Etude technique détaillée des travaux d'aménagement de la Voie Principale n°4 d'accès à la Zone Industrielle de Kossodo (2,3 km environ) : de l'entreprise CIMAF à l'intersection avec la Route Nationale n°3

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGÉNIEUR 2IE AVEC GRADE MASTER

SPÉCIALITÉ GÉNIE CIVIL : BATIMENTS ET TRAVAUX PUBLICS

Présenté et soutenu publiquement le 15/07/2026 par :

MOUSSA ABDOU ALI Souleymane (2013 1251)

Directeur de mémoire : **Dr Seick Omar SORE**, Maître Assistant (CAMES), Université Nazi Boni (UNB)

Maitre de stage : **Mr Abdourahamane MAHAMAN BAOUA**, Ingénieur de Conception en Génie Civil, TECHNI CONSULT

Structure d'accueil : TECHNI CONSULT

Jury d'évaluation du stage :

Président : Prof Abdou LAWANE GANA

Membres et correcteurs : Dr Nafissatou SAVADOGO

Dr Decroly DJOUBISSIE DENOUWE

Promotion [2025/2026]

DEDICACES

Je dédie ce document à :

Mon défunt Père, feu **ABDOU ALI Moussa**, puissiez-vous reposer en paix. Merci pour vos enseignements et votre patience ; j'espère vous rendre fier et incarner toutes ces valeurs et ce pilier que vous représentez pour notre famille. Qu'Allah vous accorde sa miséricorde et Al-Firdaws pour l'éternité. Vous resterez à jamais dans nos cœurs.

Ma mère, **SANOUSSI Adama**, pour votre amour, et toutes ces nuits passées à prier ; merci pour votre soutien. Vos sacrifices ne seront pas vains, Incha Allah, qu'Allah vous garde.

Mes frères et sœurs, pour tout votre soutien et votre générosité.

A toute ma famille maternelle et paternelle, recevez à travers ces quelques lignes le témoignage de toute ma gratitude. Puisse ce travail vous rendre fiers.

La famille **ABDRAHMANE Ousseini** qui est ma seconde famille, vous représenterez toujours ce modèle de cohésion et de sagesse pour moi ; merci d'être présents dans nos cœurs. Qu'Allah vous bénisse.

La famille **TANKARI Riba**, ma belle-famille ce travail est le vôtre. Dieu vous bénisse.

REMERCIEMENTS

Je souhaiterais, à travers ce rapport, adresser mes sincères remerciements auprès des personnes qui de loin ou de près auraient pu contribuer à l'élaboration de cet humble travail. Plus précisément, je tenais à exprimer ma profonde gratitude et mon respect :

- A l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (Institut 2iE), qui m'a accueilli, encouragé et m'a offert un cadre adéquat pour mon apprentissage et mon épanouissement intellectuel ;
- A l'ensemble du corps professoral et administratif pour leur écoute, la qualité et la diversité des cours dispensés ;
- A mon Directeur de mémoire, Dr Seick Omar SORE pour ses orientations techniques, ses remarques et ses conseils afin d'enrichir ma réflexion tout le long de ce travail ;
- A mes frères ISSOUFOU Abdoulaye, MAY Mamadou, SEINI Hassane, RIZIK Adam, SADIKOU Salim, MOURTALA Moustapha, ZERBO Hafiz, GARBA Abraham, ISSIAKA Moïse et à tout ce que j'ai oublié de citer, merci pour tous les efforts consentis à mon égard et merci toute cette patience ;
- A madame LIMAM Assiyatou, attachée académique à l'ambassade du Niger, merci pour le temps consacré, pour votre soutien et tous les efforts consentis ;
- A mes amis, camarades, parents de la communauté nigérienne merci pour votre fraternité ;

Je tiens à remercier, par la même occasion à ma structure d'accueil, le bureau d'études et ingénieurs conseils, TECHNI CONSULT pour m'avoir donné la chance d'intégrer leur équipe et en grande partie avoir été artisan de la réussite de ce projet. J'adresserais particulièrement mes remerciements à :

- Monsieur Adamou IDI, Directeur Général de Techni Consult Burkina Faso, pour m'avoir accueilli au sein de sa structure et m'avoir permis de réaliser ce stage de fin de cycle ;
- Mon encadreur externe, Mr Abdourahamane MAHAMAN BAOUA, Ingénieur chargé d'études techniques au sein de Techni Consult, pour les orientations données et son enseignement ;
- A Monsieur, Abdoul Nasser IDI YACOUBA, Ingénieur au sein de Techni Consult, pour sa disponibilité, son aide précieuse et tous nos différents échanges.

CITATIONS

« C'est dans l'effort que l'on trouve la satisfaction et non dans la réussite. Un plein effort est une pleine victoire. »

Gandhi

« *Le plus difficile est de se décider à agir, le reste n'est que de la ténacité* »

Amelia Earheart

RESUME

Ce mémoire présente l'étude conceptuelle et le dimensionnement de la voie principale numéro 4 (VP4) d'accès à la zone industrielle de Kossodo, reliant l'entreprise CIMAF à la nationale numéro 3 (RN3) au Burkina Faso. Ce projet s'inscrit dans la politique gouvernementale qui consiste à redynamiser l'économie du pays en facilitant l'accès aux zones à fort potentiel commercial. La présente étude vise à proposer une chaussée sûre et techniquement viable sur cet axe d'intérêt majeur.

Cette voie d'accès longue de 2 260 m est catégorisée type U en référence aux voies rapides constituant un réseau de voirie très urbanisé ou à devenir très urbanisé et a été dimensionnée avec une vitesse de référence de 60 km/h. Afin d'identifier et de choisir la structure de chaussée la plus adaptée pour recevoir le trafic poids lourds (T4) intense de la zone, ce travail propose de comparer sur les plans techniques, économiques et environnementaux deux variantes de chaussée : rigide et souple. L'analyse des résultats a permis de retenir la chaussée rigide constituée d'une couche de roulement en béton armé continu (BAC) de 21 cm et d'une couche d'assise en béton maigre (BC3) de 14 cm d'épaisseur, le tout reposant sur une plateforme support constituée de graves latéritiques de type PF3 possédant des caractéristiques de portance évaluées à 200 MPa. Pour optimiser les performances de cette chaussée, des ouvrages connexes sont prévus. Il s'agit d'un dalot de dimensions (2 x 2 x 1 m) et d'un caniveau de section hydraulique (80 x 80 cm) qui serviront notamment à la collecte des eaux de surface et au rétablissement des écoulements naturels.

Le coût global pour la réalisation de telles infrastructures est estimé à environ cinq milliards cinq cent vingt et un millions trois cent soixante-dix-neuf mille six cent onze (5 521 379 611) Francs FCFA HT. Ce montant intègre aussi un ensemble de mesures environnementales et sociales à prendre en compte pour le bon déroulement du projet.

Mots clés :

1- Aménagement
2- Trafic poids lourds
3- Chaussée rigide
4- Zone industrielle
5- Coût global

ABSTRACT

This thesis presents the conceptual design and sizing of main access road number 4 (VP4) to the Kossodo industrial zone, connecting Cimaf to national highway number 3 (RN3) in Burkina Faso. This project is part of the government's policy to revitalize the country's economy by facilitating access to areas with high commercial potential. This study aims to propose a safe and technically viable roadway for this major route.

This 2 260-meter-long access road is classified as Type U, referring to expressways that form part of a highly urbanized road network or one that is set to become highly urbanized, and has been designed for a reference speed of 60 km/h. To identify and select the most suitable pavement structure for handling the area's heavy truck traffic (T4), this study proposes a technical, economic, and environmental comparison of two pavement options: rigid and flexible. The analysis of the results led to the selection of a rigid pavement consisting of a 21 cm thick continuous reinforced concrete (BAC) wearing course and a 14 cm thick lean concrete (BC3) base course, all resting on a support platform consisting of PF3-type lateritic gravel with a bearing capacity estimated at 200 MPa. To optimize the performance of this pavement, related structures must be planned. These include a culvert measuring 2 x 2 x 1 m and a drainage channel with a hydraulic cross-section of 80 x 80 cm, which will be used primarily for surface water collection and the restoration of natural water flow.

The total cost for the construction of this infrastructure is estimated at approximately five billion five hundred twenty-one million three hundred seventy-nine thousand six hundred eleven (5 521 379 611) CFA francs excluding tax. This amount also includes a set of environmental and social measures to be implemented to ensure the project's successful execution.

