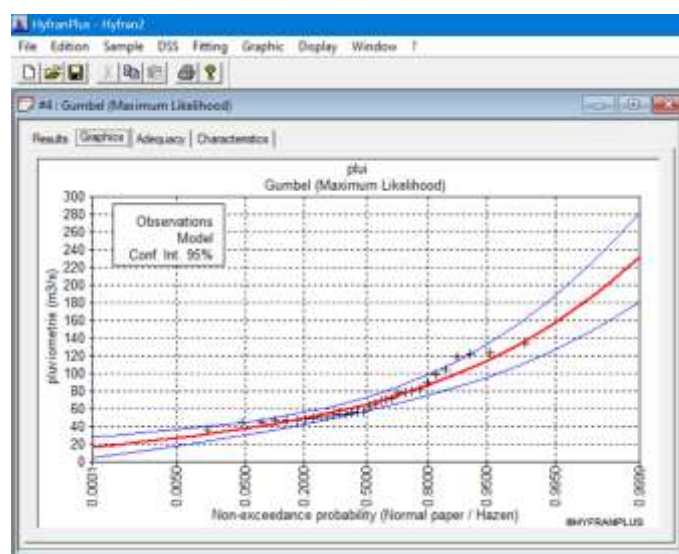


Figure 3-1 : Ajustement des pluies journalières et annuelles par la loi de Gumbel

➤ Analyse et interprétation des résultats

La figure ci-dessous montre une bonne concordance entre les données observées et la courbe théorique de la loi de Gumbel. Ce qui montre que la loi de Gumbel est la plus appropriée pour la modélisation fréquentielle des pluies fréquentielles.

❖ Indice de compacité

L'indice de compacité permet de déterminer la forme du bassin versant. En d'autres termes, la manière dont la surface du bassin versant est répartie autour de son point d'exutoire, Il est défini par la formule :

$$I_{com} = 0,282 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

On classe la forme du bassin suivant le coefficient de compacité de Gravelius KG. Ainsi,

Pour : $I_{com} < 1$, nous avons un bassin ramassé

$I_{com} > 1$, nous avons un bassin allongé

Tableau 3-5 : Détermination de l'indice de compacité

BV	Surface (km ²)	Périmètre (km)	PENTE %	Indice de compacité
BV1	12,565	22,382	2,77	1,781
BV6	20,369	30,187	1,96	1,886
BV5	29,821	36,692	2,48	1,895
BV8	8,508	15,588	1,71	1,507

❖ Rectangle équivalent

La longueur du rectangle équivalent est donnée par la formule ci-dessous :

$$L = \frac{I_{com}\sqrt{S}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{I_{com}} \right)^2} \right]$$

Tableau 3-5 : Détermination de la longueur du rectangle équivalent

BV	Surface (km ²)	Périmètre (km)	PENTE %	Indice de compacité	Longueur rectangle équivalent (km)
BV1	12,565	22,382	2,77	1,781	5,959
BV6	20,369	30,187	1,96	1,886	8,134
BV5	29,821	36,692	2,48	1,895	9,896
BV8	8,508	15,588	1,71	1,507	4,018

❖ Indice global de pente Ig

C'est un indice qui permet de caractériser le relief du bassin versant. Il est déterminé à travers la formule suivante :

$$Ig = \frac{D}{L} \quad (\text{m/km}) \text{ où}$$

D : représente la dénivelée séparant les altitudes ayant approximativement 5% et 95% de la surface du bassin au-dessus d'elles. Ces altitudes sont déterminées sur la courbe hypsométrique

Le tableau ci-dessous présente les résultats de calcul de l'indice global de pente

Tableau 3-6 : détermination de Ig

Calcul de l'indice global de pente Ig											
BV	Surface (km ²)	Périmètre (km)	PENTE %	Indice de compacité	Longueur rectangle équivalent (km)	Alt 5%	Alt 95%	Indice global de la pente Ig	Indice de pente transversale It	n	Indice de pente global corrigé Icor (m/km)
BV1	12,565	22,382	2,77	1,781	5,959	360,641	306,344	9,111	27,7	3	15,307
BV6	20,369	30,187	1,96	1,886	8,134	355,104	292,266	7,726	19,6	3	11,684
BV5	29,821	36,692	2,48	1,895	9,896	361,8115	292,3135	7,023	24,8	3	12,949
BV8	8,508	15,588	1,71	1,507	4,018	313,0385	278,9915	8,473	17,1	2	12,786

❖ Coefficient de ruissellement de la crue décennale

Le coefficient de ruissellement Kr_{10} est déterminé par interpolation linéaire entre les valeurs Kr_{70} et Kr_{100} pour une précipitation décennale ponctuelle P_{10} différente de 70 mm et 100 mm. Ces valeurs sont déterminées en fonction de la superficie du bassin versant, de l'infiltrabilité du sol et de l'indice global de pente à travers les formules analytiques ci-dessous :

$$K_{r70} \text{ ou } K_{r100} = \frac{a}{(S + b)} + c$$

Les tableaux 3-7 et 3-8 nous donnent les valeurs de a, b et c en fonction de l'infiltrabilité et de l'indice global de pente.

Tableau 3-7 : Paramètre de l'équation de détermination de Kr_{70} pour la zone tropicale sèche [5]

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

Tableau 3-8 : paramètre de l'équation de détermination de Kr_{100} [5]

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

Le tableau 3-9 présente les résultats de calcul du coefficient de ruissellement Kr10

Tableau 3-9 : Détermination du coefficient Kr10

Détermination de coefficient Kr10						
BV	Superficie (km ²)	Indice de pente global corrigé Icor	Kr70 (%)	K100 (%)	P10	Kr10 (%)
BV1	12,565	9,111	25,891	29,221	101	29,332
BV6	20,369	7,726	23,857	27,281	101	27,395
BV5	29,821	7,023	22,527	26,028	101	26,144
BV8	8,508	8,473	26,428	29,375	101	29,474

❖ Temps de base Tb

Le temps de base est le temps compris entre le début et la fin du ruissellement rapide. Pour la région tropicale sèche, Tb10 se calcule à partir de la formule suivante :

$$T_b = a \times S^{0,36} + b$$

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

$$I_g = 1; T_{b10} = 560 \times S^{0,36} + 400$$

$$I_g = 3; T_{b10} = 325 \times S^{0,36} + 315$$

$$I_g = 7; T_{b10} = 163 \times S^{0,36} + 142$$

$$I_g = 10; T_{b10} = 95 \times S^{0,36} + 80$$

$$I_g = 15; T_{b10} = 75 \times S^{0,36} + 55$$

$$I_g = 25; T_{b10} = 44 \times S^{0,36} + 28$$

$$I_g = 30; T_{b10} = 35 \times S^{0,36} + 20$$

Pour ce qui est de notre étude, les temps de base ont été obtenus par interpolation linéaire entre le temps de base calculée pour une pente égale à 7 et pour une pente égale à 10.

Le tableau 3-10 nous présente les résultats de calcul du temps de base

Tableau 3-10 : Détermination du temps de base Tb10

Détermination du temps de base Tb10					
BV	Superficie (km ²)	Indice de pente global corrigé Icor	a	b	Tb10 (min)
BV1	12,565	9,111	115,150	98,372	384,764
BV6	20,369	7,726	146,551	127,002	560,729
BV5	29,821	7,023	162,477	141,523	693,116
BV8	8,508	8,473	129,616	111,561	391,715

❖ Coefficient de pointe décennal α_0

Selon, le manuel Crues et apports, α_0 est pris égal à 2,6 [5] quel que soit la superficie du bassin.

Tableau 3-11 : Débit obtenu par la méthode ORSTOM

Calcul de crue décennale Q10							
BV	Superficie (m ²)	Coefficient d'abattement A	Kr10	P10 (m)	Coefficient de pointe (alpha10)	Tb10 (s)	Débit Q10 (m ³ /s)
BV1	12565000	0,863	0,293	0,101	2,6	23085,868	36,172
BV6	20369000	0,837	0,274	0,101	2,6	33643,764	36,439
BV5	29821000	0,816	0,261	0,101	2,6	41586,987	40,172
BV8	8508000	0,884	0,295	0,101	2,6	23502,875	24,767

3- Méthode CIEH

$$Q_{10} = a \times S^s \times P_{an}^p \times I_g^i \times K_{r10}^k \times D_d^d$$

Le tableau ci-dessous nous donne les coefficients des équations pour le Burkina Faso

Tableau 3-12 : Coefficients des équations

Equations	a	s	i	k	p
39	0,41	0,425		0,923	-
40	0,254	0,462	0,101	0,976	-
41	0,407	0,532		0,941	-
42	0,0912	0,643	0,399	1,019	-

43	35600	0,342	-	-	-1,808
44	203	0,459	-	0,813	-1,301
45	22400	0,363	0,059	-	-1,748

Tableau 3-13 : Débit obtenu par la méthode CIEH

BV	Superficie (km ²)	Indice de pente global	Kr10 (%)	Coefficient d'abattement A	P10 (mm)	Pm10	EQ39	EQ40	EQ41	EQ42	EQ43	EQ44	EQ45	Débit Q(m3/s)
BV1	12,565	9,11	29,33	0,86	101	87,15	27,18	27,65	37,59	35,06	26,27	30,25	25,96	29,99
BV6	20,369	7,73	27,39	0,84	101	84,50	31,34	31,80	45,58	41,78	32,76	37,18	32,33	36,11
BV5	29,821	7,02	26,14	0,82	101	82,41	35,29	35,89	53,43	49,00	39,05	44,05	38,57	42,18
BV8	8,508	8,47	29,47	0,88	101	89,28	23,13	23,03	30,69	26,64	22,00	24,60	21,51	24,52

4- Méthode Caquot

$$Q_p = m \times k_u^{\frac{1}{u}} \times I_v^{\frac{v}{u}} \times C_u^{\frac{1}{u}} \times A^{\frac{w}{u}}$$

Où :

Q_p [m3/s] : débit de pointe maximal

I [m/m] : pente moyenne du bassin versant

C : coefficient de ruissellement

A [ha] : superficie du bassin versant

K , u , v et w sont des coefficients à déterminer en fonction de la zone géographique et de la période de retour,

$$m = \left(\frac{Meq}{2} \right)^{0,7 \times b}$$

$$u = 1 + 0,287 \times b$$

$$v = -0,41 \times b$$

$$w = 0,95 + 0,507 \times b$$

$$C = \left(\frac{\sum C_j \times A_j}{\sum A_j} \right)$$

Les résultats des débits estimés sont présentés dans le tableau ci-dessous

Tableau 3-14 : Estimation du débit par la méthode Caquot

SBV	Assemblage	Superficie (km ²)	Superficie A _j (ha)	Superficie cumulée A _{eq} = ΣA _j (ha)	Périmètre (km)	Pente (m/m)	Indice de compacité	Coefficient de ruissellement	Chemin hydraulique L _j (hm)	Leq = ΣL _j (hm)	M _j = L _j /√A _j	Meq = ΣL _j /√ΣA _j
SBV2-1	SBVeq1 = SBV2-1	0,03157	3,157	3,157	1,118	0,0199	1,77	0,13	0,91	0,91	0,51	0,51
SBV1	SBVeq2 = SBV1	0,01236	1,236	1,236	0,58807	0,0068	1,49	0,13	0,68	0,68	0,61	0,61
SBV2	SBVeq1 = SBV1+SBV2	0,02677	2,677	3,913	1,197	0,0058	2,06	0,13	0,71	1,39	0,43	0,70

Coefficient de montana				c	d	f	e	β+δ					
	a	b	-0,41	0,507	-0,287	0,05	1,4						
	10	-0,4	Qp = m*(K^1/u) * (I^v/u)*(C^1/u)*(A^w/u)										
SBV	μ = 0,84b/1+0,287b	u = 1+0,287b	v = -0,41b	w = 0,95+0,507b	Mj # 2 mj = (Mj/2)^(0,7*b)	Meq # 2 m = (Meq/2)^(0,7*b)	K = 0,5^b*a/6,6	C = Ceq =(ΣCj*Aj)/ΣAj	Ieq = (ΣLj)^2/(Σ(Lj/√Ij))^2	Qj (m3/s)	ΣQj (m3/s)	Qeq (m3/s)	Qp (m3/s)
SBV 2-1	-0,38	0,89	0,16	0,75	1,68	1,68	2,00	0,13	0,02	0,47	0,47	0,47	0,47

SBV													
1	-0,38	0,89	0,16	0,75	1,57	1,57	2,00	0,13	0,01	0,16	0,16	0,16	0,16
SBV													
2	-0,38	0,89	0,16	0,75	1,78	1,49	2,00	0,13	0,01	0,35	0,51	0,40	0,51

Tableau 3-15 : Détermination des sections hydrauliques

Ouvrage de Franchissement : Dalots																					
Bassin Versant	BV1	BV2			BV3		BV4		BV5			BV6			BV7		BV8	BV9	BV10		
	OH1	OH2	OH3	OH4	OH5	OH6	OH7	OH8	OH9	OH10	OH11	OH12	OH13	OH14	OH15	OH16	OH17	OH18	OH19	OH20	OH21
Débit à évacuer Q10 (m3/s)	33,083	2,485	2,485	2,485	1,250	2,499	2,005	0,835	13,726	13,726	13,726	12,092	12,092	12,092	1,953	1,953	1,953	24,641	2,909	2,985	2,985
Pesanteur g(m²/s)	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
Vitesse admissible Vadm(m/s)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Nombre de Cellule n	4	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	3	1	1	1
Débit par cellule Q10/n (m3/s)	8,271	2,485	2,485	2,485	1,250	2,499	2,005	0,835	6,863	6,863	6,863	6,046	6,046	6,046	1,953	1,953	1,953	8,214	2,909	2,985	2,985
Hauteur du dalot D(m)	2	1,2	1,2	1,2	1	1	1,2	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1	1	1,5	1,2	1,2	1,2
Largeur d'une cellule B(m)	3,5	2	2	2	1	2	2	1	3	3	3	3	3	3	1,5	1,5	1,5	3,5	2	2	2
Calcul de la hauteur d'eau en amont H1 (m)																					

Débit réduit Q*(m3/s)	0,189	0,213	0,213	0,213	0,282	0,282	0,172	0,189	0,281	0,281	0,281	0,248	0,248	0,248	0,294	0,294	0,294	0,288	0,250	0,256	0,256
Hauteur réduite H* (abaque 77 du BCEOM) (m)	0,62	0,661	0,661	0,661	0,82	0,82	0,58	0,62	0,82	0,82	0,82	0,758	0,758	0,758	0,84	0,84	0,84	0,84	0,758	0,77	0,77
Hauteur d'eau en amont H1(m)	1,24	0,793 2	0,7932	0,793 2	0,82	0,82	0,696	0,62	1,23	1,23	1,23	1,137	1,137	1,137	0,84	0,84	0,84	1,26	0,9096	0,924	0,924
Vérification (H1/D ≤ 1,25)	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Revanche r (≥ 0,5) = (D - H1) (m)	0,76	0,406 8	0,4068	0,406 8	0,18	0,18	0,504	0,38	0,27	0,27	0,27	0,363	0,363	0,363	0,16	0,16	0,16	0,24	0,2904	0,276	0,276
Détermination de la pente longitudinale critique Ic (I du projet ≥ Ic trouvée)																					
Débit réduit Q*(m3/s)	0,115	0,140	0,140	0,140	0,399	0,141	0,113	0,267	0,141	0,141	0,141	0,124	0,124	0,124	0,226	0,226	0,226	0,114	0,164	0,168	0,168
Pente critique réduite Ic* (abaque 82 du BCEOM) (m)	2,7	2,75	2,75	2,75	3,25	2,75	2,7	3	2,75	2,75	2,75	2,7	2,7	2,7	2,9	2,9	2,9	2,7	2,78	2,8	2,8
Coefficient de rugosité Ks	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
Pente critique Ic	0,004	0,005	0,005	0,005	0,007	0,005	0,005	0,007	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,006	0,006	0,006	0,004	0,005	0,005	0,005
Détermination de la vitesse d'écoulement Vmax																					
Débit réduit Q*(m3/s)	0,070	0,085	0,085	0,085	0,221	0,085	0,069	0,154	0,085	0,085	0,085	0,075	0,075	0,075	0,133	0,133	0,133	0,070	0,098	0,101	0,101

Vitesse réduite V* (abaque 84 du BCEOM) (m/s)	0,294	0,305	0,305	0,305	0,405	0,317	0,294	0,377	0,317	0,317	0,317	0,317	0,305	0,305	0,305	0,405	0,405	0,405	0,294	0,328	0,328	0,328
Vitesse de sortie V (m/s)	2,831	2,240	2,240	2,240	2,287	2,328	2,140	2,045	2,852	2,852	2,852	2,852	2,719	2,719	2,719	2,646	2,646	2,646	2,831	2,422	2,431	2,431
Vérification de la vitesse	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Section retenue	4 x 3,5 x 2	1 x 2 x 1,2	1 x 2 x 1,2	1 x 2 x 1,2	1 x 1 x 1	1 x 2 x 1	1 x 2 x 1,2	1 x 1 x 1	2 x 3 x 1,5	2 x 3 x 1,5	2 x 3 x 1,5	2 x 3 x 1,5	2 x 3 x 1,5	2 x 3 x 1,5	2 x 3 x 1,5	1 x 1,5 x 1	1 x 1,5 x 1	1 x 1,5 x 1	3 x 3,5 x 1,5	1 x 2 x 1,2	1 x 2 x 1,2	1 x 2 x 1,2

Tableau 3-16 : Dimensionnement des fossés trapézoïdaux

Dimensionnement Hydraulique des fossés trapézoïdaux : Méthode de la Débitance																			
Bassins Versants	Assemblage	$Q_p = K_s \times S \times R H^{2/3} \times I^{1/2}$							$Q = K_s \times S \times R^{2/3} \times I^{1/2}$	Q_p (m ³ /s)	$D = K_s \times S \times R^{2/3}$	$Q/I^{1/2}$	$K = D - Q/I^{1/2}$	Sections adoptés (m)			Revanche (m)	Vitesse (m/s)	Vérification
		Ks	b	Y	S (m ²)	P(m)	RH (m)	I						b	H	B		V (m/s)	
Série 1	SBVeq1 = SBV2-1	60	0,70	0,55	0,46	1,93	0,24	0,005	0,75	0,47	10,63	6,61	4,0195	0,70	0,70	1,20	0,15	1,53	Vérifiée
Série 2	SBVeq1 = SBV1	60	0,70	0,50	0,41	1,82	0,23	0,005	0,65	0,16	9,21	2,30	6,9107	0,70	0,65	1,20	0,15	1,43	Vérifiée
	SBVeq2 = SBV1+SBV2	60	0,70	0,55	0,46	1,93	0,24	0,005	0,76	0,51	10,69	7,24	3,4568	0,70	0,70	1,20	0,15	1,54	Vérifiée

Annexe 4: Dimensionnement structurel du dalot 4X350X200

 Classe d'exposition de l'ouvrage

Tableau 4-1 : Classe d'exposition de l'ouvrage

Classe d'exposition		Caractéristiques de l'environnement
Pas de risque d'attaque ni de corrosion	XC0	Très sec, taux d'humidité très faible
Carbonatation provoquant la corrosion du béton	XC1	Toujours sec ou humide
	XC2	Plus souvent humide, quelque fois sec
	XC3	Modérément humide
	XC4	Alternativement humide ou sec
Exposition au gel/dégel avec ou sans agent de déverglaçage	XF1	Faible exposition au gel sans agents antigel
	XF2	Faible exposition au gel avec agents antigel
	XF3	Forte exposition au gel sans agents antigel
	XF4	Forte exposition au gel avec agents antigel

A partir de cette classe obtenue, nous allons déterminer la classe du béton ainsi que la quantité du liant qu'il va contenir.

Tableau 4-2 : Classe du béton

	X0	XC1/XC2	XF1, XC3, XC4, XD1	XF2	XF3	XF4
$E_{eff}/\text{liant } \acute{e}q, \text{ maxi}$	-	0,65	0,60	0,55	0,55	0,45
Résistance mini	-	C20/25	C25/30	C25/30	C30/37	C30/37
Liant $\acute{e}q, \text{ mini}$	150	260	280	300	315	340
Air mini	-	-	-	4	4	4
Additions maxi	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Nature ciment	-	-	-	-	-	-

L'ouvrage à dimensionner se trouve dans un environnement alternativement humide ou sec qui appartient à la classe d'exposition XC4. Ainsi, nous avons un béton de classe C25/30 avec les différentes caractéristiques mécaniques suivantes.

Tableau 4-3 : Caractéristiques mécaniques du béton

	XC4
E _{Eff} /liant éq, maxi	0,60
Résistance mini	C25/30
Liant éq, mini	280
Air mini	-
Additions maxi	0,30
Nature du ciment	-

➤ Calcul de l'enrobage selon le logiciel LEO

L'enrobage est assimilable à la profondeur de carbonatation et est indispensable dans la durabilité des ouvrages. Il est prédit selon le logiciel LEO à travers la relation suivante :

$$X(t) = \gamma \times f(HR) \times k \times \sqrt{t}$$

Avec :

X(t) : l'enrobage minimale ;

t : la durée de vie (10 ans pour ce projet) ;

γ : le coefficient d'exposition à la carbonatation ($\gamma = 0,9$ dans le cadre de ce projet définit dans le tableau ci-dessous)

Tableau 4-4 : Coefficient d'exposition à la carbonatation

Type d'ouvrage	Coefficient d'exposition à la carbonatation
Structure est soumise aux hautes concentrations de CO ₂	1,5
Structures abritées contre la pluie	1,2

Structures particulièrement exposées à la pluie	0,9
---	-----

$k = \sqrt{365} \times \left(\frac{1}{2,1 \times \sqrt{Rc28}} - 0,06 \right)$ est le coefficient du transport du béton et la formule est applicable si $Rc28 < 63 \text{ MPa}$.

$f(HR)$: facteur de l'humidité relative et est déterminé par la relation suivante :

$$f(HR) = -3,5833 HR^2 + 3,4833 HR + 0,2$$

Dans le cadre de ce projet, HR est estimé à 40%

Tableau 4-5 : Détermination de l'enrobage

t (an)	15
HR	0,4
f(HR)	1,019992
Rc28	25
γ	0,9
k	0,6732229
e	2,3935569

L'enrobage est pris égal à 3 cm.

Détermination des charges

❖ Charges permanentes

Ses charges sont dues au poids propre de l'ouvrage ainsi que l'ensemble des équipements qui se trouve sur l'ouvrage. Pour cet ouvrage, les charges permanentes à prendre en compte sont le poids propre du tablier et la hauteur du remblai au-dessus du tablier.

Les charges permanentes à prendre en compte sont :

Remblai au-dessus du dalot : $e_p = 108 \text{ cm} \rightarrow G1$

Poids propre du tablier : $e_p 30 \text{ cm} \rightarrow G2$

Estimation des charges

$$G1 = 20 \times 1,08 \times 12 = 259,2 \text{ kN/ml}$$

$$G2 = 25 \times 0,30 \times 12 = 90 \text{ kN/ml}$$

$$G = 259,2 + 90 = 349,2 \text{ kN/ml}$$

❖ Surcharges routières

Système A

Le système A est une charge uniforme dont l'intensité est égale au produit de la valeur $A(l)$, Ce système dépend de la longueur (l) chargée et des facteurs a_1 et a_2 qui sont fonction de la classe de l'ouvrage et du nombre de voie chargée. Il est déterminé à partir de l'expression suivante :

$$A(l) = 230 + \frac{36000}{l+12} \times a_1 \times a_2 \text{ et s'exprime en kg/m}^2$$

Avec $l = 15,5\text{m}$

Détermination de a_1 et a_2

$$\text{On a } \begin{cases} \text{ouvrage de 1ère classe} \\ n = 4 \text{voies} \end{cases} \Rightarrow a_1 = 0,75$$

$$a_2 = \frac{V_0}{V}$$

Avec $V_0 = 3,5$ pour les ouvrages de première classe

V étant la largeur de la voie

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

$$A(l) = 230 + \frac{36000}{15,5 + 12} \times 0,75 \times 1,17 \Rightarrow A(l) = 1378,73 \text{ kg/m}^2$$

$$\Rightarrow A(l) = 13,79 \text{ kN/m}^2$$

Système B

❖ Convoi Bc

Le sous-système Bc est composé de trois essieux à roue simple avec une masse unitaire de 300 kN.

La masse du camion type Bc est de 30t

Masse portée par chacun des essieux arrière : 12t

Masse portée par l'essieu avant : 6t

Longueur d'encombrement : 10,50 m

Largeur d'encombrement : 2,50 m

Distance des essieux arrière : 1,50 m

Distance de l'essieu avant au premier essieu arrière : 4,50 m

Surface d'impact d'une roue arrière : 0,25 x 0,25 m²

Surface d'impact d'une roue avant : 0,20 x 0,20 m²

Dans le sens transversal, on dispose autant de file de camion qu'il y a de voie de circulation

Dans le sens longitudinal, le système se compose de deux camions types par file

Bc est multiplié par un coefficient bc=1,10 qui est fonction de la classe de l'ouvrage et du nombre de file.

Pour notre projet, nous avons 04 voies, alors nous allons considérer que le chargement sera composé de 04 files constituées de deux camions chacun.

$$S_{BC} = (120 \times 4 + 60) \times 4$$

$$S_{BC} = 2160 \text{ kN}$$

$$Q_{S(BC)} = 2160 \times 1,1 = 2376 \text{ kN}$$

❖ Convoi Bt

Le sous-système Bt est constitué de deux tandems et se compose de deux essieux à quatre roues par tandem. Le poids par essieu est de 160 kN, Il faut rappeler aussi que ce système Bt n'est applicable qu'aux ouvrages de Première et deuxième classe.

Masse portée par chaque essieu : 16t

Distance des deux essieux : 1,35m

Masse d'impact de chaque roue : 0,60 x 0,25 m²

Côté transversal mesure 0,60 m

Côté longitudinal mesure 0,25 m

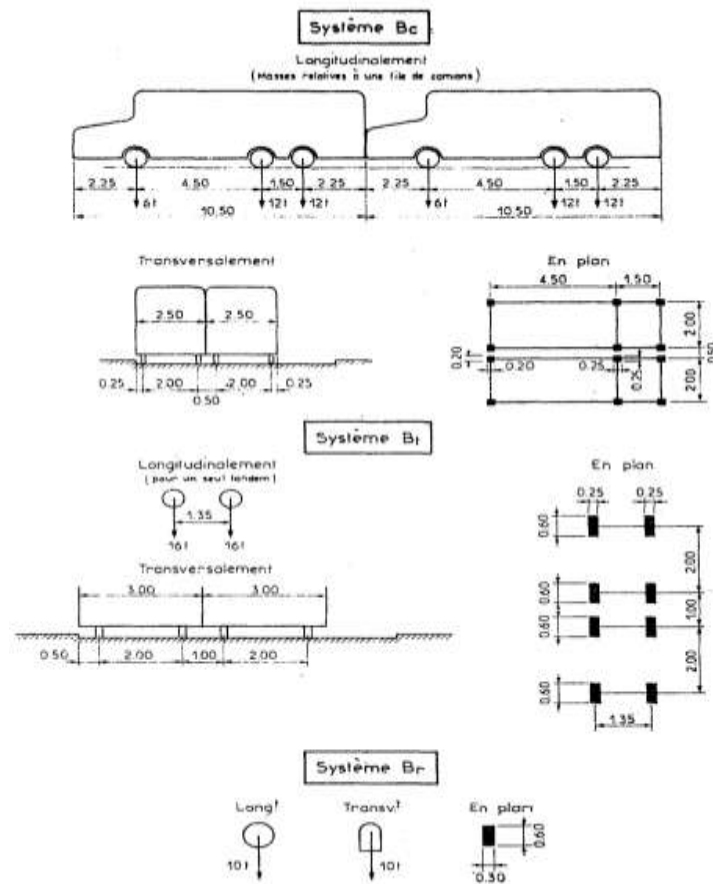
Bt est multiplié par un coefficient bt = 1 qui est fonction de la classe de l'ouvrage

$$S_{Bt} = 320 \times 2 = 640 \text{ kN}$$

❖ Convoi Br

Le sous-système Br est constitué d'une roue isolée portant une masse de 10 tonnes, Sa surface d'impact sur la chaussée est un rectangle uniformément chargé de 0,60 m du côté transversal et 0,30 m du côté longitudinal, Ce rectangle d'impact est orienté à l'axe longitudinal de la chaussée et peut être placé librement sur la largeur roulable.

$$S_{Br} = 100 \text{ kN}$$



✚ Surcharges militaires

Les véhicules militaires types sont les plus contraignants que les systèmes A et B pour les éléments de couverture comme les dalles ou d'ossature des tabliers.

❖ Convoi Mc 120

Ce type de convoi est constitué de deux chenilles et présente les caractéristiques suivantes :

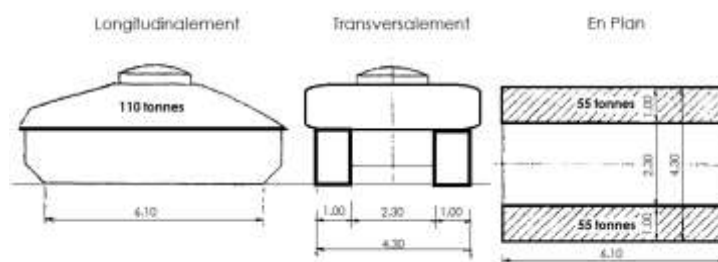
Masse totale : 110 t

Longueur d'une chenille : 6,10 m

Largeur d'une chenille : 1 m

Distance d'axe en axe des deux chenilles : 3,30 m

Le rectangle d'impact de chaque chenille est supposé uniformément chargé



Détermination de la surcharge militaire

$$S_{MC120} = 55 \times 2 = 110t = 1100kN$$

❖ Coefficient de majoration dynamique

Les charges du système B sont soumises à des coefficients de majoration dynamique et ce coefficient applicable aux trois systèmes Bc, Br et Bt est le même pour chaque élément d'ouvrage. Ce coefficient de majoration est déterminé à partir de l'expression suivante :

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

Avec L : la longueur de l'élément en mètre

G : sa charge permanente

S : sa charge B maximale

La valeur de S qu'on doit introduire dans la formule correspond à celle obtenue après multiplication du coefficient bc ou bt.

Pour $G = 349,2 \times 15,5 = 5412,6 \text{ kN}$

Système Bc

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 15,5} + \frac{0,6}{1 + 4 \times \frac{5412,6}{2160}}$$

$$\delta = 1,15$$

Système Bt

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 14} + \frac{0,6}{1 + 4 \times \frac{5412,6}{640}}$$

$$\delta = 1,11$$

Système Br

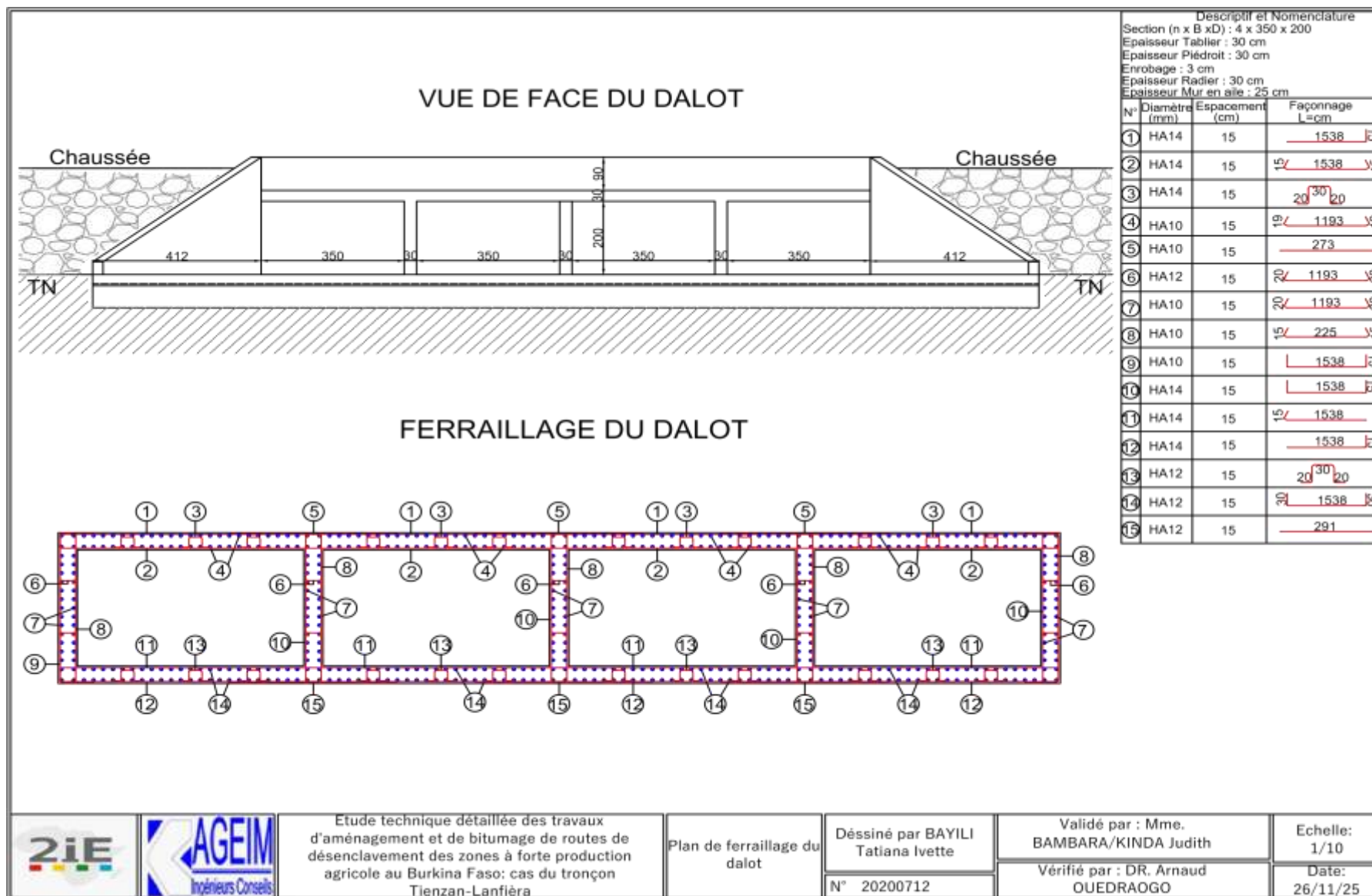
$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 14} + \frac{0,6}{1 + 4 \times \frac{5412,6}{100}}$$