Key words:

1- Development
2- Heavy-duty traffic
3- Rigid pavement
4- Industrial zone
5- Total cost

LISTE DES ABREVIATIONS

Symbole	Nom	Unité	Valeurs
2iE	Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement	-	-
AIPCR	Organisation Mondiale de la Route	-	-
ARP	Aménagement des routes principales	-	-
BAC	Béton armé continu	cm	21
BB	Béton bitumineux	cm	8
BC3	Béton de ciment de classe 3	cm	14
BC5	Béton de ciment de classe 5	cm	21
BDD	Bande dérasée droite	m	-
BDG	Bande dérasée gauche	m	-
BV	Bassin versant	-	-
CAM	Coefficient d'Agressivité Moyenne	-	-
CBR	California Bearing Ratio	%	-
Cr	Coefficient de Répartition Transversale	-	1
FID	Font inter tropical	-	-
GB	Grave bitume	cm	20
GNSS	Géolocalisation et navigation par système de satellites	-	-
HRB	Highway Research Board	-	-
ICTAAL	Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des autoroutes de liaisons	-	-
ICTARN	Instructions sur les conditions techniques d'aménagement des routes nationales	-	-
ICTAVRU	Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des voies rapides urbaines	-	-
INSD	Institut national de la statistique et de la démographie	-	-
LNBTP	Laboratoire national des travaux publics	-	-
PA-DS	Plan d'action pour la stabilisation et le développement	-	-
Rdm	Rayon au dévers minimal	m	-
Rm	Rayon minimal	m	-
Rnd	Rayon non déversé	m	-
TC	Trafic cumulé poids lourds	PL	2,77 E+6
TMJA	Trafic à l'année de mise en service	Véh/jr/sens	114
TPC	Terre-plein central	m	-
Vr	Vitesse de référence	km/h	60
VRS	Voies du réseau structurant	-	-

TABLE DES MATIERES

DEDICACES i

REMERCIEMENTS ii

CITATIONS iii

RESUME iv

ABSTRACT v

LISTE DES ABREVIATIONS vi

LISTE DES TABLEAUX x

LISTE DES FIGURES xii

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET 3

Introduction 3

I.1. Présentation de la structure d'accueil 3

I.1.1. Domaines d'activités 3

I.1.2. Expérience et Collaboration 4

I.1.3. Organigramme TECHNI CONSULT (Burkina Faso) 5

I.2. Présentation du projet 6

I.2.1. Situation de la zone d'étude 6

I.2.2. Caractéristiques du milieu physique 7

I.2.3. Cadre administratif et population 8

I.3. Contexte et justification du projet 9

I.4. Objectifs de l'étude 10

I.5. Etat des Lieux 10

Conclusion 11

CHAPITRE II : CONCEPTION DES ELEMENTS GEOMETRIQUES ET DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE LA CHAUSSEE 12

Introduction 12

II.1. Conception des éléments géométriques 12

II.1.1. Type et catégorie de route 12
II.1.2. Principales caractéristiques de la route 13
II.1.3. Paramètres dynamiques 15
II.2. Analyse des données géotechniques 18
II.2.1. Sondages 19
II.2.2. Synthèse des essais sur le sol support 19
II.2.3. Caractéristiques du sol support 21
II.3. Etude de trafic 21
II.3.1. Comptages et hypothèses de départ 22
II.3.2. Détermination du trafic 23
II.3.3. Classe de trafic 24
II.4. Dimensionnement de la structure du corps de chaussée 25
II.4.1. Méthodologie de calcul 25
II.4.2. Chaussée rigide 26
II.4.3. Chaussée souple 31
II.5. Vérification des épaisseurs de chaussées et choix de la variante 32
II.5.1. Vérification des épaisseurs de chaussée 32
II.5.2 Choix de la variante 34
Conclusion 37
CHAPITRE III : ETUDE DES OUVRAGES HYDRAULIQUES 38
Introduction 38
III.1. Etude hydrologique 38
III.1.1. Réseau hydrographique et caractéristiques des bassins versants 38
III.1.2. Période de retour 41
III.1.3. Méthodes d'estimation des débits 41
III.1.4. Débits-projets retenus 43
III.2. Etude hydraulique 44
III.2.1. Ouvrages longitudinaux 44
III.2.2. Ouvrages transversaux 46
III.3. Drainage routier 48
III.4. Etude structurale des ouvrages hydrauliques 49

III.4.1. Hypothèses de calcul 50
III.4.2. Prédimensionnement des différents ouvrages 52
III.4.3. Dimensionnement structural des ouvrages 53
Conclusion 60
CHAPITRE IV : NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL ET EVALUATION DU COÛT GLOBAL DU PROJET 61
Introduction 61
IV.1. Notice d'impact environnemental 61
IV.1.1. Définition des concepts 61
IV.1.2. Cadres légaux 62
IV.1.3. Identification des impacts sur l'environnement 64
IV.1.4. Evaluation des impacts sur l'environnement 64
IV.1.5. Hiérarchisation des risques et mesures préventives sur la santé et la sécurité sur site 64
IV.1.6. Mesure d'atténuation et de bonification des risques 65
IV.2. Estimation du coût global du projet 66
Conclusion 67
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS 68
Conclusion générale 68
Recommandations 69
BIBLIOGRAPHIE 70
ANNEXES : I
LISTES DES ILLUSTRATIONS II

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1 : Liste des partenaires 4
Tableau I-2 : Répartition des sols dominants dans la commune de Ouaga (en km^2) 8
Tableau II-1: Principales caractéristiques de la voie 14
Tableau II-2: Paramètres essentiels du tracé en plan et du profil en long 16
Tableau II-3: Caractéristiques géométriques retenues (Route U 60 2x2 voies) 17
Tableau II-4:Résultats de caractérisation des sols sondés 20
Tableau II-5: Synthèse du comptage réalisé 22
Tableau II-6: Valeurs du trafic cumulé équivalent 24
Tableau II-7: Classe de trafic (CEBTP) 24
Tableau II-8: Epaisseurs retenues avec le guide du Certu et validées avec Struct Urb .. 26
Tableau II-9: Paramètres des couches pour la chaussée rigide 29
Tableau II-10: Fers de Liaison 29
Tableau II-11: Armatures longitudinales sur un sens de la voie 30
Tableau II-12: Epaisseurs retenues avec le CEBTP et validées avec Struct Urb 31
Tableau II-13: Vérification des critères admissibles et choix des épaisseurs des couches (chaussée rigide) 33
Tableau II-14: Vérification des critères admissibles et choix des épaisseurs des couches (chaussée souple) 34
Tableau II-15: Etude comparative selon les critères techniques et environnementaux (chaussée rigide, chaussée souple) 36
Tableau III-1: Caractéristiques des bassins versants 39
Tableau III-2: Choix de la période de retour (source : Jamel Neji, 2005) 41
Tableau III-3: Valeurs des débits-projets 44
Tableau III-4: Paramètres hydrauliques du caniveau par la méthode de débitance 45
Tableau III-5: Caractéristiques du dalot. 48
Tableau III-6: Choix du béton en fonction de la classe d'exposition (Source : EN 206) 50
Tableau III-7 : Evaluation des charges et sollicitations exercées sur le caniveau 54
Tableau III-8 : Récapitulatif des sections d'acier définitives retenues (Caniveau) 55
Tableau III-9 : Evaluation des charges permanentes appliquées au dalot 57
Tableau III-10 : Charges variables et combinaison de charge à l'ELS 58
Tableau III-11 : Récapitulatif des sections d'acier par nappe définitives du dalot 59
Tableau IV-1 : Listes des impacts majeurs identifiés 64

Tableau IV-2 : Risques majeurs identifiés et mesures préventives 65
Tableau IV-3 : Risques majeurs identifiés pour l'environnement et mesures d'atténuation et de bonification proposées 66
Tableau IV-4 : Devis estimatif du projet 67

LISTE DES FIGURES

Figure I-1: Organigramme de l'entreprise 5
Figure I-2: Carte de situation de la province de KADIOGO (Ouagadougou)..... 6
Figure I-3: Présentation de la zone de projet (Google Earth)..... 7
Figure I-4: Inspection visuelle de la VP4 11
Figure II-1 : Profils courants pour les routes de type U (Source : ICTAVRU)..... 17
Figure II-2 : Profil en travers de la voie principale 4 dessiné avec AutoCad..... 18
Figure II-3 : Mise en place des armatures pour béton armé continu (Source : Pavement Design : Materials, Analysis and Highway, RASHAD Islam)..... 31
Figure II-4: Etude comparative des chaussées rigides et souples suivant le critère économique..... 35
Figure III-1: Délimitation des bassins versants avec ArcGis 39
Figure III-2 : Plan de ferraillage du caniveau de (80 x 80 cm) 55
Figure III-3 : Valeurs des moments obtenus à l'aide de Pybar 59
Figure III-4 : Plan de ferraillage du dalot 60

INTRODUCTION GENERALE

Le transport représente un acteur principal de la croissance économique d'un pays, faisant des routes revêtues un outil de mesure du développement. Pour les pays enclavés, les routes représentent le mode de transport prépondérant à la fois pour permettre la circulation des biens et marchandises, mais aussi celle des personnes. La planification, la conception, la réalisation et l'entretien d'une route relèvent du génie civil. Ainsi, la mise en place d'un réseau routier durable, sûr et capable d'accueillir un trafic routier croissant est réservée aux ingénieurs en génie civil.

Au Burkina Faso, afin d'accroitre la productivité des différents services opérant dans la zone industrielle de Kossodo, l'état, à travers le volet numéro 4 du plan d'action pour la stabilisation et le développement (PA-SD), a entrepris des études d'aménagement des voies permettant l'acheminement à grande échelle de marchandises industrielles (ciment, clinker, gypse…) et d'autres produits manufacturés. Notre projet de fin d'études, intitulé « **Etude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage de la voie principale n°4 d'accès à la zone industrielle de Kossodo** », s'inscrit dans le cadre d'une voirie qui permettrait de redorer l'image du réseau routier de ladite zone.

En effet, l'empreinte de ce réseau de voirie représente un véritable calvaire pour les populations riveraines, les véhicules légers et poids lourds, vu l'état de dégradation avancée de la route qui n'a pas été aménagé ni entretenu depuis plusieurs années. L'objectif global de cette étude sera de concevoir un modèle de chaussée capable de reprendre les charges engendrées par le trafic de la route qui relie l'entreprise cimentaire CIMAF à la route nationale numéro 3 (RN3) longue d'environ 2,3 km. Afin d'arriver à ce résultat, quelques axes spécifiques ont été définis. Il s'agira de :

- ♣ réaliser un diagnostic de la voie existante et récolter les données essentielles;
- ♣ concevoir et dimensionner la structure de chaussée ;
- ♣ dimensionner les ouvrages d'assainissement ;
- ♣ proposer une notice d'impact environnemental et social
- ♣ proposer les études financières et économiques…

Ce document est subdivisé en quatre chapitres présentés de la manière suivante :

- ♣ Chapitre I : Présentation de la structure d'accueil et du projet ;

- Chapitre II : Conception des éléments géométriques et dimensionnement de la structure de chaussée
- Chapitre III : Etude des ouvrages hydrauliques ;
- Chapitre IV : Notice d'impact environnemental et social et évaluation budgétaire du projet.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons tout d'abord présenter notre structure d'accueil, nous définirons ensuite le cadre global du projet et les objectifs de la présente étude.

I.1. Présentation de la structure d'accueil

Le Bureau d'Études et Ingénieurs Conseils TECHNI CONSULT, a été créé en 1988 par l'Ingénieur civil, Monsieur Ibrahim GALADIMA. La création de cette structure relève du programme de départ volontaire impliquant des cadres africains. Cette initiative encouragée par la Banque Mondiale concernait plusieurs pays de l'Afrique occidentale et avait pour objectif la dynamisation du secteur privé.

TECHNI CONSULT est aussi représenté dans différentes sous-régions : Mali (1996), Togo, Sénégal, Niger (1988) et dispose de nombreuses antennes, notamment celle d'Agadez, Maradi, Tahoua ou de Zinder. Les différentes représentations travaillent indépendamment.

Au Burkina Faso, le bureau a été créé en 1993 et est situé non loin de la Patte d'Oie — Ouagadougou, plus précisément au quartier Cissin secteur 17 (rue 17.115). Il est reconnu par les différentes législations du Burkina Faso en tant que de Société à Responsabilité Limitée (SARL) sous l'indicatif BF OUA 2008 B 426 avec Monsieur Adamou IDI comme Directeur Général.

Avec une multipolarité de domaines d'activités, cette entreprise joue un rôle essentiel dans le développement économique de l'Afrique offrant des services d'ingénierie de qualité.

I.1.1. Domaines d'activités

L'entreprise TECHNI CONSULT intervient dans de multiples domaines d'ingénierie offrant des prestations diverses et variées. Nous pouvons noter :

- Les infrastructures de transports : le Bureau d'Études et Ingénieurs-Conseils propose plusieurs services, cela va de l'étude technique des routes revêtues ou non revêtues à la conception d'ouvrages d'art…

Le bureau propose aussi des services d'assistance technique, de contrôle et de surveillance de travaux publics dans les domaines de la topographie, de la géotechnique, de l'hydraulique, de l'environnement…

- ♣ Bâtiment : le bureau propose les études conceptuelles de bâtiments administratifs et résidentiels, mais aussi le suivi et contrôle d'exécution de travaux.
- ♣ Voirie et assainissement : En milieu urbain, le bureau propose aussi des études d'aménagement et d'assainissement (caniveau, buse…)
- ♣ Génie rural et hydraulique : TECHNI CONSULT a réalisé plusieurs aménagements de bas-fonds à travers le Burkina Faso, le Mali, la Guinée ou le Sénégal en plus de cela, l'entreprise participa activement dans des projets d'aménagement hydroagricoles sur les cours d'eau majeurs d'Afrique occidentale (le fleuve Niger, le lac Tchad).

  Le bureau d'études comptabilise aussi des études d'avant-projet et supervise la création d'infrastructures essentielles, comme les barrages hydrauliques, des projets de restauration de sol ou même d'étude de koris.

I.1.2. Expérience et Collaboration

TECHNI CONSULT a su au fur de ses réalisations amassé beaucoup d'expériences, en mettant à profit le transfert de technologie avec les bureaux occidentaux ou en s'appuyant sur l'expertise des consultants externes de la sous-région. En effet, le bureau traite certains dossiers en partenariat avec des entreprises spécialisées locales ou occidentales afin d'avoir un maximum de partage d'expériences. Le bureau dispose aussi d'un personnel vaste proposant des compétences variées capables de travailler ensemble et de se compléter.

Nous présenterons en **Tableau I-1** une liste exhaustive des entreprises ayant collaboré avec TECHNI CONSULT et les domaines abordés :

Tableau I-1 : Liste des partenaires

Partenaires	**Pays**	**Projets**
ACIT Géotechnique	Burkina Faso	Routes et aménagements et assainissement
ACEP Ingénierie Conseil	Benin/Togo	Routes et environnement
AGRITCHAD	Tchad	Routes et aménagements
BF Conseils	Togo	Routes et aménagements

COMETE Ingénierie	Tunisie	Routes et aménagements
DAMEC	Koweït	Routes
DHV	Hollande/Burkina Faso/Sénégal	Routes
Dimensao 3 Lda	Guinée Bissau	Routes, bâtiments et voirie
ETRICO Conseil	Bénin	Routes et assainissement
IDEAS Consulting	Côte d'Ivoire	Routes et ponts
INGEC Sarl	Burkina Faso	Routes et assainissement
LOUIS BERGER	France/USA	Routes et hydraulique
SCET Tunisie	Tunisie	Routes et aménagements
TESCULT	Canada	Routes, ponts, audit et expertise
TOP INGENIERIE	Togo	Routes et aménagements
TYPSA	Portugal	Routes

I.1.3. Organigramme TECHNI CONSULT (Burkina Faso)

L'organigramme présenté en **Figure I-1** nous montre comment est hiérarchisée la branche de l'entreprise située au Burkina Faso.

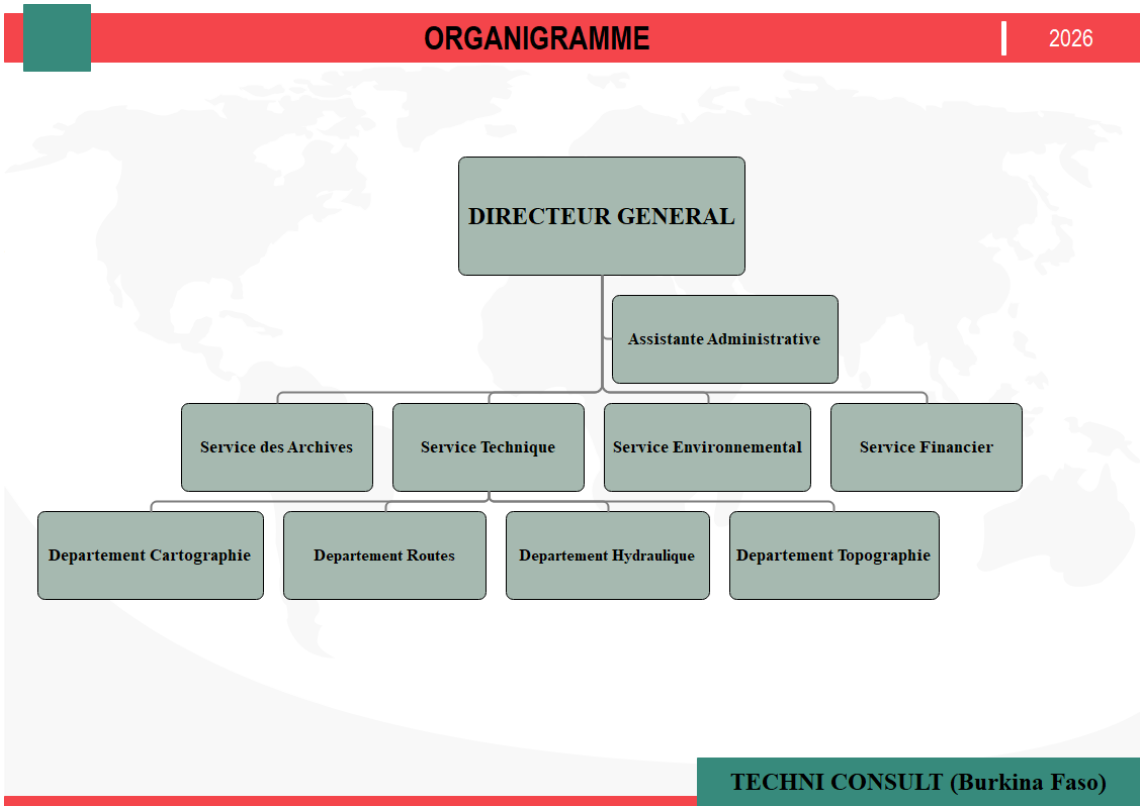


Figure I-1: Organigramme de l'entreprise

I.2. Présentation du projet

I.2.1. Situation de la zone d'étude

Le présent projet est situé au Burkina Faso, pays d'Afrique occidentale. Il est subdivisé en 17 régions, dont celle de Kadiogo, qui a pour chef-lieu Ouagadougou. Communément appelée Ouaga, cette ville représente la capitale politique et administrative du pays et représente un pôle majeur de l'économie. Cette ville est située au centre et est la plus peuplée ; elle représente un carrefour d'échange à la fois avec les autres provinces, mais aussi avec les pays limitrophes du Burkina Faso (**Figure I-2**).