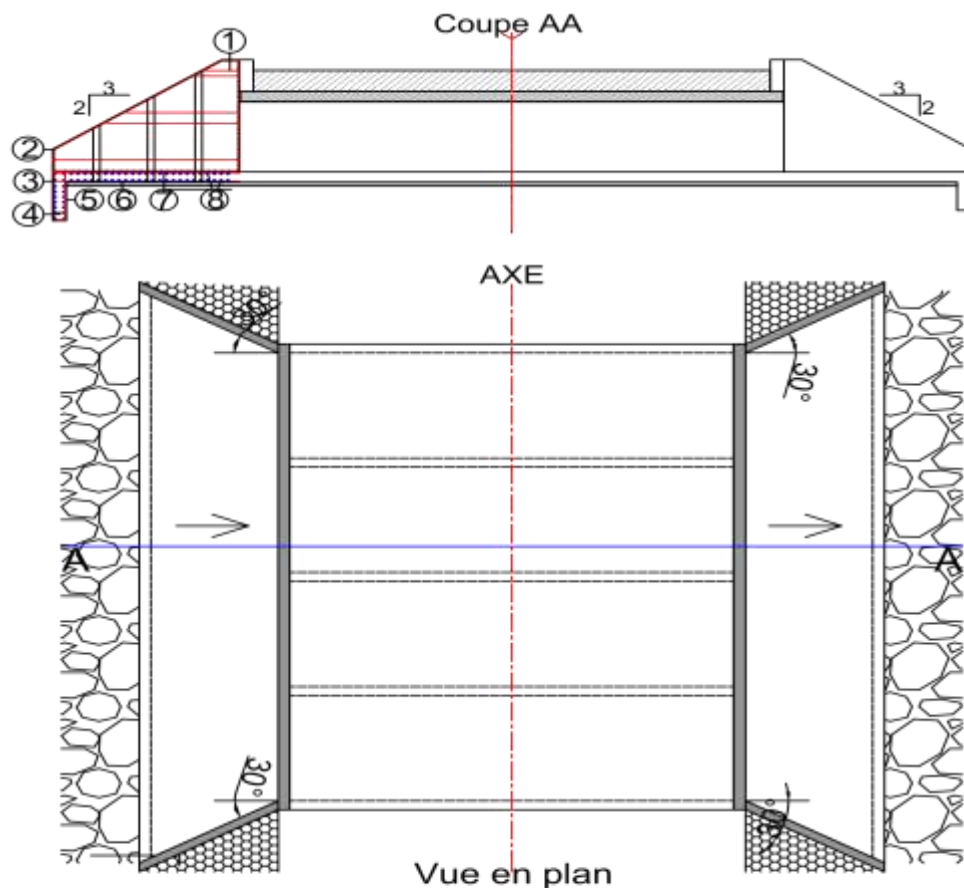
$$\delta = 1,10$$

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 15,5} + \frac{0,6}{1 + 4 \times \frac{3999}{1100}}$$

$$\delta = 1,13$$

Plan de ferrailage du dalot





Descriptif et Nomenclature			
Section (n x B x D) : 4 x 350 x 200		Enrobage : 3 cm	
Epaisseur Tablier : 30 cm			
Epaisseur Piedroit : 30 cm			
Epaisseur Radier : 30 cm			
Epaisseur Mur en aile : 25 cm			
N°	Diamètre (mm)	Espacement (cm)	Façonnage L=cm
①	HA10	15	15 1538 15
②	HA12	15	15 227
③	HA10	15	20 60
④	HA10	15	20 60 20
⑤	HA10	15	13 405 13
⑥	HA10	15	15 227
⑦	HA10	15	20 60
⑧	HA10	15	20 74 20

		Etude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage de routes de désenclavement des zones à forte production agricole au Burkina Faso: cas du tronçon Tienzan-Lanfièra	Coupe AA et vue en plan du dalot	Dessiné par BAYILI Tatiana Ivette	Validé par : Mme. BAMBARA/KINDA Judith Vérifié par : DR. Arnaud OUEDRAOGO	Echelle: 1/10
				N° 20200712		Date: 26/11/25

Note de calcul du dalot

1.- NORME ET MATÉRIAUX

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

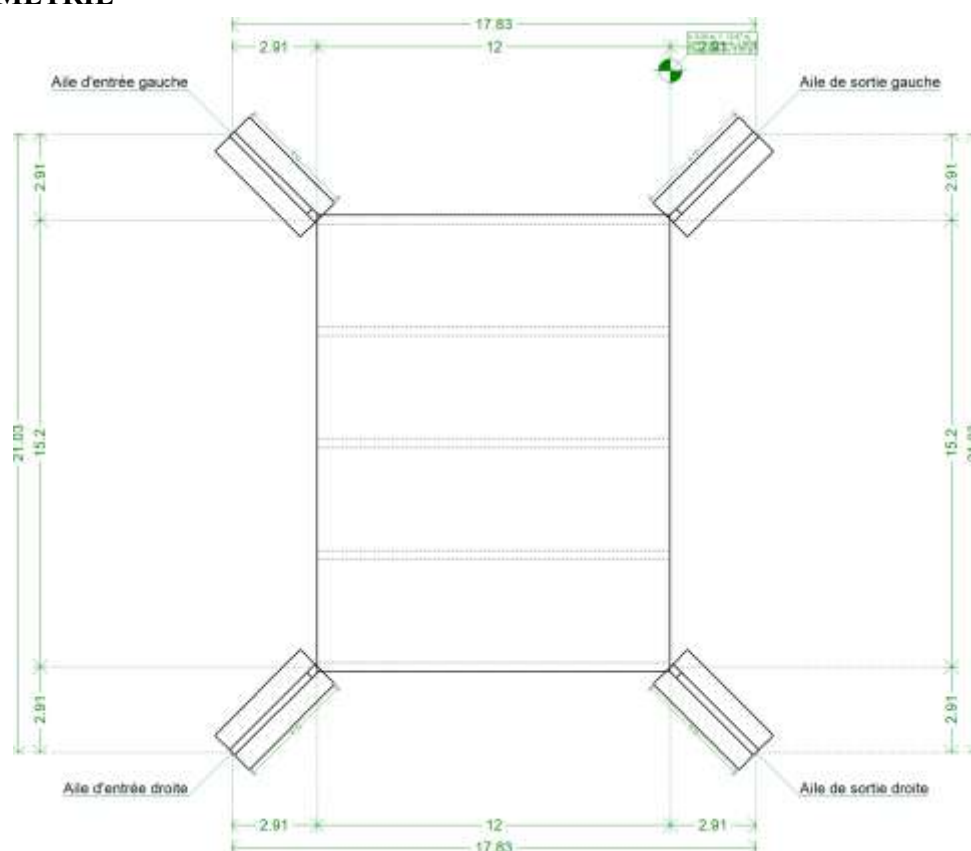
Béton: B25

Acier des barres: Fe E400

Enrobage extérieur: 3.0 cm

Enrobage intérieur: 3.0 cm

2.- GÉOMÉTRIE



Plan supérieur module: Par gabarit (2.00 m)

MODULE

Épaisseurs	Piédroits: 30 cm Tablier/radier: 30 cm
Cellule 1	Mesure de la portée: Perpendiculairement à la paroi gauche Portée à l'entrée: 350 cm Portée en sortie: 350 cm
Mur intermédiaire 1	Épaisseur: 30 cm

Cellule 2	Mesure de la portée: Perpendiculairement à la paroi gauche Portée à l'entrée: 350 cm Portée en sortie: 350 cm
Mur intermédiaire 2	Épaisseur: 30 cm
Cellule 3	Mesure de la portée: Perpendiculairement à la paroi gauche Portée à l'entrée: 350 cm Portée en sortie: 350 cm
Mur intermédiaire 3	Épaisseur: 30 cm

MUR EN AILE D'ENTRÉE GAUCHE

Longueur totale: 4.12 m
Longueur supérieure: 0.40 m
Épaisseur en extrémité: 0.30 m
Surcharge du terrain sur l'arrière: 7.00 kN/m²
Épaisseur du mur: 0.25 m
Épaisseur de la semelle: 0.30 m
Débords semelle:
- Arrière: 0.70 m
- Avant: 0.70 m

MUR EN AILE D'ENTRÉE DROITE

Longueur totale: 4.12 m
Longueur supérieure: 0.40 m
Épaisseur en extrémité: 0.30 m
Surcharge du terrain sur l'arrière: 7.00 kN/m²
Épaisseur du mur: 0.25 m
Épaisseur de la semelle: 0.30 m
Débords semelle:
- Arrière: 0.70 m
- Avant: 0.70 m

MUR EN AILE DE SORTIE GAUCHE

Longueur totale: 4.12 m
Longueur supérieure: 0.40 m
Épaisseur en extrémité: 0.30 m
Surcharge du terrain sur l'arrière: 7.00 kN/m²
Épaisseur du mur: 0.25 m
Épaisseur de la semelle: 0.30 m
Débords semelle:
- Arrière: 0.70 m
- Avant: 0.70 m

MUR EN AILE DE SORTIE DROITE

Longueur totale: 4.12 m
Longueur supérieure: 0.40 m
Épaisseur en extrémité: 0.30 m
Surcharge du terrain sur l'arrière: 7.00 kN/m²
Épaisseur du mur: 0.25 m
Épaisseur de la semelle: 0.30 m
Débords semelle:
- Arrière: 0.70 m
- Avant: 0.70 m

3.- TERRAINS

Module de réaction: 90000.0 kN/m³

Contrainte admissible sol d'assise: 150.00 kN/m²

Poids volumique: 20.0 kN/m³

Angle de frottement interne: 38 degrés

Cohésion: 0.00 kN/m²

Pourcentage de frottement terrain-mur: 0 %

Angle de transmission des charges: 30 degrés

4.- ACTIONS

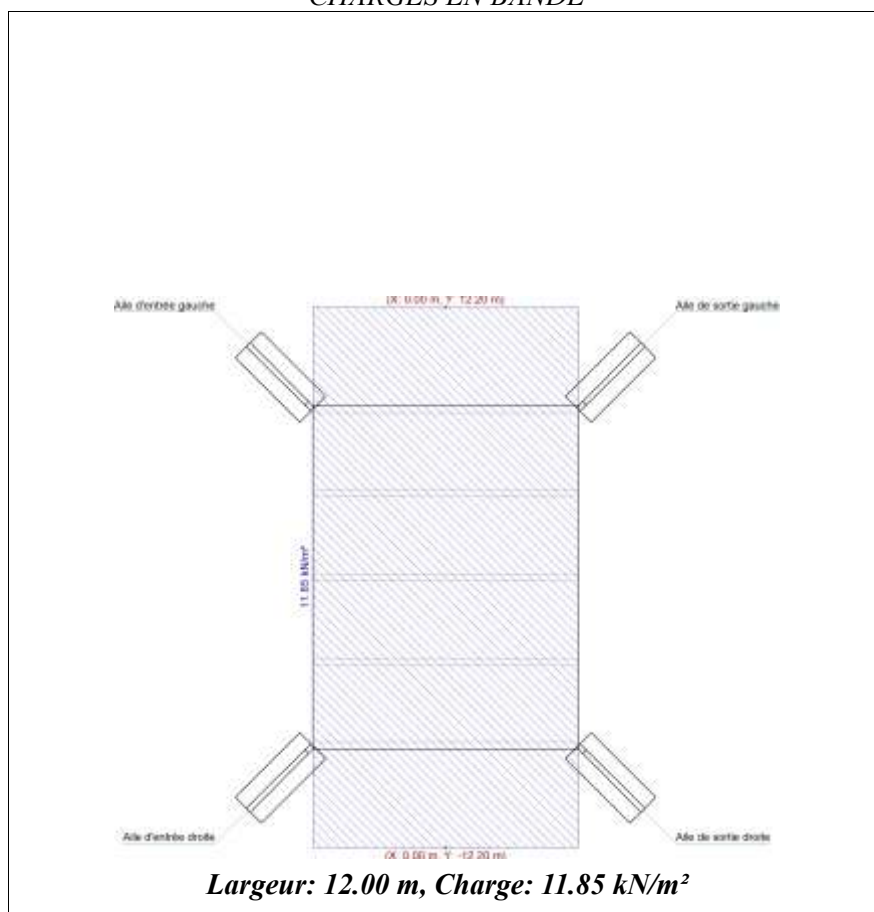
Sans surcharge supérieure

Sans surcharge inférieure

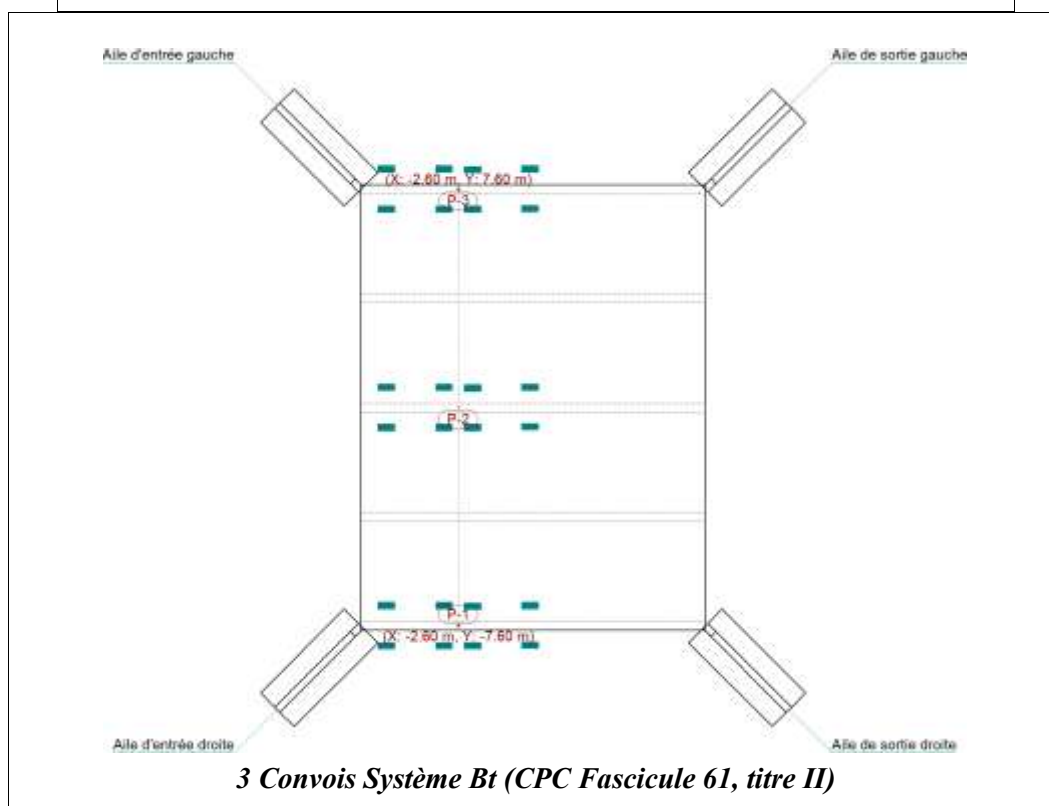
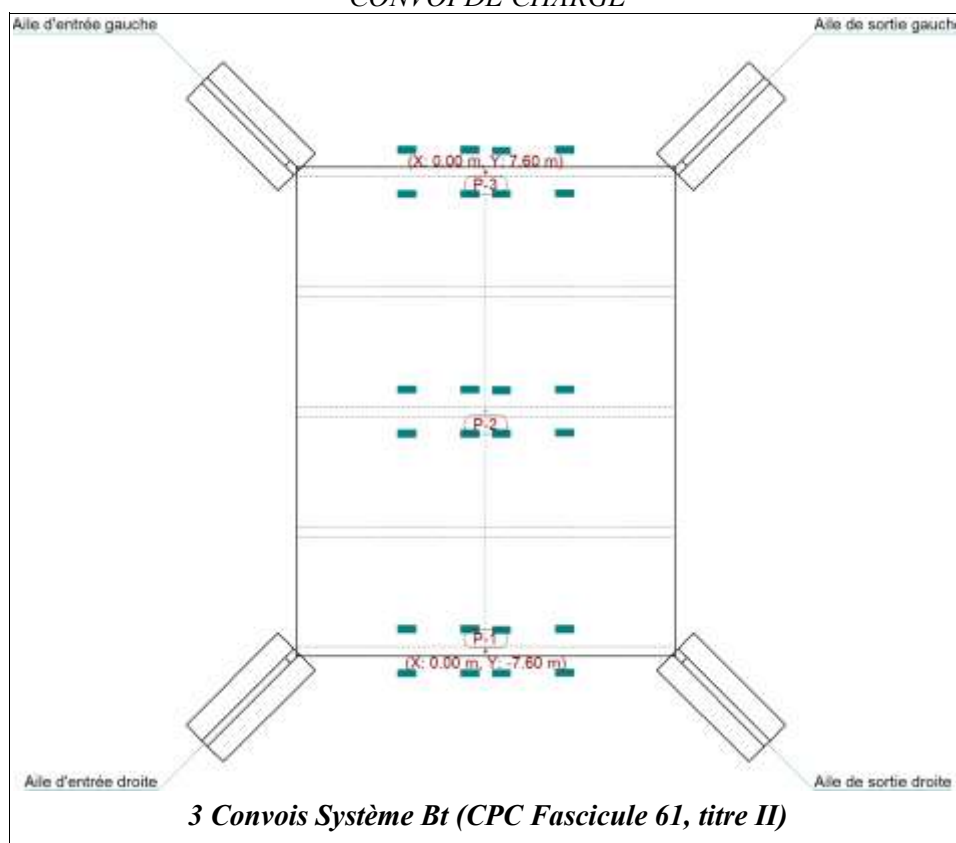
Avec charge hydraulique:

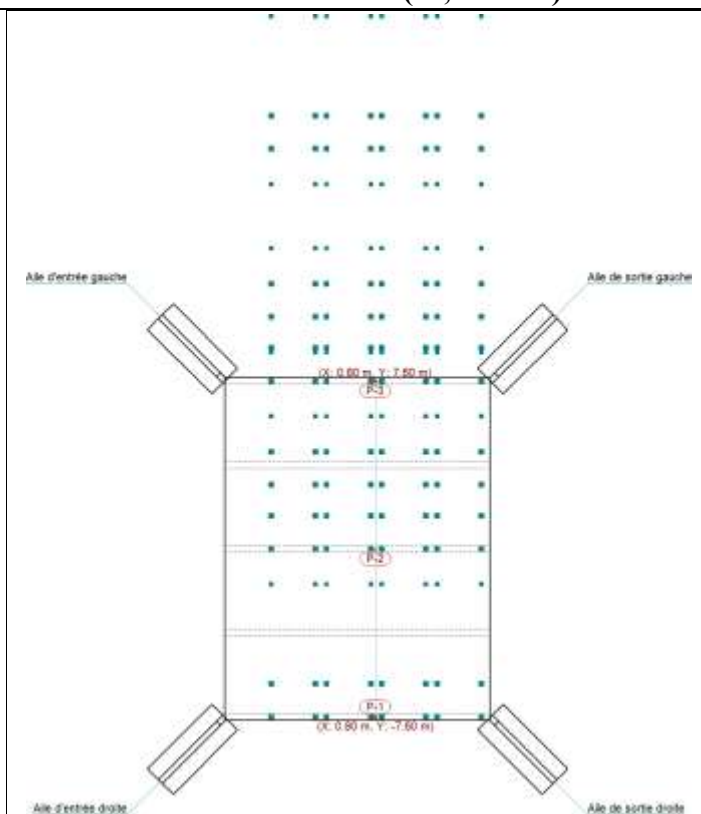
- Plan de la surface libre de l'eau: Par tirant d'eau (1.24 m)

CHARGES EN BANDE

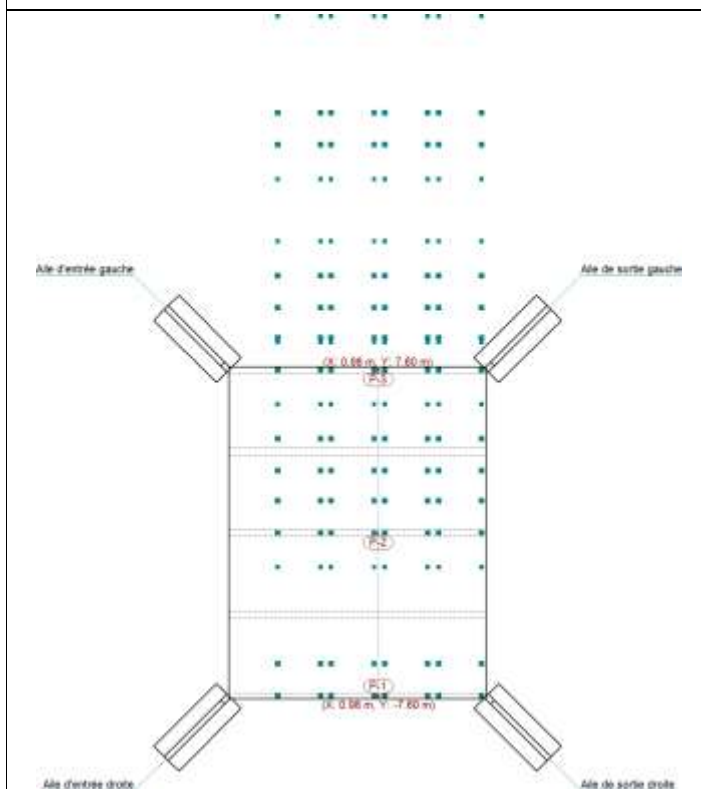


CONVOI DE CHARGE

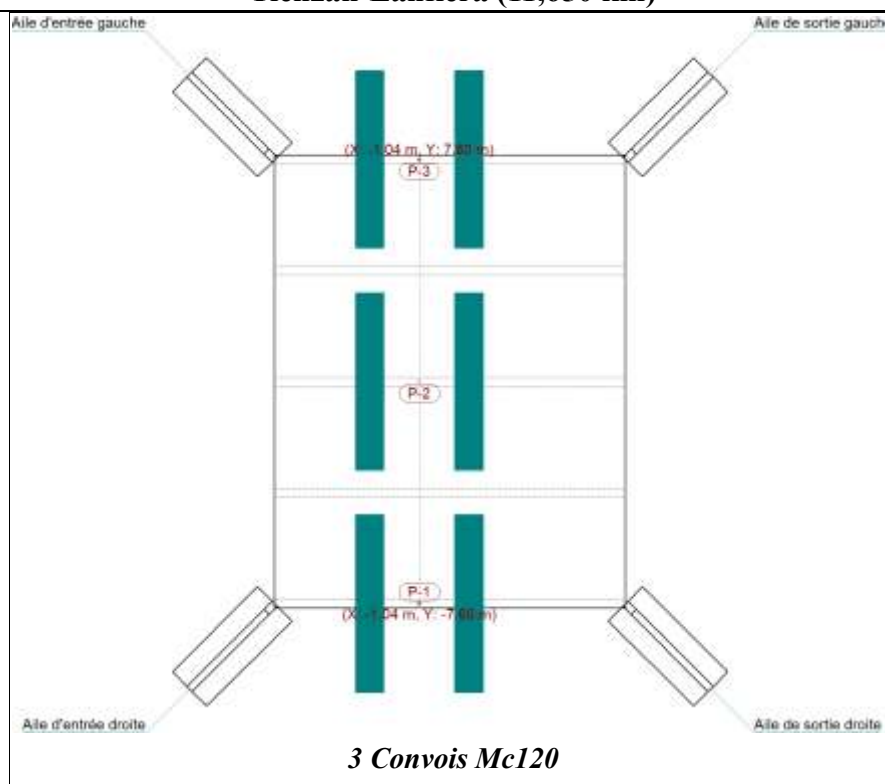




3 Convois Système Bc 4 Voies (CPC Fascicule 61, titre II)



3 Convois Système Bc 4 Voies (CPC Fascicule 61, titre II)



5.- DESCRIPTION DE L'ARMATURE

MODULE

Panneau	Position	Direction	Armature de base	Renfort
Tablier	Supérieur	Longitudinal	HA10e=15, crosse=42cm	
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA14e=15, crosse=30cm	Renforts 1: HA12 - Murs 1 à 1 - Longueur ini.= 1.36m - Longueur fin.= 1.36m Renforts 2: HA12 - Murs 2 à 2 - Longueur ini.= 1.36m - Longueur fin.= 1.54m Renforts 3: HA12 - Murs 3 à 3 - Longueur ini.= 1.46m - Longueur fin.= 1.46m
	Inférieur	Longitudinal	HA10e=15, crosse=42cm	
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA14e=15, crosse=15cm	
Radier	Inférieur	Longitudinal	HA12e=15, crosse=42cm	

Panneau	Position	Direction	Armature de base	Renfort
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA12e=15, crosse=30cm	Renforts 1: HA12 - Murs 1 à 1 - Longueur ini.= 1.36m - Longueur fin.= 1.36m Renforts 2: HA12 - Murs 2 à 2 - Longueur ini.= 1.36m - Longueur fin.= 1.54m Renforts 3: HA12 - Murs 3 à 3 - Longueur ini.= 1.39m - Longueur fin.= 1.39m
		Longitudinal	HA12e=15, crosse=42cm	
	Supérieur	Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA12e=15, crosse=15cm	
Piédroit gauche	Arrière	Vertical	HA14e=15, crosse=40cm - Attente=0.30 m - Longueur crosse en pied=30 cm	
		Horizontal	HA10e=15, crosse=42cm	
	Avant	Vertical	HA10e=15, crosse=15cm - Attente=0.30 m - Longueur crosse en pied=15 cm	
		Horizontal	HA10e=15, crosse=42cm	
Piédroit droit	Arrière	Vertical	HA14e=15, crosse=40cm - Attente=0.30 m - Longueur crosse en pied=30 cm	
		Horizontal	HA10e=15, crosse=42cm	
	Avant	Vertical	HA10e=15, crosse=15cm - Attente=0.30 m - Longueur crosse en pied=15 cm	
		Horizontal	HA10e=15, crosse=42cm	
Mur intermédiaire 1	Gauche	Vertical	HA10e=15, crosse=13cm - Attente=0.25 m - Longueur crosse en pied=13 cm	
		Horizontal	HA10e=15, crosse=42cm	
	Droite	Vertical	HA10e=15, crosse=13cm - Attente=0.25 m - Longueur crosse en pied=13 cm	
		Horizontal	HA10e=15, crosse=42cm	
Mur intermédiaire 2	Gauche	Vertical	HA10e=15, crosse=13cm - Attente=0.25 m - Longueur crosse en pied=13 cm	
		Horizontal	HA10e=15, crosse=42cm	

Panneau	Position	Direction	Armature de base	Renfort
Mur intermédiaire 3	Droite	Vertical	HA10e=15, crosse=13cm - Attente=0.25 m - Longueur crosse en pied=13 cm	
		Horizontal	HA10e=15, crosse=42cm	
	Gauche	Vertical	HA10e=15, crosse=13cm - Attente=0.25 m - Longueur crosse en pied=13 cm	
		Horizontal	HA10e=15, crosse=42cm	
	Droite	Vertical	HA10e=15, crosse=13cm - Attente=0.25 m - Longueur crosse en pied=13 cm	
		Horizontal	HA10e=15, crosse=42cm	

MUR EN AILE D'ENTRÉE GAUCHE

Armature horizontale: HA10e=15 Armature longitudinale inférieure: HA10e=15, crosse=13cm Armature longitudinale supérieure: HA10e=15, crosse=13cm	
Armature verticale	Armature semelle
Armature verticale arrière: HA12e=15 - Recouvrement =0.45m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.13m Armature verticale avant: HA10e=15 - Recouvrement =0.30m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.15m	Transversal inférieur: HA10e=15 Transversal supérieur: HA10e=15

MUR EN AILE D'ENTRÉE DROITE

Armature horizontale: HA10e=15 Armature longitudinale inférieure: HA10e=15, crosse=13cm Armature longitudinale supérieure: HA10e=15, crosse=13cm	
Armature verticale	Armature semelle
Armature verticale arrière: HA12e=15 - Recouvrement =0.45m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.13m Armature verticale avant: HA10e=15 - Recouvrement =0.30m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.15m	Transversal inférieur: HA10e=15 Transversal supérieur: HA10e=15

MUR EN AILE DE SORTIE GAUCHE

Armature horizontale: HA10e=15 Armature longitudinale inférieure: HA10e=15, crosse=13cm Armature longitudinale supérieure: HA10e=15, crosse=13cm	
Armature verticale	Armature semelle
Armature verticale arrière: HA12e=15 - Recouvrement =0.45m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.15m Armature verticale avant: HA10e=15 - Recouvrement =0.30m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.15m	Transversal inférieur: HA10e=15 Transversal supérieur: HA10e=15

MUR EN AILE DE SORTIE DROITE

Armature horizontale: HA10e=15 Armature longitudinale inférieure: HA10e=15, crosse=13cm Armature longitudinale supérieure: HA10e=15, crosse=13cm	
Armature verticale	Armature semelle
Armature verticale arrière: HA12e=15 - Recouvrement =0.45m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.15m Armature verticale avant: HA10e=15 - Recouvrement =0.30m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.15m	Transversal inférieur: HA10e=15 Transversal supérieur: HA10e=15

6.- VÉRIFICATION

Référence: Mur en aile d'entrée gauche		
Vérification	Valeurs	État
Vérification de la stabilité: <i>Critère de CYPE</i> Semelle superficielle: - Coefficient de sécurité au renversement: - Coefficient de sécurité au glissement:	Minimum: 1.8 Calculé: 4.09 Minimum: 1.5 Calculé: 2.01	Vérifiée 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: 30 cm Calculé: 25 cm	Vérifiée Vérifiée

Référence: Mur en aile d'entrée gauche		
Vérification	Valeurs	État
Séparation libre minimale des armatures horizontales: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>	Minimum : 3.7 cm	
Mur:		
- Arrière:	Calculé : 14 cm	Vérifiée
- Avant:	Calculé : 14 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 : 0.00209	Vérifiée
- Avant (0.00 m):	Calculé : 0.00209	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 : 15 cm	Vérifiée
- Armature verticale Avant, vertical:	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 : 0.00174	
Semelle superficielle:		

Référence: Mur en aile d'entrée gauche		
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:	Calculé: 0.00174	
- 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: 0.00041	Vérifiée
- Armature transversale supérieure: <i>BAEL-91, Article A.4.2</i>	Minimum: 0.00037	Vérifiée
Vérification au cisaillement en amorce du mur: - Mur: <i>Critère de CYPE</i>	Maximum: 347.6 kN/m Calculé: 26 kN/m	Vérifiée
Pourcentage mécanique horizontal minimum par face: <i>Article A.8.2, 41 de la norme BAEL-91</i>	Calculé: 0.00209	
Mur:		
- Arrière:	Minimum: 0.00075	Vérifiée
- Avant:	Minimum: 0.00052	Vérifiée
Pourcentage géométrique vertical minimum sur la face tendue: Mur:		
- Arrière (0.00 m): <i>BAEL-91, Article B.6.4</i>	Minimum: 0.001 Calculé: 0.00301	Vérifiée

Référence: Mur en aile d'entrée gauche		
Vérification	Valeurs	État
Pourcentage mécanique vertical minimum sur la face tendue: Mur: - Arrière (0.00 m): <i>BAEL-91, Article A.4.2, 1</i>	Minimum: 0.0012 Calculé: 0.00301	Vérifiée
Pourcentage géométrique vertical minimum sur la face comprimée: Mur: - Avant (0.00 m): <i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Minimum: 0.001 Calculé: 0.00209	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: 5.23 cm ² /m	Vérifiée
Pourcentage géométrique maximum d'armature verticale total: Mur: - (2.30 m): <i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Maximum: 0.05 Calculé: 0.00511	Vérifiée
Séparation libre minimale des armatures verticales: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i> Mur: - Arrière, vertical: - Avant, vertical:	Minimum: 2.5 cm Calculé: 12.6 cm Calculé: 13 cm	Vérifiée Vérifiée
Diamètre minimal des armatures horizontales: - Mur: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Minimum: 0.6 cm Calculé: 1 cm	Vérifiée
Diamètre minimal des armatures verticales: - Mur: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Minimum: 0.6 cm Calculé: 1 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: 249.6 kN/m Calculé: 22.1 kN/m	Vérifiée

Référence: Mur en aile d'entrée gauche		
Vérification	Valeurs	État
Vérification de la fissuration par contraintes dans les barres: - Mur: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Maximum: 201.633 MPa Calculé: 101.83 MPa	Vérifiée
Longueur de recouvrement: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i> Mur: - Base arrière:	Minimum: 0.42 m Calculé: 0.45 m	Vérifiée
- Base avant:	Minimum: 0.21 m Calculé: 0.3 m	Vérifiée
Vérification de l'ancrage de l'armature de base à la face supérieure: <i>Critère de CYPE</i> Mur: - Arrière:	Minimum: 13.4 cm Calculé: 13.4 cm	Vérifiée
- Avant:	Minimum: 13.5 cm Calculé: 15 cm	Vérifiée
Contraintes appliquées au sol: <i>Vérification basée sur des critères résistants.</i> Semelle superficielle: - Contrainte moyenne:	Maximum: 0.15 MPa Calculé: 0.029 MPa	Vérifiée
- Contrainte maximale:	Maximum: 0.1875 MPa Calculé: 0.0359 MPa	Vérifiée
Flexion dans la semelle: <i>Vérification basée sur des critères résistants</i> Semelle superficielle: - Armature sup. arrière:	Calculé: 5.23 cm ² /m	
- Armature inf. arrière:	Minimum: 0.94 cm ² /m	Vérifiée
- Armature sup. avant:	Minimum: 0 cm ² /m	Vérifiée
- Armature inf. avant:	Minimum: 0 cm ² /m	Vérifiée
Effort tranchant: <i>BAEL-91, Article A.5.2,2</i> Semelle superficielle: - Arrière:	Maximum: 315 kN/m	
- Avant:	Calculé: 12.9 kN/m	Vérifiée
	Calculé: 14 kN/m	Vérifiée

Référence: Mur en aile d'entrée gauche		
Vérification	Valeurs	État
Longueur d'ancrage: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
Semelle superficielle:		
- Attentes arrière:	Minimum: 23.6 cm Calculé: 25 cm	Vérifiée
- Attentes avant:	Minimum: 19.6 cm Calculé: 25 cm	Vérifiée
- Armature inf. arrière (Crosse):	Minimum: 0 cm Calculé: 0 cm	Vérifiée
- Armature inf. avant (Crosse):	Minimum: 0 cm Calculé: 0 cm	Vérifiée
- Armature sup. arrière (Crosse):	Minimum: 0 cm Calculé: 0 cm	Vérifiée
- Armature sup. avant (Crosse):	Minimum: 0 cm Calculé: 0 cm	Vérifiée
Diamètre minimum: <i>Critère de CYPE</i>	Minimum: Ø10	
Semelle superficielle:		
- Armature transversale inférieure:	Calculé: HA10	Vérifiée
- Armature longitudinale inférieure:	Calculé: HA10	Vérifiée
- Armature transversale supérieure:	Calculé: HA10	Vérifiée
- Armature longitudinale supérieure:	Calculé: HA10	Vérifiée
Toutes les conditions sont vérifiées		
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 Calculé: 4.09	Vérifiée
- Coefficient de sécurité au glissement:	Minimum: 1.5 Calculé: 2.01	Vérifiée
Épaisseur minimale:	Minimum: 15 cm	
- Semelle superficielle: <i>Critère de CYPE</i>	Calculé: 30 cm	Vérifiée

Référence: Mur en aile d'entrée droite		
Vérification	Valeurs	État
- Mur: <i>Critère du SETRA "Les ouvrages de soutènement: Guide de conception générale"</i>	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:	Calculé: 14 cm	Vérifiée
- Avant:	Calculé: 14 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: 0.00209	Vérifiée
- Avant (0.00 m):	Calculé: 0.00209	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: 15 cm	Vérifiée
- Armature verticale Avant, vertical:	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

Référence: Mur en aile d'entrée droite		
Vérification	Valeurs	État
- Armature transversale supérieure:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
Pourcentage géométrique minimum:	Calculé: 0.00174	
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: 0.00174	
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: 0.00041	Vérifiée
- Armature transversale supérieure: <i>BAEL-91, Article A.4.2</i>	Minimum: 0.00037	Vérifiée
Vérification au cisaillement en amorce du mur:		
- Mur: <i>Critère de CYPE</i>	Maximum: 347.6 kN/m Calculé: 26 kN/m	Vérifiée
Pourcentage mécanique horizontal minimum par face: <i>Article A.8.2, 41 de la norme BAEL-91</i>	Calculé: 0.00209	
Mur:		
- Arrière:	Minimum: 0.00075	Vérifiée
- Avant:	Minimum: 0.00052	Vérifiée
Pourcentage géométrique vertical minimum sur la face tendue:		
Mur:		
- Arrière (0.00 m): <i>BAEL-91, Article B.6.4</i>	Minimum: 0.001 Calculé: 0.00301	Vérifiée

Référence: Mur en aile d'entrée droite		
Vérification	Valeurs	État
Pourcentage mécanique vertical minimum sur la face tendue: Mur: - Arrière (0.00 m): <i>BAEL-91, Article A.4.2, 1</i>	Minimum: 0.0012 Calculé: 0.00301	Vérifiée
Pourcentage géométrique vertical minimum sur la face comprimée: Mur: - Avant (0.00 m): <i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Minimum: 0.001 Calculé: 0.00209	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: 5.23 cm ² /m	Vérifiée
Pourcentage géométrique maximum d'armature verticale total: Mur: - (2.30 m): <i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Maximum: 0.05 Calculé: 0.00511	Vérifiée
Séparation libre minimale des armatures verticales: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i> Mur: - Arrière, vertical: - Avant, vertical:	Minimum: 2.5 cm Calculé: 12.6 cm Calculé: 13 cm	Vérifiée Vérifiée
Diamètre minimal des armatures horizontales: - Mur: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Minimum: 0.6 cm Calculé: 1 cm	Vérifiée
Diamètre minimal des armatures verticales: - Mur: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Minimum: 0.6 cm Calculé: 1 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: 249.6 kN/m Calculé: 22.1 kN/m	Vérifiée

Référence: Mur en aile d'entrée droite		
Vérification	Valeurs	État
Vérification de la fissuration par contraintes dans les barres: - Mur: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Maximum: 201.633 MPa Calculé: 101.83 MPa	Vérifiée
Longueur de recouvrement: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i> Mur: - Base arrière:	Minimum: 0.42 m Calculé: 0.45 m	Vérifiée
- Base avant:	Minimum: 0.21 m Calculé: 0.3 m	Vérifiée
Vérification de l'ancrage de l'armature de base à la face supérieure: <i>Critère de CYPE</i> Mur: - Arrière:	Minimum: 13.4 cm Calculé: 13.4 cm	Vérifiée
- Avant:	Minimum: 13.5 cm Calculé: 15 cm	Vérifiée
Contraintes appliquées au sol: <i>Vérification basée sur des critères résistants.</i> Semelle superficielle: - Contrainte moyenne:	Maximum: 0.15 MPa Calculé: 0.029 MPa	Vérifiée
- Contrainte maximale:	Maximum: 0.1875 MPa Calculé: 0.0359 MPa	Vérifiée
Flexion dans la semelle: <i>Vérification basée sur des critères résistants</i> Semelle superficielle: - Armature sup. arrière:	Calculé: 5.23 cm ² /m	
- Armature inf. arrière:	Minimum: 0.94 cm ² /m	Vérifiée
- Armature sup. avant:	Minimum: 0 cm ² /m	Vérifiée
- Armature inf. avant:	Minimum: 0 cm ² /m	Vérifiée
Effort tranchant: <i>BAEL-91, Article A.5.2,2</i> Semelle superficielle: - Arrière:	Maximum: 315 kN/m	
- Avant:	Calculé: 12.9 kN/m	Vérifiée
	Calculé: 14 kN/m	Vérifiée

Référence: Mur en aile d'entrée droite		
Vérification	Valeurs	État
Longueur d'ancrage: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
Semelle superficielle:		
- Attentes arrière:	Minimum: 23.6 cm Calculé: 25 cm	Vérifiée
- Attentes avant:	Minimum: 19.6 cm Calculé: 25 cm	Vérifiée
- Armature inf. arrière (Crosse):	Minimum: 0 cm Calculé: 0 cm	Vérifiée
- Armature inf. avant (Crosse):	Minimum: 0 cm Calculé: 0 cm	Vérifiée
- Armature sup. arrière (Crosse):	Minimum: 0 cm Calculé: 0 cm	Vérifiée
- Armature sup. avant (Crosse):	Minimum: 0 cm Calculé: 0 cm	Vérifiée
Diamètre minimum: <i>Critère de CYPE</i>	Minimum: Ø10	
Semelle superficielle:		
- Armature transversale inférieure:	Calculé: HA10	Vérifiée
- Armature longitudinale inférieure:	Calculé: HA10	Vérifiée
- Armature transversale supérieure:	Calculé: HA10	Vérifiée
- Armature longitudinale supérieure:	Calculé: HA10	Vérifiée
Toutes les conditions sont vérifiées		
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

Référence: Module		
Vérification	Valeurs	État
- Effort tranchant maximum:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Déplacement maximum. Perpendiculaire au plan du plancher:	Maximum: 50 mm Calculé: 2.3 mm	Vérifiée
- Distorsion angulaire maximale:	Minimum: 150 Calculé: 1426	Vérifiée
- Flèche relative:	Minimum: 250	
- Longitudinal:	Calculé: 1583	Vérifiée
- Transversal:	Calculé: 1844	Vérifiée
- Élancement mécanique:	Maximum: 100 Calculé: 45	Vérifiée
- Longueur d'ancrage: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
- Armature de base transversale extérieure:	Minimum: 27 cm Calculé: 30 cm	Vérifiée
- Armature de base transversale intérieure:	Minimum: 15 cm Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale extérieure:	Minimum: 35 cm Calculé: 42 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale intérieure:	Minimum: 35 cm Calculé: 42 cm	Vérifiée
- Séparation minimale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>		
- Armature de base transversale extérieure:	Minimum: 2 cm Calculé: 6 cm	Vérifiée
- Armature de base transversale intérieure:	Minimum: 2 cm Calculé: 13 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale extérieure:	Minimum: 3 cm Calculé: 14 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale intérieure:	Minimum: 3 cm Calculé: 14 cm	Vérifiée
- Armature extérieure - intérieure:	Minimum: 2 cm Calculé: 19 cm	Vérifiée
- Séparation maximale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum: 25 cm	
- Armature de base transversale extérieure:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Armature de base transversale intérieure:	Calculé: 15 cm	Vérifiée

Référence: Module		
Vérification	Valeurs	État
- Armature de base longitudinale extérieure:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale intérieure:	Calculé: 15 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. Perpendiculaire au plan du plancher:	Maximum: 50 mm Calculé: 1.48 mm	Vérifiée
- Distorsion angulaire maximale:	Minimum: 150 Calculé: 1424	Vérifiée
- Flèche relative:	Minimum: 250	
- Longitudinal:	Calculé: 2633	Vérifiée
- Transversal:	Calculé: 2453	Vérifiée
- Élancement mécanique:	Maximum: 100 Calculé: 45	Vérifiée
- Longueur d'ancrage: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
- Armature de base transversale extérieure:	Minimum: 20 cm Calculé: 30 cm	Vérifiée
- Armature de base transversale intérieure:	Minimum: 13 cm Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale extérieure:	Minimum: 42 cm Calculé: 42 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale intérieure:	Minimum: 42 cm Calculé: 42 cm	Vérifiée
- Séparation minimale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>		

Référence: Module		
Vérification	Valeurs	État
- Armature de base transversale extérieure:	Minimum: 2 cm Calculé: 6 cm	Vérifiée
- Armature de base transversale intérieure:	Minimum: 2 cm Calculé: 13 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale extérieure:	Minimum: 3 cm Calculé: 13 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale intérieure:	Minimum: 3 cm Calculé: 13 cm	Vérifiée
- Armature extérieure - intérieure:	Minimum: 2 cm Calculé: 19 cm	Vérifiée
- Séparation maximale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum: 25 cm	
- Armature de base transversale extérieure:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Armature de base transversale intérieure:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale extérieure:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale intérieure:	Calculé: 15 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: 0.25 mm	Vérifiée
- Distorsion angulaire maximale:	Minimum: 150 Calculé: 3391	Vérifiée
- Flèche relative:	Minimum: 250	
- Vertical:	Calculé: 46551	Vérifiée
- Horizontal:	Calculé: 7758	Vérifiée

Référence: Module		
Vérification	Valeurs	État
- Élançement mécanique:	Maximum: 100 Calculé: 30	Vérifiée
- Longueur d'ancrage: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
- Armature de base verticale extérieure:	Minimum: 27 cm Calculé: 40 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale intérieure:	Minimum: 11 cm Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Attente armature de base extérieure:	Minimum: 27 cm Calculé: 30 cm	Vérifiée
- Attente armature de base intérieure:	Minimum: 11 cm Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale extérieure:	Minimum: 35 cm Calculé: 42 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale intérieure:	Minimum: 35 cm Calculé: 42 cm	Vérifiée
- Longueur de recouvrement: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>	Calculé: 30 cm	
- Attente armature de base extérieure:	Minimum: 29 cm	Vérifiée
- Attente armature de base intérieure:	Minimum: 21 cm	Vérifiée
- Séparation minimale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>		
- Armature de base verticale extérieure:	Minimum: 2 cm Calculé: 13 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale intérieure:	Minimum: 2 cm Calculé: 14 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale extérieure:	Minimum: 3 cm Calculé: 14 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale intérieure:	Minimum: 3 cm Calculé: 14 cm	Vérifiée
- Armature extérieure - intérieure:	Minimum: 2 cm Calculé: 19 cm	Vérifiée
- Séparation maximale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum: 25 cm	
- Armature de base verticale extérieure:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale intérieure:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale extérieure:	Calculé: 15 cm	Vérifiée

Référence: Module		
Vérification	Valeurs	État
- Armature de base horizontale intérieure:	Calculé: 15 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
- 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: 0.4 mm	Vérifiée
- Distorsion angulaire maximale:	Minimum: 150 Calculé: 2224	Vérifiée
- Flèche relative:	Minimum: 250	
- Vertical:	Calculé: 4879	Vérifiée
- Horizontal:	Calculé: 29274	Vérifiée
- Élancement mécanique:	Maximum: 100 Calculé: 30	Vérifiée
- Longueur d'ancrage:		
<i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
- Armature de base verticale extérieure:	Minimum: 27 cm Calculé: 40 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale intérieure:	Minimum: 11 cm Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Attente armature de base extérieure:	Minimum: 27 cm Calculé: 30 cm	Vérifiée
- Attente armature de base intérieure:	Minimum: 11 cm Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale extérieure:	Minimum: 35 cm Calculé: 42 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale intérieure:	Minimum: 35 cm Calculé: 42 cm	Vérifiée

Référence: Module		
Vérification	Valeurs	État
- Longueur de recouvrement: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>	Calculé: 30 cm	
- Attente armature de base extérieure:	Minimum: 29 cm	Vérifiée
- Attente armature de base intérieure:	Minimum: 21 cm	Vérifiée
- Séparation minimale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>		
- Armature de base verticale extérieure:	Minimum: 2 cm Calculé: 13 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale intérieure:	Minimum: 2 cm Calculé: 14 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale extérieure:	Minimum: 3 cm Calculé: 14 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale intérieure:	Minimum: 3 cm Calculé: 14 cm	Vérifiée
- Armature extérieure - intérieure:	Minimum: 2 cm Calculé: 19 cm	Vérifiée
- Séparation maximale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum: 25 cm	
- Armature de base verticale extérieure:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale intérieure:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale extérieure:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale intérieure:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
Mur intermédiaire 1:		
- Armature (Vertical):		
- Ratio minimal gauche:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal droit:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment positif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment négatif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Armature (Horizontal):		
- Ratio minimal gauche:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal droit:	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

Référence: Module		
Vérification	Valeurs	État
- Déplacement maximum. Perpendiculaire au plan du plancher:	Maximum: 50 mm Calculé: 0.16 mm	Vérifiée
- Distorsion angulaire maximale:	Minimum: 150 Calculé: 7675	Vérifiée
- Flèche relative:	Minimum: 250	
- Vertical:	Calculé: 12321	Vérifiée
- Horizontal:	Calculé: 73930	Vérifiée
- Élançement mécanique:	Maximum: 100 Calculé: 30	Vérifiée
- Longueur d'ancrage: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
- Armature de base verticale gauche:	Minimum: 11 cm Calculé: 13 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale droite:	Minimum: 11 cm Calculé: 13 cm	Vérifiée
- Attente armature de base gauche:	Minimum: 11 cm Calculé: 13 cm	Vérifiée
- Attente armature de base droite:	Minimum: 11 cm Calculé: 13 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale gauche:	Minimum: 35 cm Calculé: 42 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale droite:	Minimum: 35 cm Calculé: 42 cm	Vérifiée
- Longueur de recouvrement: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>	Minimum: 21 cm	
- Attente armature de base gauche:	Calculé: 25 cm	Vérifiée
- Attente armature de base droite:	Calculé: 25 cm	Vérifiée
- Séparation minimale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>		
- Armature de base verticale gauche:	Minimum: 2 cm Calculé: 14 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale droite:	Minimum: 2 cm Calculé: 14 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale gauche:	Minimum: 3 cm Calculé : 14 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale droite:	Minimum : 3 cm Calculé : 14 cm	Vérifiée