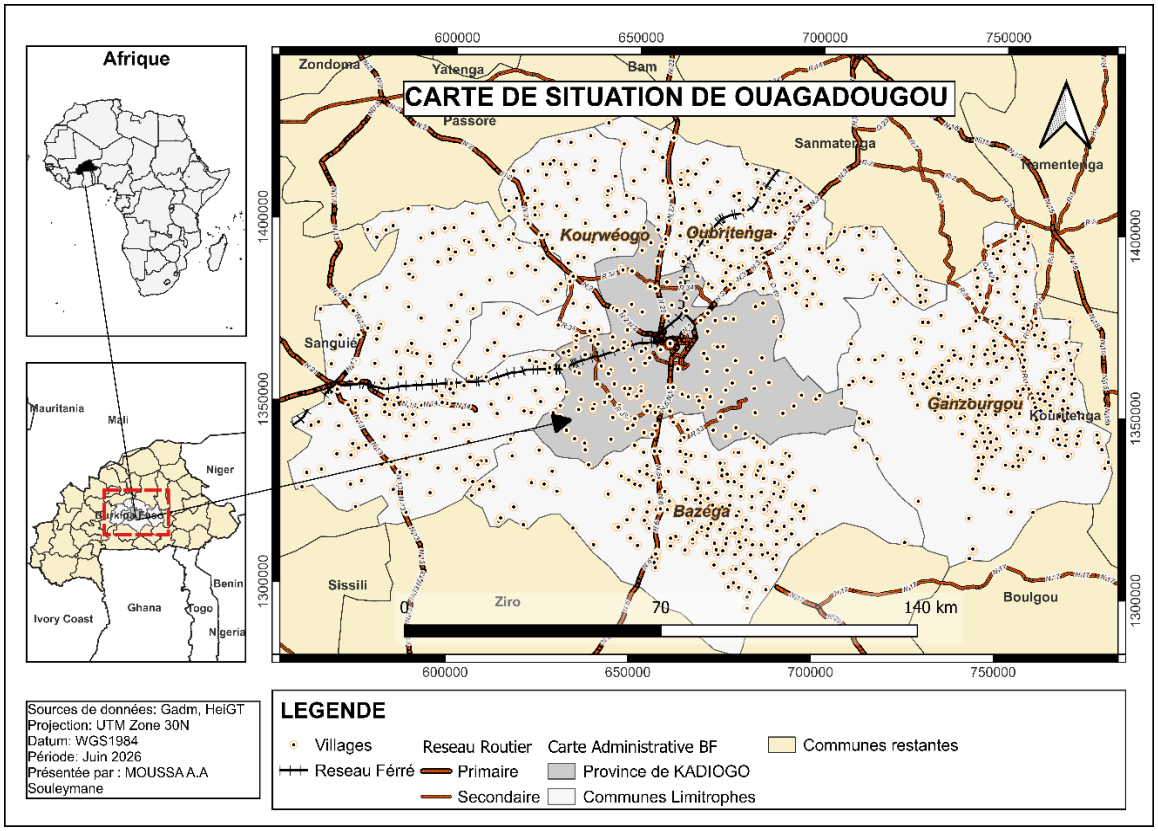


Figure I-2: Carte de situation de la province de KADIOGO (Ouagadougou)

La voie principale d'accès numéro 4 à la zone industrielle de Kossodo qui sera sujet de ce travail, s'étend entre les latitudes 12° 25′ 41.60"N et 12° 45'16.98"N et les longitudes 0° 43′ 20.52"O et 0° 46′ 20.82"O, reliant l'entreprise de cimenterie CIMAF et la RN3. Cette zone se démarque par la présence de nombreuses industries de cimenterie (CIMBURKINA, CIMFASO, CIMAF…), de métallurgie (CIM METAL), agroalimentaire (usine Belwet). Nous remarquons aussi la présence du fournisseur national d'électricité (SONABEL), des fabricants de panneaux solaires (Faso Energy),

des sapeurs-pompiers, mais aussi d'une cité universitaire. Nous pouvons apercevoir l'aperçu de cette zone en **Figure I-3**.

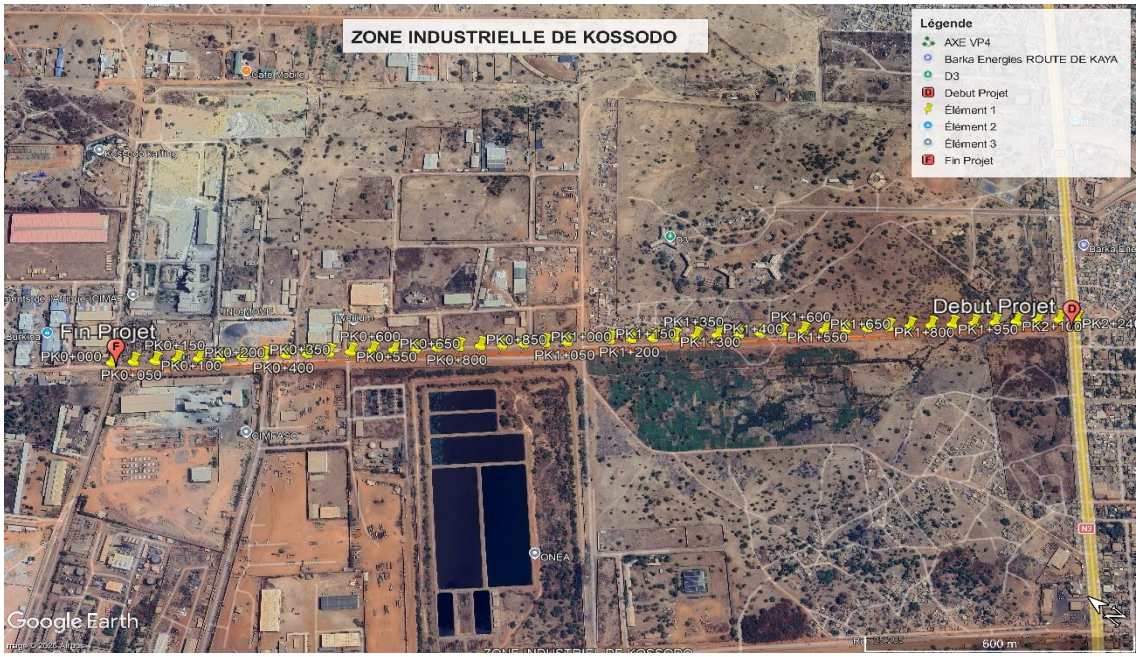


Figure I-3: Présentation de la zone de projet (Google Earth)

I.2.2. Caractéristiques du milieu physique

a) Climat

Le climat de la province de Kadiogo est de type tropical sec, fortement influencé par le déplacement du font intertropical (FIT) issu de l'alternance de deux types de vents : l'harmattan, chaud et sec venant du Sahara et la mousson fraiche soufflant vers l'Ouest. La période des pluies dure à peu près 4 mois (juin à septembre) avec plus de 85% de la pluviométrie annuelle qui est observée pendant cette période. L'analyse des données pluviométriques de la station de Ouagadougou entre 1989 et 2018 fait état de 594 mm enregistrés comme précipitation annuelle minimale et de 1003 mm enregistrés en 2012 comme valeur maximale [1].

Dans cette région, il fait chaud toute l'année avec des températures extrêmes allant jusqu'à 40°C à l'ombre pendant les périodes de chaleur. Les températures les plus basses sont observées entre novembre et février. L'humidité de l'air ne dépasse généralement pas les 80% dans la ville de Ouagadougou. Ces informations sont extraites du rapport agrométéorologique de 2006 publié par l'ANAC BF.

b) Relief et sols

La commune urbaine de Ouagadougou se distingue par un relief globalement plat et des bassins relativement imperméables. Elle contribue à former les plaines de la province de Kadiogo avec des altitudes qui varient entre 300 m et 350 m. Les sols sur lesquels repose la commune de Ouagadougou sont peu profonds et pauvres en éléments nutritifs. Ils sont de type ferrugineux tropical lessivé, développés sur des matériaux sableux, sablo-argileux ou argileux. Ils sont très riches en oxydes et hydroxydes de fer et de manganèse, ce qui leur donne une couleur rougeâtre. Ces sols se caractérisent aussi par leur faible teneur en potassium, en phosphore et par structure fragile très sensible à l'érosion [1]. Le Bureau National des SOLS (BUNASOLS) du Burkina a effectué une classification des sols les plus prépondérants dans la commune de Ouagadougou comme présentée dans **Tableau I-2**.