Référence: Module		
Vérification	Valeurs	État
- Armature gauche - droite:	Minimum : 2 cm Calculé: 20 cm	Vérifiée
- Séparation maximale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum: 25 cm	
- Armature de base verticale gauche:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale droite:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale gauche:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale droite:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
Mur intermédiaire 2:		
- Armature (Vertical):		
- Ratio minimal gauche:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal droit:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment positif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment négatif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Armature (Horizontal):		
- Ratio minimal gauche:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal droit:	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. Perpendiculaire au plan du plancher:	Maximum: 50 mm Calculé: 0.15 mm	Vérifiée
- Distorsion angulaire maximale:	Minimum: 150 Calculé: 7871	Vérifiée
- Flèche relative:	Minimum: 250	
- Vertical:	Calculé: 78424	Vérifiée
- Horizontal:	Calculé: 13070	Vérifiée
- Élancement mécanique:	Maximum: 100 Calculé: 30	Vérifiée
- Longueur d'ancrage: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
- Armature de base verticale gauche:	Minimum: 11 cm Calculé: 13 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale droite:	Minimum: 11 cm Calculé: 13 cm	Vérifiée

Référence: Module		
Vérification	Valeurs	État
- Attente armature de base gauche:	Minimum: 11 cm Calculé: 13 cm	Vérifiée
- Attente armature de base droite:	Minimum: 11 cm Calculé: 13 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale gauche:	Minimum: 35 cm Calculé: 42 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale droite:	Minimum: 35 cm Calculé: 42 cm	Vérifiée
- Longueur de recouvrement: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>	Minimum: 21 cm	
- Attente armature de base gauche:	Calculé: 25 cm	Vérifiée
- Attente armature de base droite:	Calculé: 25 cm	Vérifiée
- Séparation minimale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>		
- Armature de base verticale gauche:	Minimum: 2 cm Calculé: 14 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale droite:	Minimum: 2 cm Calculé: 14 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale gauche:	Minimum: 3 cm Calculé: 14 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale droite:	Minimum: 3 cm Calculé: 14 cm	Vérifiée
- Armature gauche - droite:	Minimum: 2 cm Calculé: 20 cm	Vérifiée
- Séparation maximale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum: 25 cm	
- Armature de base verticale gauche:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale droite:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale gauche:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale droite:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
Mur intermédiaire 3:		
- Armature (Vertical):		
- Ratio minimal gauche:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal droit:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment positif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment négatif:	Vérification à 100%	Vérifiée

Référence: Module		
Vérification	Valeurs	État
- Armature (Horizontal):		
- Ratio minimal gauche:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal droit:	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. Perpendiculaire au plan du plancher:	Maximum: 50 mm Calculé: 0.13 mm	Vérifiée
- Distorsion angulaire maximale:	Minimum: 150 Calculé: 6101	Vérifiée
- Flèche relative:	Minimum: 250	
- Vertical:	Calculé: 14485	Vérifiée
- Horizontal:	Calculé: 86910	Vérifiée
- Élancement mécanique:	Maximum: 100 Calculé: 30	Vérifiée
- Longueur d'ancrage: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
- Armature de base verticale gauche:	Minimum: 11 cm Calculé: 13 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale droite:	Minimum: 11 cm Calculé: 13 cm	Vérifiée
- Attente armature de base gauche:	Minimum: 11 cm Calculé: 13 cm	Vérifiée
- Attente armature de base droite:	Minimum: 11 cm Calculé: 13 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale gauche:	Minimum: 35 cm Calculé: 42 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale droite:	Minimum: 35 cm Calculé: 42 cm	Vérifiée
- Longueur de recouvrement: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>	Minimum: 21 cm	
- Attente armature de base gauche:	Calculé: 25 cm	Vérifiée
- Attente armature de base droite:	Calculé: 25 cm	Vérifiée
- Séparation minimale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>		

Référence: Module		
Vérification	Valeurs	État
- Armature de base verticale gauche:	Minimum: 2 cm Calculé: 14 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale droite:	Minimum: 2 cm Calculé: 14 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale gauche:	Minimum: 3 cm Calculé: 14 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale droite:	Minimum: 3 cm Calculé: 14 cm	Vérifiée
- Armature gauche - droite:	Minimum: 2 cm Calculé: 20 cm	Vérifiée
- Séparation maximale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum: 25 cm	
- Armature de base verticale gauche:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale droite:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale gauche:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale droite:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
Terrain:		
- Soulèvement:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Contrainte admissible:	Maximum: 150 kN/m ² Calculé: 133.868 kN/m ²	Vérifiée
Toutes les conditions sont vérifiées		
Référence: Mur en aile de sortie gauche		
Vérification	Valeurs	État
Vérification de la stabilité: <i>Critère de CYPE</i>		
Semelle superficielle:		
- Coefficient de sécurité au renversement:	Minimum: 1.8 Calculé: 4.09	Vérifiée
- Coefficient de sécurité au glissement:	Minimum: 1.5 Calculé: 2.01	Vérifiée
Épaisseur minimale:	Minimum: 15 cm	
- Semelle superficielle: <i>Critère de CYPE</i>	Calculé: 30 cm	Vérifiée
- Mur: <i>Critère du SETRA "Les ouvrages de soutènement: Guide de conception générale"</i>	Calculé: 25 cm	Vérifiée

Référence: Mur en aile de sortie gauche		
Vérification	Valeurs	État
Séparation libre minimale des armatures horizontales: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>	Minimum: 3.7 cm	
Mur:		
- Arrière:	Calculé: 14 cm	Vérifiée
- Avant:	Calculé: 14 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: 0.00209	Vérifiée
- Avant (0.00 m):	Calculé: 0.00209	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: 15 cm	Vérifiée
- Armature verticale Avant, vertical:	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: 0.00174	
Semelle superficielle:		

Référence: Mur en aile de sortie gauche		
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:	Calculé: 0.00174	
- 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: 0.00041	Vérifiée
- Armature transversale supérieure: <i>BAEL-91, Article A.4.2</i>	Minimum: 0.00037	Vérifiée
Vérification au cisaillement en amorce du mur: - Mur: <i>Critère de CYPE</i>	Maximum: 347.6 kN/m Calculé: 26 kN/m	Vérifiée
Pourcentage mécanique horizontal minimum par face: <i>Article A.8.2, 41 de la norme BAEL-91</i>	Calculé: 0.00209	
Mur:		
- Arrière:	Minimum: 0.00075	Vérifiée
- Avant:	Minimum: 0.00052	Vérifiée
Pourcentage géométrique vertical minimum sur la face tendue: Mur:		
- Arrière (0.00 m): <i>BAEL-91, Article B.6.4</i>	Minimum: 0.001 Calculé: 0.00301	Vérifiée

Référence: Mur en aile de sortie gauche		
Vérification	Valeurs	État
Pourcentage mécanique vertical minimum sur la face tendue: Mur: - Arrière (0.00 m): <i>BAEL-91, Article A.4.2, 1</i>	Minimum: 0.0012 Calculé: 0.00301	Vérifiée
Pourcentage géométrique vertical minimum sur la face comprimée: Mur: - Avant (0.00 m): <i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Minimum: 0.001 Calculé: 0.00209	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: 5.23 cm ² /m	Vérifiée
Pourcentage géométrique maximum d'armature verticale total: Mur: - (2.30 m): <i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Maximum: 0.05 Calculé: 0.00511	Vérifiée
Séparation libre minimale des armatures verticales: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i> Mur: - Arrière, vertical: - Avant, vertical:	Minimum: 2.5 cm Calculé: 12.6 cm Calculé: 13 cm	Vérifiée Vérifiée
Diamètre minimal des armatures horizontales: - Mur: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Minimum: 0.6 cm Calculé: 1 cm	Vérifiée
Diamètre minimal des armatures verticales: - Mur: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Minimum: 0.6 cm Calculé: 1 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: 249.6 kN/m Calculé: 22.1 kN/m	Vérifiée

Référence: Mur en aile de sortie gauche		
Vérification	Valeurs	État
Vérification de la fissuration par contraintes dans les barres: - Mur: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Maximum: 201.633 MPa Calculé: 101.83 MPa	Vérifiée
Longueur de recouvrement: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i> Mur: - Base arrière:	Minimum: 0.42 m Calculé: 0.45 m	Vérifiée
- Base avant:	Minimum: 0.21 m Calculé: 0.3 m	Vérifiée
Vérification de l'ancrage de l'armature de base à la face supérieure: <i>Critère de CYPE</i> Mur:	Calculé: 15 cm	
- Arrière:	Minimum: 13.4 cm	Vérifiée
- Avant:	Minimum: 13.5 cm	Vérifiée
Contraintes appliquées au sol: <i>Vérification basée sur des critères résistants.</i> Semelle superficielle:		
- Contrainte moyenne:	Maximum: 0.15 MPa Calculé: 0.029 MPa	Vérifiée
- Contrainte maximale:	Maximum: 0.1875 MPa Calculé: 0.0359 MPa	Vérifiée
Flexion dans la semelle: <i>Vérification basée sur des critères résistants</i> Semelle superficielle:	Calculé: 5.23 cm ² /m	
- Armature sup. arrière:	Minimum: 0.94 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: 1.02 cm ² /m	Vérifiée
Effort tranchant: <i>BAEL-91, Article A.5.2,2</i> Semelle superficielle:	Maximum: 315 kN/m	
- Arrière:	Calculé: 12.9 kN/m	Vérifiée
- Avant:	Calculé: 14 kN/m	Vérifiée

Référence: Mur en aile de sortie gauche		
Vérification	Valeurs	État
Longueur d'ancrage: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
Semelle superficielle:		
- Attentes arrière:	Minimum: 23.6 cm Calculé: 25 cm	Vérifiée
- Attentes avant:	Minimum: 19.6 cm Calculé: 25 cm	Vérifiée
- Armature inf. arrière (Crosse):	Minimum: 0 cm Calculé: 0 cm	Vérifiée
- Armature inf. avant (Crosse):	Minimum: 0 cm Calculé: 0 cm	Vérifiée
- Armature sup. arrière (Crosse):	Minimum: 0 cm Calculé: 0 cm	Vérifiée
- Armature sup. avant (Crosse):	Minimum: 0 cm Calculé: 0 cm	Vérifiée
Diamètre minimum: <i>Critère de CYPE</i>	Minimum: Ø10	
Semelle superficielle:		
- Armature transversale inférieure:	Calculé: HA10	Vérifiée
- Armature longitudinale inférieure:	Calculé: HA10	Vérifiée
- Armature transversale supérieure:	Calculé: HA10	Vérifiée
- Armature longitudinale supérieure:	Calculé: HA10	Vérifiée
Toutes les conditions sont vérifiées		
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: 4.09	Vérifiée
- Coefficient de sécurité au glissement:	Minimum: 1.5 Calculé: 2.01	Vérifiée
Épaisseur minimale:	Minimum: 15 cm	
- Semelle superficielle: <i>Critère de CYPE</i>	Calculé: 30 cm	Vérifiée

Référence: Mur en aile de sortie droite		
Vérification	Valeurs	État
- Mur: <i>Critère du SETRA "Les ouvrages de soutènement: Guide de conception générale"</i>	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:	Calculé: 14 cm	Vérifiée
- Avant:	Calculé: 14 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: 0.00209	Vérifiée
- Avant (0.00 m):	Calculé: 0.00209	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: 15 cm	Vérifiée
- Armature verticale Avant, vertical:	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

Référence: Mur en aile de sortie droite		
Vérification	Valeurs	État
- Armature transversale supérieure:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
Pourcentage géométrique minimum:	Calculé: 0.00174	
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: 0.00174	
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: 0.00041	Vérifiée
- Armature transversale supérieure: <i>BAEL-91, Article A.4.2</i>	Minimum: 0.00037	Vérifiée
Vérification au cisaillement en amorce du mur:		
- Mur: <i>Critère de CYPE</i>	Maximum: 347.6 kN/m Calculé: 26 kN/m	Vérifiée
Pourcentage mécanique horizontal minimum par face: <i>Article A.8.2, 41 de la norme BAEL-91</i>	Calculé: 0.00209	
Mur:		
- Arrière:	Minimum: 0.00075	Vérifiée
- Avant:	Minimum: 0.00052	Vérifiée
Pourcentage géométrique vertical minimum sur la face tendue:		
Mur:		
- Arrière (0.00 m): <i>BAEL-91, Article B.6.4</i>	Minimum: 0.001 Calculé: 0.00301	Vérifiée

Référence: Mur en aile de sortie droite		
Vérification	Valeurs	État
Pourcentage mécanique vertical minimum sur la face tendue: Mur: - Arrière (0.00 m): <i>BAEL-91, Article A.4.2, 1</i>	Minimum: 0.0012 Calculé: 0.00301	Vérifiée
Pourcentage géométrique vertical minimum sur la face comprimée: Mur: - Avant (0.00 m): <i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Minimum: 0.001 Calculé: 0.00209	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: 5.23 cm ² /m	Vérifiée
Pourcentage géométrique maximum d'armature verticale total: Mur: - (2.30 m): <i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Maximum: 0.05 Calculé: 0.00511	Vérifiée
Séparation libre minimale des armatures verticales: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i> Mur: - Arrière, vertical: - Avant, vertical:	Minimum: 2.5 cm Calculé: 12.6 cm Calculé: 13 cm	Vérifiée Vérifiée
Diamètre minimal des armatures horizontales: - Mur: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Minimum: 0.6 cm Calculé: 1 cm	Vérifiée
Diamètre minimal des armatures verticales: - Mur: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Minimum: 0.6 cm Calculé: 1 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: 249.6 kN/m Calculé: 22.1 kN/m	Vérifiée

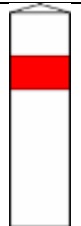
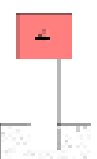
Référence: Mur en aile de sortie droite		
Vérification	Valeurs	État
Vérification de la fissuration par contraintes dans les barres: - Mur: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Maximum: 201.633 MPa Calculé: 101.83 MPa	Vérifiée
Longueur de recouvrement: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i> Mur: - Base arrière:	Minimum: 0.42 m Calculé: 0.45 m	Vérifiée
- Base avant:	Minimum: 0.21 m Calculé: 0.3 m	Vérifiée
Vérification de l'ancrage de l'armature de base à la face supérieure: <i>Critère de CYPE</i> Mur:	Calculé: 15 cm	
- Arrière:	Minimum: 13.4 cm	Vérifiée
- Avant:	Minimum: 13.5 cm	Vérifiée
Contraintes appliquées au sol: <i>Vérification basée sur des critères résistants.</i> Semelle superficielle:		
- Contrainte moyenne:	Maximum: 0.15 MPa Calculé: 0.029 MPa	Vérifiée
- Contrainte maximale:	Maximum: 0.1875 MPa Calculé: 0.0359 MPa	Vérifiée
Flexion dans la semelle: <i>Vérification basée sur des critères résistants</i> Semelle superficielle:	Calculé: 5.23 cm ² /m	
- Armature sup. arrière:	Minimum: 0.94 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: 1.02 cm ² /m	Vérifiée
Effort tranchant: <i>BAEL-91, Article A.5.2,2</i> Semelle superficielle:	Maximum: 315 kN/m	
- Arrière:	Calculé: 12.9 kN/m	Vérifiée
- Avant:	Calculé: 14 kN/m	Vérifiée

Référence: Mur en aile de sortie droite		
Vérification	Valeurs	État
Longueur d'ancrage: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
Semelle superficielle:		
- Attentes arrière:	Minimum: 23.6 cm Calculé: 25 cm	Vérifiée
- Attentes avant:	Minimum: 19.6 cm Calculé: 25 cm	Vérifiée
- Armature inf. arrière (Crosse):	Minimum: 0 cm Calculé: 0 cm	Vérifiée
- Armature inf. avant (Crosse):	Minimum: 0 cm Calculé: 0 cm	Vérifiée
- Armature sup. arrière (Crosse):	Minimum: 0 cm Calculé: 0 cm	Vérifiée
- Armature sup. avant (Crosse):	Minimum: 0 cm Calculé: 0 cm	Vérifiée
Diamètre minimum: <i>Critère de CYPE</i>	Minimum: Ø10	
Semelle superficielle:		
- Armature transversale inférieure:	Calculé: HA10	Vérifiée
- Armature longitudinale inférieure:	Calculé: HA10	Vérifiée
- Armature transversale supérieure:	Calculé: HA10	Vérifiée
- Armature longitudinale supérieure:	Calculé: HA10	Vérifiée
Toutes les conditions sont vérifiées		

Annexe 5: Signalisation routière

1- Signalisation verticale

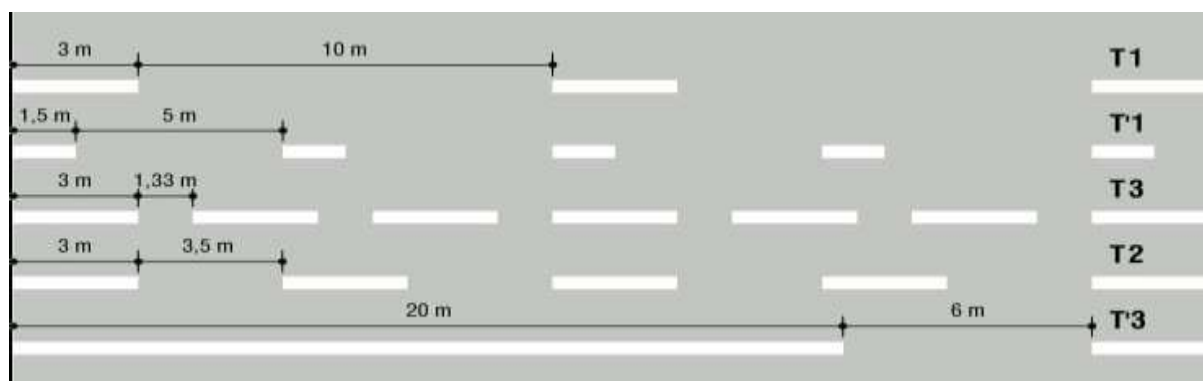
Tableau 5-1 : Types de panneau

Type de Panneau	Illustration	Description	Nombre
AB4		Arrêt obligatoire à l'intersection de la voie prioritaire	10
A1a		Panneau de position indiquant un virage à droite	3
A1b		Panneau de position indiquant un virage à gauche	1
A1d		Panneau de position indiquant une succession de virage	2
C20a		Panneau pour passage piéton	20
J3		Panneau de signalisation des intersections de routes	10
		Borne kilométrique	3

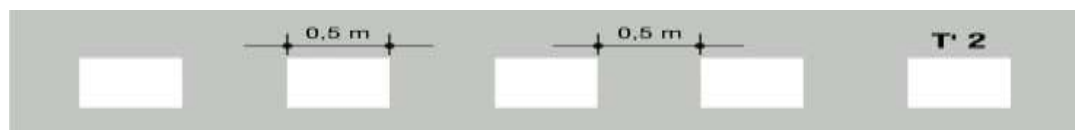
C1a		Panneau d'indication d'un lieu aménagé pour le stationnement	6
-----	---	--	---

2- Signalisation horizontale

Marquages longitudinaux : ce sont des lignes discontinues ou continues de types T1 ; T'1 ; T2 ; T3 ; T'3 qui sont utilisés en fonction de la position du marquage et du type de voie.



Marquages transversaux : ce sont des lignes complétant certains panneaux stop et permettant de céder le passage aux piétons.



3- Eclairage public

Les différents types d'implantation lumineuses

- Implantation unilatérale utilisé dans le cas où la largeur de la chaussée est inférieure ou égale à la hauteur des feux et les luminaires sont implantés sur un seul côté de la route ;
- Implantation bilatérale en quinconce dont les luminaires sont placés en implantation alternée est recommandé dans le cas où la largeur de la chaussée est comprise entre 1 et 1,5 fois la hauteur des candélabres et il est surtout à éviter en courbe.

- Implantation bilatérale vis-à-vis recommandé lorsque la largeur de la chaussée est inférieure à 1,5 fois la hauteur des feux. Dans ce type d'implantation, les luminaires sont implantés des deux côtés de la route et en opposition.
- Implantation axiale (rétro-bilatérale) où les luminaires sont implantés au-dessus de la zone centrale et ce type d'implantation est dédiée au chaussée double à deux sens de circulation.

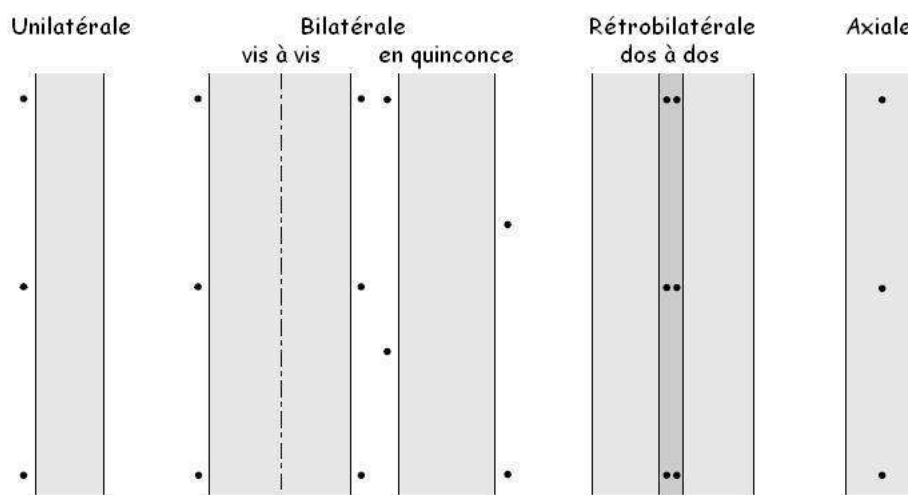


Figure 5-1 : les différents types d'implantation luminaires [10]

Calcul des inter-distances et hauteur des feux

Pour une implantation unilatérale, la largeur de la route est inférieure ou égale à la hauteur de feux donnée à travers la relation suivante : $L \leq H$. Pour ce projet, la largeur de la route est de 12 m ce qui implique que nous avons une hauteur des feux de 12 m.

L'inter-distance se détermine de la manière suivante :

$$3,5 \times H < d < 4 \times H$$

$$3,5 \times 12 < d < 4 \times 12$$

$$42 < d < 48$$

Nous retenons $d = 45$ cm comme distance entre les équipements d'éclairage. Avec une longueur de tronçon en péri-urbaine en axe 1 de 1394,1732 m on a 30 candélabres implantés et une longueur de 503,6486 m en axe 2, on a 11 candélabres implantés sur la route soient un total de 41 candélabres implantés sur la longueur totale du tronçon en péri-urbaine.

Annexe 6: Impact environnemental et social

1- Cadre politique, législatif, réglementaire et institutionnel du Burkina Faso

✚ Cadre politique

Le Burkina Faso a mis en place un certain nombre de politique et procédures stratégiques pour la gestion de son environnement. On peut citer :

Le plan national de développement économique et social (PNDES II) : le PNDES a pour objectif global de transformer l'économie Burkinabé pour une croissance durable, résiliente, créatrice d'emplois décents pour tous et induisant l'amélioration du bien-être social.

La politique nationale du développement durable au Burkina Faso : la vision de cette politique est qu'à l'horizon 2050, le Burkina Faso devienne un pays émergent dans le cadre d'un développement durable où toutes les stratégies sectorielles, tous les plans et programmes de développement contribuent à améliorer la qualité de vie des populations surtout les plus pauvres.

La politique nationale en matière d'environnement : le PNE a été adopté par le gouvernement et vise à créer un cadre de référence pour la prise en compte des questions concernant l'environnement dans les politiques et stratégies de développement.

La politique nationale du genre du Burkina Faso : cette politique a pour but de promouvoir un développement participatif et équitable des hommes et des femmes en leur assurant un accès et un contrôle égal et équitable aux ressources et aux sphères de décision dans le respect de leurs droits fondamentaux.

La politique nationale d'aménagement du territoire : cette politique représente un guide d'orientations concernant les études d'aménagement et des acteurs agissant sur le terrain, afin de traduire au plan spatial les orientations stratégiques contenues dans l'étude nationale prospective 2025 suivant trois orientations fondamentales.

La politique nationale d'hygiène publique : cette politique a été approuvée par le gouvernement en mars 2003 et vise quatre objectifs globaux parmi lesquels nous avons la prévention des maladies et intoxications et la garantie du confort et de la joie de vivre.

✚ Cadre législatif

Sur le plan législatif, la protection de l'environnement trouve son fondement dans la constitution du Burkina Faso qui donne droit à tout citoyen à un environnement Sain (article 29). Parmi les lois instituées, nous avons :

- La loi N°006-2013/AN du 2 Avril 2013 portant code de l'environnement qui demeure la référence principale. Cette loi définit les principes généraux de la gestion durable de l'environnement et établit l'obligation de réaliser des études d'impact environnementales et social.
- La loi N°003 – 2011/AN du 05 Avril 2011 portant Code forestier au Burkina Faso avec pour objectif de fixer les principes fondamentaux de gestion durable et de valorisation des ressources forestières, fauniques ;
- La loi N°002-2002/AN du 8 février 2001 portant loi d'orientation relative à la gestion de l'eau. Cette loi a pour but d'assurer l'alimentation en eau potable aux populations, de préserver ou restaurer la qualité de l'eau, protéger les écosystèmes aquatiques ;
- La loi N°055-2004/AN du 21 décembre 2004, ensemble et ses modificatifs, portant code Général des Collectivités ;
- La loi N°028-2008/AN portant code de travail au Burkina Faso fixe les conditions et règles régissant le travail au Burkina Faso ;
- La loi N°009-2018/AN du 03 mai 2018, portant expropriation pour cause d'utilité publique et indemnisation des personnes affectées par les aménagements et projets d'utilité publique et d'intérêt général au Burkina Faso ;
- La loi N°0246-2007/AN (13/11/2007), portant protection du patrimoine culturel ;
- La loi N°036-2015/CNT du 26 juin 2015, portant code minier du Burkina Faso
- La loi n°022/2005/AN du 24 mai 2005 portant code de l'hygiène publique. Cette loi mentionne dans son article 106 en responsabilisant les communes que : « chaque collectivité décentralisée est tenue de mettre en place un système de traitement de ses déchets industriels ou commerciaux dangereux ».
- La loi N°23/94/ADP du 19 mai 1994 portant code de la santé Publique qui définit les droits et les devoirs inhérents à la protection et à la promotion de la santé de la population de même que la promotion de la salubrité de l'environnement.

 Cadre réglementaire

Le cadre réglementaire est chargé de préciser les modalités d'application de ses lois à travers les décrets et arrêtés. Ce sont des textes d'application des différentes lois notamment :

- Le décret n°2015-1187/PRES- TRANS/PM/MERH du 22 octobre 2015 qui demeure le plus important et fixe les conditions de réalisation, d'examen et d'approbation des études d'impact environnemental et social ;
- Le décret N°2015 - 1205/PRES/TRANS/PM/MERH/MEF/MARHASA/MS/MRA/MICA du 28 octobre 2015 portant normes et conditions de déversements des eaux usées ;
- Le décret N°2001-185/PRES/PM/MEE du 7 mai 2001 portant fixation des normes de rejets de polluants dans l'air, l'eau et le sol au Burkina Faso ;
- Le décret N°2011- 445/PRES/PM/MEF/MAH du 21 Juin portant sur la détermination des taux et modalités de recouvrement de la taxe de prélèvement de l'eau brute ;
- Le décret N°2000 – 268/PRES/PM/MH du 21 Juin 2000 portant sur la définition et la réglementation du réseau routier national au Burkina Faso

Cadre institutionnel

Au Burkina Faso, la gestion environnementale est structurée autour de plusieurs acteurs institutionnels. Le promoteur de ce projet est le gouvernement Burkinabé, représenté par le Ministère des Infrastructures et du désenclavement qui supervise la planification, la mise en Œuvre et le suivi des projets d'aménagement tout en veillant au respect des normes environnementales et sociales.

L'Agence Nationale des Evaluations Environnementales (ANEVE) est chargée d'encadrer les études d'impact environnemental et social, de délivrer le certificat de conformité environnementale et social d'assurer le suivi des mesures d'atténuation durant l'exécution des travaux.

Les collectivités territoriales contribuent aussi à la gestion de l'environnement, notamment dans le contrôle local, la sensibilisation des populations et la prise en compte des besoins socio-environnementaux sur le terrain.

Les structures spécialisées comme l'Office National des Aires Protégées (OFINAP) et la Direction des Forêts et de la Faune interviennent pour la protection des ressources naturelles

alors que les ONG et acteurs privés appuient la mise en œuvre d'actions complémentaires de durabilité.

2- Mesures environnementales et sociales du projet

Tableau 6-1 : Mesures d'atténuation d'impact environnemental et social

Composante Environnementale et Sociale	Impacts potentiels/Risques	Mesures Environnementales et Sociales
Air	-Dégradations de la qualité de l'air par les émissions de gaz, de poussières, de fumées durant les travaux chez les riverains du tronçon de route et les ouvriers ; -Risques des maladies respiratoires dues à la pollution de l'air	-Arroser régulièrement et suffisamment les voies de déviation, la chaussée, les pistes d'accès aux zones d'emprunt au moins trois fois par jour ou dès constatations de la présence de poussière ; -Faire un entretien régulier des engins et véhicules pour réduire l'émission de fumées ;
Eaux de surface et eaux souterraines	-Pollution des eaux de surface par les déchets liquides (déversement d'huiles usées issus des vidanges des engins, d'hydrocarbures) et les déchets solides issus du chantier ; -Pollution de la nappe souterraine par les déchets liquides (déversement des hydrocarbures, les huiles de vidange usées) issus du chantier. -Risques de pollution des eaux de surface et des eaux souterraines par les déchets solides et liquides du chantier ;	-Installer des bacs à ordures dans la base vie pour stocker les déchets solides et leur enlèvement par les structures agréées ; -Sensibiliser le personnel de chantier sur l'utilisation rationnelle de l'eau ; -Installer des fossés et ouvrages de drainage adaptés pour recueillir les eaux usées ; -Faire les entretiens des engins et véhicules sur les airs bétonnés ; -Recueillir les huiles et vidanges usées dans des futs et les faire enlever par les structures agréées pour traitement.

Composante Environnementale et Sociale	Impacts potentiels/Risques	Mesures Environnementales et Sociales
Végétation	-Abattage de 40 arbres dans l'emprise des travaux.	-Plantation de 200 arbres en compensation des arbres abattus et l'amélioration du contexte végétal de la zone ; -Respecter l'emprise utile des travaux afin d'éviter la destruction d'autres arbres ; -Installer la base vie dans une zone non boisée et sensibiliser les employés au respect des espèces végétales.
Sols	-Destruction ou modification du sol naturel lors des travaux de décapages et terrassements ; -Pollution des sols dus aux hydrocarbures, aux huiles ou produits bitumineux -Dégradation des sols due aux excavations et tassement lors des travaux	-Aménager des aires bétonnées pour l'entretien, le ravitaillement et le nettoyage des engins afin de prévenir la pollution du sol ; -Faire les entretiens des engins et véhicules sur des aires bétonnées ; -Recueillir les huiles et vidanges usées dans des fûts et les faire enlever par les structures agréées pour traitement.
Faune	-Dégradation des habitats de la faune due à l'abattage d'arbres dans l'emprise des travaux ; -Perturbation de la quiétude faunique due au bruit, aux vibrations des engins.	-Sensibiliser les ouvriers au respect des espèces animales. -Respecter le code de la route -Limiter la vitesse des engins et véhicules à 30 km/h sur le chantier

Composante Environnementale et Sociale	Impacts potentiels/Risques	Mesures Environnementales et Sociales
	-Risque de collision entre les engins du chantier et les animaux domestiques	
Sécurité	-Accidents de circulation avec le personnel de chantier, les usagers et les populations locales dues à la circulation des engins et véhicules de chantier souvent liés au non-respect des consignes de sécurité ; -Perturbation temporaire de la circulation routière pendant les travaux rendant difficile l'accès des riverains à leurs habitations et aux services essentiels situés le long du tracé.	-Sensibiliser les ouvriers et les populations riveraines au respect des mesures sécuritaire du chantier ; -Sensibiliser le personnel du chantier au port obligatoire des équipements de protection individuelle ; -Signaler adéquatement le chantier (panneaux, rubans, balises) -Sensibiliser le personnel du chantier au respect du code de la route ; -Faire réguler la circulation par les porteurs de drapeau au niveau des zones à risques (intersections de route, sortie de camion, écoles, centre de santé, marchés).
Santé publique	-Développement des maladies respiratoires et oculaires chez les usagers de la route et les populations riveraines dues au soulèvement des poussières et aux fumées par la circulation des engins lors des travaux ;	- Arroser les zones poussiéreuses pour limiter au maximum la poussière ; -Sensibilisation des populations riveraines et le personnel du chantier sur les IST et le VIH/SIDA, les hépatites et les grossesses non désirées ;

Composante Environnementale et Sociale	Impacts potentiels/Risques	Mesures Environnementales et Sociales
	-Propagation de maladies sexuellement transmissibles comme les IST, le VIH/SIDA due au comportement à risque des ouvriers et du genre féminin dans la zone du projet ; -Nuisances pour la population locale due aux bruits et vibrations engendrés par les engins de chantier en travaux. -Risques de contraction de grossesses non désirées due au comportement à risque du personnel et des jeunes dans la zone du projet.	-Limiter les heures d'expositions des travailleurs et les populations riveraines au bruit ; -Doter la main d'œuvre d'Equipement de Protection Individuelle adapté ; -Approvisionner la main d'œuvre en eau potable ; -Réaliser des visites médicales annuelles pour le personnel de chantier ; -Signer une convention avec un centre de santé le plus proche pour la prise en charge en cas d'accident ou de blessure.
Activités économiques	-Perturbations temporaires des activités économiques sur le long du tronçon de la route concernée par le projet	-Maintenir et faciliter les accès aux activités économiques qui longe le tronçon de route ; -Indemniser les biens détruits accidentellement ; respecter l'emprise utile des travaux ; -Informers à l'avance les riverains du démarrage des travaux sur le tronçon de route ;

Composante Environnementale et Sociale	Impacts potentiels/Risques	Mesures Environnementales et Sociales
Circulation et transport	-Perturbation temporaire de la circulation sur le tronçon de route du projet, accès aux services et domiciles des riverains du tronçon de route du projet. -Risques d'accidents de circulation due à l'aménagement de la route ;	-Mettre en place un plan de gestion du trafic, avec déviations temporaires et signalisation claire (panneaux, balisage, ruban etc.) ; - Limiter la vitesse des engins et véhicules à 30 km/h sur le chantier. -Respecter le code de la route -Faire réguler la circulation par les porteurs de drapeau au niveau des zones à risques (intersections de route, sortie de camion, écoles, centre de santé, marchés)
Emploi	-Création d'emploi	-Favoriser le recrutement de la main d'œuvre locale ; -Respecter le code de travail au Burkina Faso ;
Conditions de vie et bien-être des populations	-Perturbation des conditions de vie et bien être des populations riveraines causées par les nuisances sonores, les émissions de poussière et aux rejets de fumée ; -Désagrément pour les populations locales due aux risques d'interruption temporaire des réseaux. -Risques de conflits entre l'entreprise et la population locale due au soulèvement de poussière, au non-respect des	-Limiter les heures d'expositions des travailleurs et les populations riveraines au bruit ; -Arroser suffisamment l'emprise des travaux -Indemniser les biens détruits accidentellement ; respecter l'emprise utile des travaux ; -Eclairer le tronçon de route du projet afin de renforcer la sécurité de la population ;

Composante Environnementale et Sociale	Impacts potentiels/Risques	Mesures Environnementales et Sociales
	coutumes et us locaux, profanation des sites sacrés des lieux de culte, au destruction accidentelles de biens ;	-Planifier les coupures de réseaux en collaboration avec les concessionnaires (ONEA, SONABEL et opérateurs télécom) et informer les riverains à l'avance ; - Assurer un bon entretien des engins et éviter tout brûlage sur site pour réduire les émissions de fumée.