Tableau I-2 : Répartition des sols dominants dans la commune de Ouaga (en km²)

Sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes	Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés moyennement profonds	Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés peu profonds	Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés superficiels	Sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et à concrétions	Sols Hydromorphes peu humifères à pseudogley de surface	Lithosols sur cuirasse ou sur roche	Sols Peu évolués d'apport alluvial, hydromorphes
15,51	113,52	137,05	0,19	60,81	30,23	26,1	0,01

Source : BUNASOLS, 2020

I.2.3. Cadre administratif et population

a) Cadre administratif

En 2025 l'état burkinabè a procédé à une réorganisation du territoire. De nouvelles circonscriptions administratives furent créées, faisant passer le nombre de régions de 13 à 17 et le nombre de provinces de 43 à 47. Les régions du centre (Ouagadougou) conservèrent le nom de province de Kadiogo. La commune urbaine de Ouagadougou reste la capitale politique du pays et compte 12 arrondissements. D'après le schéma directeur d'aménagement du grand Ouaga (SDAGO 2010), elle couvre une surface de 518 km^{2,} soit 0,2% du territoire national. Ouagadougou est limitée au Nord par les communes rurales de Pabré et de Loumbila, à l'Est par celles de Saaba, au Sud par celles de Koubri et Komsilga, et enfin à l'Ouest par la commune rurale de Tanghin-Dassouri. Située au centre du pays, elle constitue son axe économique principal en favorisant les échanges commerciaux nationaux et internationaux.

b) Population

L'effectif de la ville de Ouagadougou est estimé à 2 415 266 d'habitants avec 1 183 557 hommes et 1 231 709 femmes en 2019. La population dans cette commune est majoritairement jeune avec une moyenne d'âge de 23,8 ans. [1].

L'alphabétisation concerne majoritairement la population de plus de 15 ans. A Ouagadougou au moins 29,8% de la population n'a aucun niveau d'éducation et, pour la population scolarisée, seuls 9,2% ont atteint le niveau d'étude supérieure. Selon des études menées par l'Institut National de la Statistique et de la Démographie (INSD), le chômage concernerait au moins 17% de la population, affectant en grande partie la jeunesse, d'où l'augmentation de la délinquance, du banditisme et le développement du secteur informel [2].

I.3. Contexte et justification du projet

Entre 2006 et 2019, la densité démographique de la commune de Ouagadougou est passée de 2847,9 à 3485,5 hbts/km^2 [1]. Cette croissance continue de la population confère à cette capitale à la fois le titre de ville la plus peuplée et le statut de poumon économique du pays. Les principales activités économiques exercées dans ce pays sont : l'industrie, l'agriculture, l'élevage, le commerce, l'artisanat, le tourisme, l'hôtellerie et le transport.

L'industrie et l'artisanat appartiennent tous deux au secteur secondaire. D'après une étude réalisée par l'UEMOA en 2000, la seule ville de Ouagadougou concentre 70% de l'activité industrielle du pays et regroupe l'agroalimentaire, les textiles, l'industrie chimique, les travaux publics, la métallurgie [2].

L'état burkinabé à travers le Ministère de l'Industrie, du Commerce et de l'Artisanat et plus spécifiquement la Direction Générale du Développement Industriel (DGDI) a entrepris les études de faisabilité technique, économique et environnementale des rues de la zone industrielle de Kossodo dans le but de faciliter l'accessibilité à cette zone stratégique et dynamiser le secteur industriel. Ces études porteront sur différentes catégories de voies (principales, secondaires et tertiaires) et permettront à long terme d'atténuer les principaux obstacles liés à la mobilité, à l'accès et à l'environnement de la zone qui freinent à la fois les efforts d'investissement et de partenariat d'acteurs locaux et étrangers, mais aussi le développement des activités économiques du pays.

Une période de six mois sera dans un premier temps consacrée **aux études techniques, économiques et environnementales.** Par la suite, **les travaux d'exécution ainsi que les procédures de contrôle** seront mis en œuvre.

Notre travail concernera uniquement l'une des voies principales, la VP4, et consistera en son étude technique.

I.4. Objectifs de l'étude

Dans l'ensemble, cette étude consistera à mettre en avant les caractéristiques et le modèle de chaussée qui pourraient être les plus adaptés pour recevoir le trafic routier des voies de Kossodo. La proposition retenue doit être théoriquement concevable, sûre, écoresponsable et durable. Obtenir des résultats viables implique aussi la prise en compte d'éléments externes à la plateforme, qu'il s'agisse de l'assainissement, de l'environnement ou des matériaux à utiliser. Les objectifs spécifiques d'une telle étude consisteront alors à :

- ♣ réaliser un diagnostic de la voie existante et récolter les données essentielles;
- ♣ concevoir et dimensionner la structure de chaussée ;
- ♣ dimensionner les ouvrages d'assainissement ;
- ♣ proposer une notice d'impact environnemental et social
- ♣ proposer les études financières et économiques…

I.5. Etat des Lieux

Depuis quelques années la mairie de l'arrondissement 4 de Ouagadougou, en partenariat avec le Ministère Burkinabè de l'Industrie, du Commerce et de l'Artisanat, vise une meilleure structuration de la zone industrielle de Kossodo. Différentes campagnes de sensibilisations citadines, de démolition d'habitats clandestins, et de réfection des voiries ont ainsi vu le jour dans l'objectif de comprendre et de traiter les problèmes liés à l'assainissement, à la mobilité et la sécurité dans la zone. Les voies composant le réseau routier de la zone industrielle de Kossodo sont soumises à un trafic toujours plus important entrainant des phénomènes de congestion et de dégradation.

Dans le cadre de notre projet, l'inspection visuelle menée nous a permis de constater l'état de la voie numéro 4 d'accès à la zone de Kossodo et son environnement proche. Nous avons pu inventorier les différents ouvrages d'assainissement ainsi que les pathologies présentes sur cette voie et les modèles de véhicules qui font les navettes. En

outre, ce constat visuel nous a permis d'identifier les aspects typologiques de la route, sa géométrie ainsi que les matériaux constitutifs et les points singuliers afin de proposer une route de meilleure qualité garantissant confort et sécurité. A l'issue de ce travail, nous avions identifié 2 dalots en béton armé ainsi que des fossés en terre et différentes pathologies (ravinements, orniérages, nids de poule). Un constat notable est que cette voie était empruntée par de gros camions qui ont provoqué une dégradation profonde localisée en certains points. Les images présentées sur la **Figure I-4** montrent un aperçu des constats.



Figure I-4: Inspection visuelle de la VP4

Conclusion

A l'issue de ce chapitre, nous avons une idée claire de la structure d'accueil, de ses domaines d'intervention et de son mode de fonctionnement. Nous avons aussi présenté et situé le contexte d'un tel projet identifié les enjeux et les objectifs spécifiques à atteindre afin de mener à bien une telle étude. Dans la suite du travail nous aborderons les aspects liés à la conception de ladite voie.

CHAPITRE II : CONCEPTION DES ELEMENTS GEOMETRIQUES ET DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE LA CHAUSSEE

Introduction

Ce chapitre représente la première étape technique de ce projet. Nous aborderons la conception géométrique et structurelle de la chaussée en nous basant sur les normes et prescriptions en vigueur.

II.1. Conception des éléments géométriques

Les travaux de conception routière sont généralement réalisés sur la base des données recueillies par l'équipe topographique. Il s'agit d'une série d'enregistrements de données altimétriques et planimétriques réalisés à l'aide d'appareils spécialisés (GNSS pour ce projet). A travers cette série d'enregistrements, l'ingénieur topographe fournit un fond de plan topographique en format numérique comportant les différents détails de la zone (linéaire de la voie, point haut et bas, cours d'eau, obstacles …). Cette phase ayant déjà été réalisée, nous utiliserons le fond topographique mis à notre disposition par l'entreprise afin de proposer le tracé optimal de la voie permettant de respecter les caractéristiques de confort, de sécurité et d'efficacité.

A travers l'étude de conception routière, il sera question de :

- ♣ catégoriser la route ;
- ♣ définir les normes de conception ;
- ♣ réaliser les éléments du tracé ;
- ♣ calculer les quantités de cubatures.

Les différents tracés seront réalisés à l'aide du logiciel Covadis développé par la société Geomédia SAS, partenaire du groupe Autodesk dans les domaines du génie civil. Il sera utilisé pour la modélisation, la conception et la simulation de ce projet routier.

II.1.1. Type et catégorie de route

Notre route est située dans la ville de Ouagadougou, elle fait partie d'un vaste réseau de voirie et présente un intérêt majeur pour l'économie du pays. En effet, cette route est située dans la zone industrielle de la ville et participe aux échanges commerciaux. Elle sera catégorisée de type U 60, en référence aux voies rapides constituant un réseau de

voirie très urbanisé ou à devenir très urbanisé avec un relief vallonné, mais aussi au Terme De Référence (TDR) du présent projet. Pour ces types de voies, le guide ICTAVRU [3] constitue le document de référence. Cela dit, nous tenons quand même à rappeler les différents documents normatifs et ainsi que les différentes catégories de routes avant de poursuivre. Pour les normes existantes, nous avons :

- ARP (Aménagement des Routes Principales), destiné à l'aménagement des routes principales interurbaines ;
- ICTARN (Instructions sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Routes Nationales), destiné aux projets de réalisation d'infrastructures nouvelles ou d'amélioration des routes existantes sur le réseau routier national ;
- ICTAAL (Instruction sur les Conditions Techniques d'aménagement des autoroutes de liaisons), applicable dans le cas de l'aménagement du réseau routier national en milieu interurbain ;
- ICTAVRU (Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des voies rapides urbaines), pour les voies rapides situées en milieu urbain.

Notons que ces normes peuvent présenter des similitudes à cause de l'évolution des sites : rase campagne qui peut vite devenir une agglomération, de la nature des trafics (forts, faibles…). Les routes en référence au document normatif ICTAVRU sont classées en plusieurs groupes, il s'agit des :

- routes de type A désignant les voies rapides urbaines à caractères autoroutiers ;
- routes de type U désignant les autres voies rapides urbaines non autoroutières.

II.1.2. Principales caractéristiques de la route

A l'issue des investigations menées sur le terrain évaluant l'emprise de notre voie, mais aussi des informations fournies à travers les termes de référence du présent projet, il apparait qu'une route à chaussées séparées et unidirectionnelles (2 x 2 voies) représenterait le choix le plus judicieux. Les caractéristiques fonctionnelles (confort et sécurité) dont disposent ces types de routes sont très avantageuses dans le contexte burkinabè. Cette configuration proposera des pistes cyclables sur les deux sens de circulation afin de permettre aux engins à deux roues d'accéder à cet espace. Selon le *catalogue des types de route pour l'aménagement du réseau national* [4], référentiel à valeur d'instruction pour le réseau routier, la voie principale d'accès numéro 4 à la zone de Kossodo est classée dans la catégorie des voies structurantes d'agglomération.

Les voies structurantes d'agglomération sont par définition des infrastructures routières permettant d'écouler de fort trafic avec des effets de pointe journalière assurant des fonctions de déplacement d'échange ou de desserte, à l'échelle d'une aire urbaine. Leur vocation principale est en effet d'assurer l'accès des personnes et des biens à l'aire urbaine et le déplacement entre les différents pôles internes à l'aire urbaine [4].

Les caractéristiques principales pour cette catégorie de voie sont présentées dans le **Tableau II-1** :

Tableau II-1: Principales caractéristiques de la voie

Voie structurante d'agglomération Type 7 : Artères urbaines à chaussées séparées et à carrefours plans (U 60)	
Définition	Routes à chaussées séparées par un TPC avec deux voies par sens de circulation et comportant sauf exception des carrefours plans sans traversée du TPC (carrefours en T ou carrefours à sens giratoire).
Domaine d'emploi Et objectifs	Ce sont des routes dont la fonction est de mettre en relation les milieux urbanisés. Elles sont envisagées pour des trafics d'échanges et locaux prépondérants.
Intégrations éventuelles	Sur l'emprise de la route, ces voies peuvent intégrer des contre-allées séparées des chaussées, des aménagements pour piétons, des pistes cyclables ou des arrêts de stationnement.
Statut	Il peut être quelconque (Route principale, secondaire, route express…), excepté celui d'une autoroute
Vitesse	Vitesse pratiquée : 60 km/h Vitesse maximale autorisée : 70 km/h portée à 100 km/h dans les créneaux de dépassement.
Séparation des sens de circulation	Un terre-plein central équipé d'un dispositif de retenue assurant une séparation physique des sens.

II.1.3. Paramètres dynamiques

Le type de route choisi permet de définir les valeurs normatives (de déclivité, de rayon ou de pente…) à prendre en compte lors de la conception d'un projet routier. Afin d'assurer aux usagers de la VP4 une bonne tenue à la route, il est nécessaire de faire l'étude du tracé en plan et des profils simultanément.

a) Tracé en plan

Le tracé en plan est une projection de la route sur un axe horizontal généralement réalisé à l'échelle 1/500 (1/200 pour les giratoires). Il est constitué d'une succession de courbes et d'alignements droits séparés ou non par des clothoïdes (raccordements progressifs). Pour ce projet, la voie étudiée est essentiellement constituée d'alignements droits sur tout son linéaire. Le tracé en plan a pour paramètres principaux :

- Le rayon non déversé (Rnd) : valeur de la courbe au-dessus de laquelle la route conserve un profil en toit (2,5% vers l'extérieur de la route) et favorise ainsi l'évacuation des eaux de surface et favorise l'adhérence des pneus des véhicules.
- Le rayon au dévers minimal (Rdm) : Pour les courbes de rayon compris entre Rdm et Rnd, la chaussée est déversée dans le sens correspondant à la courbure avec un dévers de 2,5%. Les courbes de rayon inférieur à Rdm sont déversées vers l'intérieur du virage avec un dévers 7% pour les routes à relief vallonné.
- Le rayon minimal : seuil à ne pas atteindre lorsqu'il y a présence d'obstacles latéraux, en particulier à cause des raisons de visibilité.

b) Profil en long

C'est une coupe verticale passant par l'axe du projet. Il est composé d'éléments rectilignes (pentes et rampes) caractérisés par leur déclivité et de raccordements circulaires caractérisés par leurs rayons. Le profil en travers nous renseigne sur l'allure que peut présenter sur son linéaire et permet de retrouver les zones qui nécessiteront des travaux de remblais et de déblais. L'échelle conventionnellement utilisée est de 1/2000.

Les valeurs des paramètres pour le tracé en plan et le profil en long sont renseignées dans **Tableau II-2 :**

Tableau II-2: Paramètres essentiels du tracé en plan et du profil en long

Paramètres	Route Principale
Tracé en plan	
Rayon non déversé (Rnd)	200 m
Rayon au dévers minimal (Rdm)	650 m
Rayon minimal (Rm)	120 m
Devers minimal	7%
Profil en long	
Rayon normal en angle saillant	2500 m
Rayon minimal en angle saillant	1500 m
Rayon normal en angle rentrant	800 m
Rayon minimal en angle rentrant	2200 m
Déclivité maximale	9%

c) Profil en travers

Le profil en travers est la coupe perpendiculaire à l'axe du projet. Il représente la projection des éléments du projet ainsi que le terrain naturel sur un même document. Les caractéristiques du profil en travers découlent de la hiérarchisation de la route faite dernièrement et nous permettent d'avoir une idée sur :

- la géométrie de la voirie et l'emplacement des différents éléments : largeur roulable, accotements, terre-plein central, plateforme, dispositif de sécurité ;
- les épaisseurs des matériaux et les différentes couches ;
- les pentes transversales ;
- les différents ouvrages longitudinaux ;
- les éléments divers ;

Les profils en travers sont de deux types : profils en travers type et profil en travers particuliers. Les profils en travers types étant une représentation des éléments de la route les particularités (en agglomération, en rase campagne, en déblai, en remblai, au niveau des carrefours…) généralement réalisées à une échelle de 1/50 et les profils en travers particuliers qui permettent, quant à eux de calculer les cubatures du projet ils sont généralement réalisés à l'échelle 1/200 et implantés tous les 20 m pour des reliefs faibles et entre 10 et 15 m pour les terrains vallonnés.

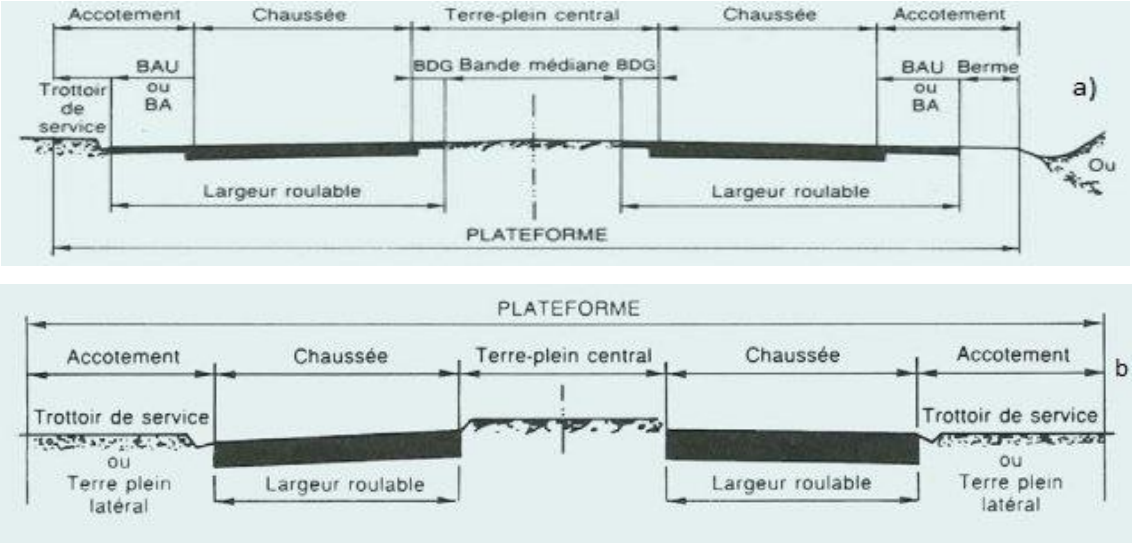


Figure II-1 : Profils courants pour les routes de type U (Source : ICTAVRU)

Les caractéristiques géométriques du profil en travers retenus sont présentées dans le **Tableau II-3** en référence au guide ICTAVRU [3]. Les différents dispositifs listés représentent à la fois un choix conceptuel, mais sont surtout choisis de façon à remplir certaines conditions et fonctions (écoulement du trafic, sécurité des usagers et des riverains, contraintes économiques…).