Annexe 7: Coût global du projet

1- Avant-métré

Les différentes quantités des matériaux sont présentées dans les tableaux suivants :

Tableau 7-1 : Volume de curage des dalots existants

Curage des dalots existants			
Epaisseur boue : $ep = 20$ cm			
Longueur	Largeur	Section	Volume (m ³)
6,8613	2	1 X 200 X 100	2,74452
8,4207	2	1 X 200 X 120	3,36828
Total			6,1128

Tableau 7-2 : Quantité des matériaux

Matériaux	Unité	Volume total
VOLUME DE TERRASSEMENT		
Déblai	m ³	19515
Remblai	m ³	87564
Total volume terrassement		107079
VOLUME DE CHAUSSEE		
Couche de forme en graveleux latéritique de 20 cm	m ³	24059,59412
Couche de fondation en graveleux latéritique de 20 cm	m ³	24059,59412
Couche de base en graveleux latéritique de 15 cm	m ³	18044,69559
Couche de roulement en béton bitumineux de 5 cm	m ³	4172,472535
Accotement en enduit superficiel de 2 cm (hors agglomération)	m ³	292,572327
Accotement en enduit superficiel de 2 cm (agglomération)	m ³	75,912872
Réalisation de parking de stationnement	m ³	215,25
Fourniture et mise en œuvre des pavés autobloquants de 6 cm	m ²	3795,6436
Fourniture et mise en œuvre des bordures de type T2	ml	3795,6436
Mise en œuvre de l'imprégnation au cut-back 0/1	m ²	83449,4507
Mise en œuvre d'une couche d'accrochage	m ²	83449,4507
Réalisation des amorces des pistes	m ³	19,2522
Total volume de Chaussée		70628,92869
FOURNITURE DE PEINTURE ANTI RETRO		
Marquage axiale discontinu	ml	11650,233
Marquage de rive discontinu	ml	23300,466
Marquage passage piéton, zone stop	m2	250
Total peinture		
FOURNITURES DES BORDURES		

Bordure type T2	ml	3795,6436
Eclairage public		
Kit complet candélabres et lumineuses	U	41

Tableau 7-3 : Volume de démolition des radiers existants

Démolition des radiers existants					Démolition des buses existants	
	Longueur	Largeur	Epaisseur	Volume (m3)	Diamètre	Longueur
1	58,3092	5,6958	0,25	83,0293853	80	5,3085
2	30,2182	5,9566		44,9994325	90	4,8734
3	39,8369	5,8864		58,623982	80	4,7023
4	19,9735	5,7724		28,8237579	80	5,3737
5	20,0075	5,9616		29,819178	90	4,8915
6	18,6755	5,1597		24,0899943	80	4,9055
7	30,048	5,9744		44,8796928	90	5,2148
Volume Total				314,265423	Total	35,2697

Tableau 7-4 : Quantité des matériaux des ouvrages hydrauliques

OUVRAGES EN BETON ARME													
Qts	Dalots	Matériaux	Volume tablier	Volume radier	Volume piédroits	Volume mur en aile	Volume semelle	Volume total/dalot	volume total	Volume fouille/dalot	Volume Total	Volume béton de propreté	Volume total
Type 01			e=30cm	e=30cm	e=30cm	e=25cm	e=35cm	V1	V1	ep = 10cm			
1	4 x 350 x200	Béton	55,8	55,8	36	7,876	9,5172	164,9932	164,9932	475,2	475,2	18,84	18,84
		Acier(kg.m³)	5580	5580	3600	787,6	951,72	16499,32	16499,32				
Type 02			e=30cm	e=30cm	e=30cm	e=20cm	e=30cm	V2	V2	ep =10cm			
7	1 x 200 x120	Béton (m³)	7,8	7,8	7,2	3,77	5,1012	31,6728	221,7096	57,6	403,2	2,8	19,6
		Acier(kg.m³)	780	780	720	377	510,12	3167,28	22170,96				
Type 03			e=30cm	e=30cm	e=30cm	e=20cm	e=30cm	V3	V3	ep =10cm			
1	1 x 200 x100	Béton (m³)	7,8	7,8	6	3,278	4,7892	29,6672	29,6672	50,4	50,4	2,8	2,8
		Acier(kg.m³)	780	780	600	327,8	478,92	2966,72	2966,72				
Type 04			e=30cm	e=30cm	e=30cm	e=20cm	e=30cm	V4	V4	ep =10cm			
2	1 x 100 x100	Béton (m³)	4,8	4,8	6	3,278	4,7892	23,6672	47,3344	36,4	72,8	1,8	3,6
		Acier(kg.m³)	480	480	600	327,8	478,92	2366,72	4733,44				
Type 05			e=30cm	e=30cm	e=30cm	e=25cm	e=35cm	V5	V5	ep =10cm			
6	2 x 300 x150	Béton (m³)	29,7	29,7	13,5	5,715	6,4974	85,1124	510,6744	150,1	900,6	7,1	42,6
		Acier(kg.m³)	2970	2970	1350	571,5	649,74	8511,24	51067,44				
Type 06			e=30cm	e=30cm	e=30cm	e=20cm	e=30cm	V6	V6	e =10cm			
3	1 x 150 x100	Béton (m³)	7,56	7,56	7,2	3,278	4,7892	30,3872	91,1616	52,08	156,24	2,76	8,28
		Acier(kg.m³)	756	756	720	327,8	478,92	3038,72	9116,16				
Type 07			e=30cm	e=30cm	e=30cm	e=25cm	e=35cm	V7	V7	ep =10cm			
1	3 x 350 x150	Béton (m³)	35,1	35,1	21,6	5,715	5,5692	103,0842	103,0842	241,3	241,3	11,9	11,9
		Acier(kg.m³)	3510	3510	2160	571,5	556,92	10308,42	10308,42				

2- Dévis estimatif

Tableau 7-5 : Dévis estimatif

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
100	INSTALLATION GENERALE DU CHANTIER				
100.1	Installation de chantier/amenée et repli de chantier	FF	1	134 987 125	134 987 125
100.2	Démolition des bâtis se trouvant dans l'emprise de la route	FF	3	150 000	450 000
Total Installation générale du chantier					135 437 125
200	TRAVAUX PREPARATOIRES				
200.1	Abattage des arbres de circonférence supérieure à 1 m	U	40	38 500	1 540 000
200.2	Nettoyage et débroussaillage de l'emprise de la route	m ²	250480,01	300	75 144 003
200.3	Curage d'ouvrages existants (Dalots et buses)	m ³	6,11	29 500	180 328
200.4	Décapage de terre végétale	m ³	23383	400	9 353 200
200.5	Démolition de buses en béton ou métalliques	ml	35,27	42 500	1 498 962
200.6	Démolition d'ouvrages existants en béton armé	m ³	314,27	49 000	15 399 006
	Dépose de panneaux publicitaires existants	U	8	50 000	400 000
Total Travaux préparatoires					103 515 498
300	TERRASSEMENT				
300.1	Remblais ordinaires provenant d'emprunt y compris extraction, transport et mise en œuvre	m ³	87564	8 000	700 512 000
300.2	Déblais	m ³	19515	6 500	126 847 500
300.3	Reprofilage des espaces de l'emprise (largeur emprise-chaussée et son assainissement)	m ²	25620,59	4 000	102 482 377
Total terrassement					929 841 877

400	CHAUSSEE ET REVETEMENT				
400.1	Fourniture et mise en œuvre du revêtement en béton bitumineux de 5cm	m ³	4172,47	329 500	1 374 829 700
400.2	Fourniture et mise en œuvre de graveleux latéritique naturel pour couche de forme de 20 cm	m ³	24059,59	6 000	144 357 565
400.3	Fourniture et mise en œuvre de graveleux latéritique naturel pour couche de fondation de 20 cm	m ³	24059,59	7 000	168 417 159
400.4	Fourniture et mise en œuvre de graveleux latéritique naturel pour couche de base de 15 cm	m ³	18044,70	8 500	153 379 913
400.5	Fourniture et mise en œuvre de l'accotement en enduit superficiel monocouche	m ³	292,57	4 000	1 170 289
400.6	Fourniture et mise en œuvre de l'accotement en enduit superficiel bicouche	m ³	75,91	7 300	554 164
400.7	Réalisation de parking de stationnement en béton	m ³	215,25	275 000	59 193 750
400.8	Fourniture et mise en œuvre des pavés autobloquants de 6 cm	m ²	3795,6436	16 000	60 730 298
400.9	Fourniture et mise en œuvre des bordures de type T2	ml	3795,64	21 100	80 088 080
400.10	Mise en œuvre de l'imprégnation au cut-back 0/1	m ²	83449,45	760	63 421 583
400.11	Mise en œuvre d'une couche d'accrochage	m ²	83449,45	550	45 897 198
400.11	Réalisation des amorces des pistes	m ³	19,25	4 000	77 009
Sous total Chaussée et revêtement					2 152 116 706
500	OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT				
500.1	Exécution des fossés trapézoïdale en perré maçonné	m ³	740,15	23 100	17 097 477
500.2	Exécution des fossés triangulaires	m ³	59428,75	10 000	594 287 539
500.3	Dalot de 4 X 350 X 200				
500.3.1	Fouilles	m ³	475,2	6 500	3 088 800
500.3.2	Béton de propreté dosé à 150 kg/m3	m ³	18,84	77 500	1 460 100
500.3.3	Béton dosé à 350 kg/m3	m ³	164,99	222 500	36 710 987
500.3.4	Acier HA en FeE400	kg	16499,32	1 400	23 099 048

Sous total					64 358 935
500.4	7 X Dalot de 1 X 200 X 120				
500.4.1	Fouilles	m ³	403,2	6 500	2 620 800
500.4.2	Béton de propreté dosé à 150 kg/m3	m ³	19,6	77 500	1 519 000
500.4.3	Béton dosé à 350 kg/m3	m ³	221,71	222 500	49 330 386
500.4.4	Acier HA en FeE400	kg	22170,96	1 400	31 039 344
Sous total					84 509 530
500.5	Dalot de 1 X 200 X 100				
500.5.1	Fouilles	m ³	50,4	6 500	327 600
500.5.2	Béton de propreté dosé à 150 kg/m3	m ³	2,8	77 500	217 000
500.5.3	Béton dosé à 350 kg/m3	m ³	29,67	222 500	6 600 952
500.5.4	Acier HA en FeE400	kg	2966,72	1 400	4 153 408
Sous total					11 298 960
500.6	2 X Dalot de 1 X 100 X 100				
500.6.1	Fouilles	m ³	72,8	6 500	473 200
500.6.2	Béton de propreté dosé à 150 kg/m3	m ³	3,6	77 500	279 000
500.6.3	Béton dosé à 350 kg/m3	m ³	47,33	222 500	10 531 904
500.6.4	Acier HA en FeE400	kg	4733,44	1 400	6 626 816
Sous total					17 910 920
500.7	6 X Dalot de 2 X 300 X 150				
500.7.1	Fouilles	m ³	900,6	6 500	5 853 900
500.7.2	Béton de propreté dosé à 150 kg/m3	m ³	42,6	77 500	3 301 500
500.7.3	Béton dosé à 350 kg/m3	m ³	510,67	222 500	113 625 054
500.7.4	Acier HA en FeE400	kg	51067,44	1 400	71 494 416
Sous total					194 274 870
500.8	3 X Dalot de 1 X 150 X 100				
500.8.1	Fouilles	m ³	156,24	6 500	1 015 560
500.8.2	Béton de propreté dosé à 150 kg/m3	m ³	8,28	77 500	641 700
500.8.3	Béton dosé à 350 kg/m3	m ³	91,16	222 500	20 283 456

500.8.4	Acier HA en FeE400	kg	9116,16	1 400	12 762 624
Sous total					34 703 340
500.9	Dalot de 3 X 350 X 150				
500.9.1	Fouilles	m ³	241,3	6 500	1 568 450
500.9.2	Béton de propreté dosé à 150 kg/m3	m ³	11,9	77 500	922 250
500.9.3	Béton dosé à 350 kg/m3	m3	103,08	222 500	22 936 235
500.9.4	Acier HA en FeE400	kg	10308,42	1 400	14 431 788
Sous total					39 858 723
Total ouvrage d'assainissement					1 058 300 293
600	SIGNALISATION-SECURITE-ECLAIRAGE				
600.1	Fourniture et pose de borne kilométrique	U	3	33 850	101 550
600.2	Fourniture et pose de balise en béton pour ouvrage d'assainissement	U	10	19 850	198 500
600.3	Fourniture et pose des panneaux de signalisation de type A	U	6	142 200	853 200
600.4	Fourniture et pose des panneaux de signalisation de type B ou AB	U	10	142 200	1 422 000
600.5	Fourniture et pose des panneaux de signalisation de type C, D, E ou J5	U	26	148 700	3 866 200
600.6	Marquage en peinture rétro réfléchissante axiale discontinue	ml	11650,23	3 600	41 940 839
600.7	Marquage en peinture rétro réfléchissante de rive discontinue	ml	23300,47	3 600	83 881 678
600.8	Marquage en peinture rétro réfléchissante spécial (Stop, Passage piéton)	m ²	250	5 750	1 437 500
600.9	Fourniture et installation de candélabre simple crosse	U	41	1 750 000	71 750 000
600.10	Fourniture et pose de feux tricolores	U	4	3 500 000	14 000 000
Total Signalisation-Sécurité-Eclairage					219 451 466
700	MESURES COMPENSATRICES ENVIRONNEMENTALES ET SOCIALES				
700.1		FF	3	15 000 000	45 000 000

Etude technique détaillée des travaux d'aménagement et du bitumage de routes de désenclavement des zones à forte production agricole au Burkina Faso : cas du tronçon Tienzan-Lanfièra (11,650 km)

	Compensation si possible des biens affectés dans les emprises des travaux				
700.2	Plantation de compensation d'arbre Fruitières abattus	U	45	12 500	562 500
700.3	Plantation de compensation d'arbre non fruitiers abattus	U	155	9 000	1 395 000
700.4	Sensibilisation du personnel de chantier et des populations riveraines du tronçon de route au respect des consignes de sécurité routière	FF	3	500 000	1 500 000
700.5	Réalisation de sacrifices par les coutumiers de la zone du projet pour le bon déroulement des travaux	FF	1	1 500 000	1 500 000
700.6	Sensibilisation auprès du personnel de chantier et des riveraines sur le VIH/SIDA, les IST et les grossesses non désirées	FF	3	500 000	1 500 000
Total mesures compensatrices environnementales et sociales					50 895 000

N°	DESIGNATIONS	MONTANT TOTAL
100	Installation générale du chantier	135 887 125
200	Travaux préparatoires	103 515 498
300	Terrassement	929 841 877
400	Chaussée et revêtement	2 152 116 706
500	Ouvrage d'assainissement	1 058 300 293
600	Signalisation-Sécurité-Eclairage	219 451 466
700	Mesures compensatrices environnementales et sociales	50 895 000
Total (F CFA HT) (1)		4 650 007 967
TVA 18% de (1): (2)		837 001 434
Total (F CFA TTC) (1) + (2): (3)		5 487 009 401
Coût Kilométrique du projet (F CFA)		470 978 512