Tableau II-3: Caractéristiques géométriques retenues (Route U 60 2x2 voies)

Caractéristiques géométriques retenues du profil en travers U 60		
Désignation	**Largeur**	**Caractéristiques**
Chaussée	3,5 m	Tiens compte de la largeur des véhicules et du trafic.
Bande cyclable	2,5 m	Unidirectionnelle de 2 m rallongée à 2,5m vu l'importance du trafic motorisé dans la ville de Ouaga.
Largeur roulable profil (2x2 voies)	9,5 m	9 m, si trafic PL > 15% du trafic total, notre largeur roulable sera prolongée de 0,5m.
TPC + bordures (T2)	2 m	Le TPC est constitué de la bande médiane et des bordures non franchissables.
Berme + bordures discontinues (T2)	0,5 m	Les bermes ont pour fonction de recevoir divers équipements (mats pour éclairage, dispositif de retenue, support de signalisation). Les bordures, quant à elles, permettent de matérialiser la fin de la partie empruntable.
Accotement	3 m	Constitué par la piste cyclable et de la berme.
Plateforme	22 m	L'ensemble formé par les éléments plus hauts.

La VP4 étudiée dans le cadre de notre mémoire est constituée d'alignements droits dans son intégralité. Le traitement des données nous a permis de faire ressortir le tracé combiné de ce tronçon qui représente la superposition des éléments du tracé en plan et du profil en long. Les différents tracés sont présentés en **Annexe IV**.

La **Figure II-2** nous montre un aperçu du profil en travers type de la VP4.

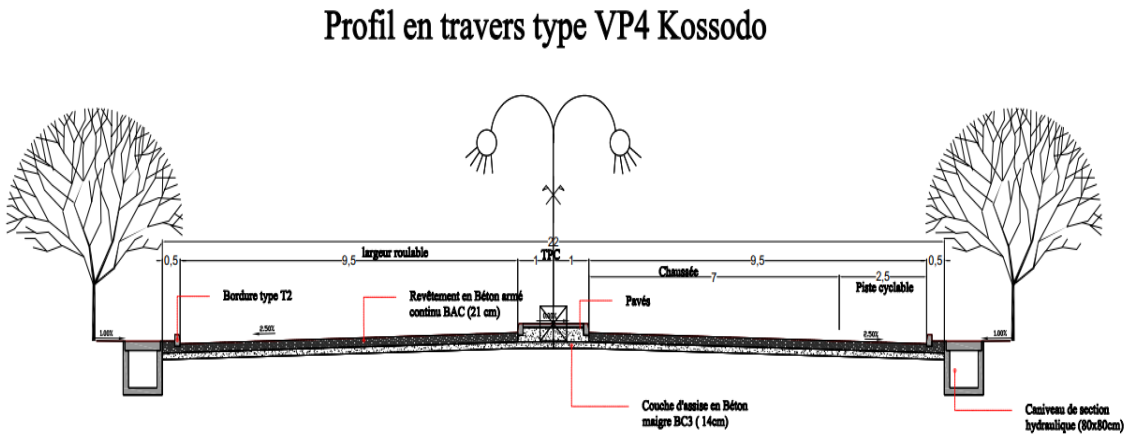


Figure II-2 : Profil en travers de la voie principale 4 dessiné avec AutoCad

II.2. Analyse des données géotechniques

Une fois l'axe de la route défini, il est essentiel de reconnaitre le sol support et d'identifier ses propriétés mécaniques. Cette étape permet de caractériser la plateforme destinée à recevoir les sollicitations provoquées par le trafic de la zone et la structure de chaussée dimensionnée.

Les propriétés du sol qui sont analysées en géotechnique routière sont entre autres sa granulométrie, sa capacité de drainage, sa compressibilité, sa résistance au cisaillement et sa capacité portante ; pour ce faire, plusieurs documents normatifs sont utilisés au Burkina Faso. Il s'agit des guides techniques : GTR [5] et CEBTP [6]. Ces documents proposent la classification des sols et matériaux rocheux tout en définissant leur condition d'utilisation en remblai et en couche de forme.

Pour ce projet, le Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics du Burkina Faso (LNBTP) a mené pour le compte du bureau d'études TECHNI CONSULT ces différentes expertises en référence au devis 014.25.3D du 25/01/2025.

II.2.1. Sondages

Les investigations qui sont menées servent notamment à évaluer qualitativement les matériaux constituant le sol support. Les sondages sont réalisés à des intervalles de distance qui sont généralement en deçà de 1 km et sur les zones jugées particulières. Sur la VP4, trois sondages ont été réalisés, les matériaux prélevés sont ensuite acheminés au laboratoire pour reconnaitre les types de sols et estimer leurs propriétés physiques et mécaniques. Quatre essais sont généralement réalisés il s'agit de :

- ♣ L'analyse granulométrique ;
- ♣ Les limites d'Atterberg ;
- ♣ L'essai de Proctor Modifié ;
- ♣ L'essai de CBR,

II.2.2. Synthèse des essais sur le sol support

A l'issue des trois sondages réalisés sur la VP4, différents types de sols ont été identifiés et classés. Les résultats des différents essais figurent dans le **Tableau II-4.**

Nous référant au système de classification américaine et plus précisément à la norme HRB (Highway Research Board), il nous est possible d'affirmer que nous sommes en présence de sols grenus généralement constitués de gravier, de sable limoneux ou argileux. Ces types de sous-sols présentent généralement une estimation qui peut varier de bonne à mauvaise comme sol support [7].

Plusieurs classes de portance ont été identifiées après réalisation de l'essai CBR. Certains de nos sols présentent une mauvaise portance avec des valeurs de CBR<10, tandis qu'en certains endroits la qualité portante du sol est bonne avec de CBR>30 [6].

Tableau II-4:Résultats de caractérisation des sols sondés

Sondages	Voie	Analyse granulométrique (NF P 18 560)						Limites d'Atterberg (NF P 94 051)				Classification AASHTO	Proctor Modifié (NF-P 94 093)		CBR (%OPM) (NF-P 94 078)		Observations et classes
		<0.063mm	<2mm	<5mm	<10mm	<20mm	D(mm)	WL	WP	IP	F.IP		W_{OPM}	$\gamma_{d\ OPM}$	95 %	98 %	
S12	VP4A	31	49,5	78	96,5	97	25	50	25	25	775	A-2-7(3)	8,8	2,12	16	24	**Grave argileuse sableuse (S3)**
S13	VP4B	37	52	74	94,5	99,5	25	51	25	26	962	A-2-7(6)	11,6	2	8	22	**Sol argileux (S2)**
S14	VP4B	22,5	45	67	89	96	40	32	16	16	360	A-2-6(0)	7,2	2,24	80	108	**Grave argileuse sableuse (S5)**

II.2.3. Caractéristiques du sol support

La classe de portance est sans aucun doute un critère déterminant pour la longévité d'une route. Son choix doit être murement réfléchi et doit tenir compte des sondages réalisés sur le terrain.

Lorsque les caractéristiques du sol support sont insuffisantes, plusieurs méthodes peuvent être envisagées afin de l'améliorer : un ajout de sable pour amaigrir une structure argileuse, une amélioration à la chaux ou au ciment, ou éventuellement une cure du sol en place [6].

Dans le cadre de ce projet, nous décidons d'investir dans la plateforme en projetant une classe de portance de type S5. Nous proposons ainsi de décaisser les matériaux de portance inférieure et de les remplacer par des matériaux de caractéristiques meilleures. Nous pouvons noter qu'un gain de portance à long terme d'une classe peut être envisagé pour une profondeur de purge de 30 cm et pour une profondeur de 50 cm nous pouvons envisager un gain de portance de deux classes [8].

Compte tenu du trafic essentiellement constitué de véhicules poids lourds, nous proposerons une valeur minimale de 40 comme CBR sur toute la plateforme. Ceci équivaudra à une plateforme de type PF3, de module EV2 égal à 200 MPa.

Les valeurs de module statique pour les sols et les matériaux non traités sont estimées à partir du CBR à l'aide des relations suivantes définies dans le CEBTP [6] :

- E (MPa) : 5 x CBR, pour les matériaux à éléments grossiers ;
- E (MPa) : 3 x CBR, pour les éléments à fraction fine importante.

II.3. Etude de trafic

L'étude de trafic est généralement réalisée en concertation avec l'économiste de transport. Ne disposant pas des résultats de l'étude économique, nous avons proposé de mener l'étude de trafic en considérant certaines valeurs usuelles.

Afin d'évaluer le trafic dans les pays tropicaux, des campagnes de comptages sont généralement organisées. Ces comptages qui pour ce projet ont été manuels ont permis de déterminer le nombre de véhicules légers et lourds empruntant cette voie.

A l'issue de ces comptages, différents documents normatifs dont la NF P 98 082 [9] et le CEBTP [6] ont permis d'obtenir la valeur quantitative du nombre d'essieux

équivalents, donnée indispensable pour le dimensionnement de toute structure de chaussée.

II.3.1. Comptages et hypothèses de départ

Le trafic actuel est évalué sur la base d'un comptage réalisé sur une période de 4 c'est-à-dire 2 jours sur chaque sens du tronçon étudié. Pour l'année de comptage, nous retiendrons un coefficient de majoration de 30% correspondant au trafic induit correspondant à une amélioration de l'infrastructure de transport en place. En effet, nous avions noté que certains usagers prennent des itinéraires alternatifs dans le but d'éviter les zones de ravinements présentes sur la voie.

Le **Tableau II-5** présente les catégories de véhicules et leurs débits moyens ayant été observés sur cette période suivant l'axe de circulation le plus sollicité.

Tableau II-5: Synthèse du comptage réalisé

Comptages (sens : CIMAF vers RN3)							
	Voitures Légères	Mini Cars	Camionnettes	Bus et Autocars	Camions	Tricycles	2 roues
21/10/25	135	2	74	0	82	70	671
22/10/25	45	2	36	0	70	32	410
Moyenne	90	2	55	0	76	51	541
Trafic total						815	
Trafic Poids Lourds						99	

La première hypothèse sur laquelle se reposera cette étude sera de considérer que la VP4 s'inscrit dans le cadre d'une Voie du Réseau Structurant (VRS) du fait de l'intérêt et rôle crucial qu'elle peut présenter pour les relations économiques du pays. Le CEBTP propose une durée de vie de 15 ans pour les chaussées neuves, mais, pour donner suite aux recommandations formulées par l'Association Mondiale de la Route (AIPCR) proposant de considérer des périodes de dimensionnement initiales plus longues (> 20 ans) pour des chaussées soumises à un trafic poids lourds important en zone urbaine ou interurbaine [10], nous garderons la durée de vie initialement prévue pour les VRS.

- ♣ année initiale : 2025 ;
- ♣ année de mise en service : 2029 ;

- ♣ durée de vie : 30 ans [11];
- ♣ taux d'accroissement géométrique du trafic (VRS) : 5% ;
- ♣ coefficient de répartition transversale : 1.

II.3.2. Détermination du trafic

Le trafic pris en compte dans le cadre de nos études fait référence aux véhicules lourds. En effet, les poids lourds sollicitent le plus les chaussées et sont plus contraignants. Ils sont naturellement utilisés pour le dimensionnement.

a) Trafic à l'année de mise en service

Il correspond au trafic estimé à la date de mise en service officielle de la voie. Il est exprimé en (nombres de véhicules par jour par sens).

Nous exprimerons la valeur des poids lourds directement à travers l'équation :

$$TMJA = NPL * (1+i)^{(A_{serv}-A_{comp})-1} \quad \textbf{(1)}$$

- ♣ NPL : nombre de poids lourds obtenu au comptage ;
- ♣ i : taux d'accroissement exponentiel ;
- ♣ A_{ser} : année de mise en service ;
- ♣ A_{comp} : année de comptage.

$$TMJA = 99 * (1+5\%)^{(2029-2025)-1}$$

$$TMJA = 114\ PL\ /jr/sens$$

b) Trafic cumulé poids lourds

Le trafic cumulé poids lourds correspond au trafic poids lourds observé sur toute la durée de vie de la chaussée. Son calcul tient compte du taux d'accroissement annuel du trafic. Il est obtenu à travers l'équation suivante :

$$TC = 365 * TMJA * \left(\frac{(1+i)^d - 1}{i}\right) * C_r \quad \textbf{(2)}$$

- ♣ i : taux d'accroissement exponentiel ;
- ♣ d : temps de vie initial ;
- ♣ C_r : coefficient de répartition ;

$$TC = 365 * 114 * \left(\frac{(1+5\%)^{30} - 1}{5\%}\right) * 1$$

$$TC = 2764520{,}445 = 2{,}77 * 10^6\ PL$$

c) Trafic cumulé équivalent

Ce trafic est exprimé en nombre d'essieux équivalents et correspond à la conversion du trafic poids lourds obtenu par rapport à l'essieu standardisé de 13 tonnes. Le coefficient d'agressivité permet alors de passer d'un essieu arbitraire à un essieu de référence de 13 tonnes, il prend en compte la quantité de poids lourds, mais aussi le type de chaussée. Les valeurs des coefficients d'agressivité obtenus en référence à la norme NF P 98 082 sont de 1,49 pour les chaussées souples et de 3,11 pour les chaussées rigides. Les méthodologies de calcul sont présentées en **Annexe I.1** à travers l'**Illustration 2 page V** pour la chaussée souple et l'**Illustration 3 page VI** pour la chaussée rigide.

Le trafic cumulé équivalent est obtenu à travers la formule :

$$N = CAM * TC \qquad \textbf{(3)}$$

♣ CAM : coefficient d'agressivité moyenne

Tableau II-6: Valeurs du trafic cumulé équivalent

Trafic cumulé équivalent		Valeur (en nbre d'essieux standards)
Chaussée souple	$N = 1{,}49 * 2{,}77 * 10^6$	$4132625 = 4{,}13 * 10^6$
Chaussée rigide	$N = 3.11 * 2{,}77 * 10^6$	$8644662 = 8{,}86 * 10^6$

II.3.3. Classe de trafic

Pour connaitre la classe de trafic, il nous suffira de faire correspondre la valeur du trafic équivalent déterminé à l'intervalle correspondant défini par le CEBTP comme indiqué dans le **Tableau II-7**. Nous remarquons que notre trafic est de **type T4** pour les différentes chaussées rigide et souple étudiées. Selon le CEBTP, tout trafic supérieur à T3 est considéré comme fort [6].

Tableau II-7: Classe de trafic (CEBTP)

Essieux équivalents de 13t	Classe de trafic
TC < 5 10^5	T1
5 10^5 < TC < 1,5 10^6	T2
1,5 10^6 < TC < 4 10^6	T3
4 10^6 < TC < 10^7	T4
10^7 < TC < 2 10^7	T5

II.4. Dimensionnement de la structure du corps de chaussée

Il existe deux grands groupes de chaussées : les chaussées souples et les chaussées rigides. Les deux peuvent néanmoins être associés par superposition de matériaux bitumineux et cimentaires afin de créer une chaussée semi-rigide.

Le dimensionnement structurel de la chaussée a pour objectif premier de déterminer le nombre et les épaisseurs des différentes couches de matériaux nécessaires pour reprendre les charges liées au trafic précédemment déterminé.

Dans le cadre de notre travail, les variantes de structures de chaussée proposées représenteront ces deux grands groupes de chaussées.

II.4.1. Méthodologie de calcul

Le dimensionnement de la structure de chaussée routière fait généralement référence au document normatif NF P 98 086 [12] dans les pays d'Afrique occidentale.

Dans un premier temps, il faudra déterminer les épaisseurs des différentes couches par l'utilisation d'un certain nombre de guides :

- le CEBTP[6] et le guide du Sénégal [13] pour les chaussées souples ;
- le guide du CERTU [14] et Cimbéton tome 1 [15], pour les chaussées rigides ;

Ces documents sont élaborés sous la base d'expériences et de recommandations, et proposent différentes configurations et épaisseurs de couches.

Ces premières valeurs sont hypothétiques et seront par la suite comparées aux valeurs obtenues par introduction des données initiales sur le logiciel Struct-Urb qui présente des modèles de structures de chaussées déjà réalisées à travers le monde. Cette étape nous permettra de faire un meilleur choix de la configuration et des épaisseurs initiales des couches de chaussée.

Enfin on procèdera à la vérification des contraintes et des déformations à l'aide du Logiciel ALIZE LCPC. Sur la base d'itérations, le logiciel nous permettra de trouver une structure vérifiant les contraintes et les déformations engendrées par le trafic poids lourds déterminé pendant la phase de l'étude du trafic routier.

II.4.2. Chaussée rigide

a) Structure initiale de chaussée

Le guide de dimensionnement des structures de chaussées urbaines propose différents abaques pour la détermination des structures de chaussée. L'abaque n°5, présenté en **Illustration 4 page VII** (**Annexe I.2**), propose comme couche de roulement du béton de ciment de classe 5 (BC5), reposant sur du béton de ciment BC3 en couche d'assise [14], il nous a servi de base de calcul pour la structure de chaussée rigide. Nous retrouvons, en **Illustration 5 page VIII** (**Annexe I.2**), les résultats de calcul confirmé à l'aide de Struct-Urb.

Pour les paramètres d'entrée déterminés plus haut, nous obtenons les valeurs suivantes **Tableau II-8** :

Tableau II-8: Epaisseurs retenues avec le guide du Certu et validées avec Struct Urb

<table>
<tr><th rowspan="2">Données d'entrée</th><th>Nbre d'essieux équivalents</th><th>Risque</th><th>Plateforme</th><th>Matériaux</th></tr>
<tr><td>8,64 millions</td><td>5%</td><td>PF3</td><td>Q1</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Valeurs initiales de la structure (Guide du CERTU)</td><td colspan="2">Couche de roulement (BC5)</td><td>Couche d'assise (BC3)</td></tr>
<tr><td colspan="2">21 cm</td><td>14 cm</td></tr>
<tr><td colspan="2">Validation avec Struct-Urb</td><td colspan="3">BONNE</td></tr>
</table>

b) Caractéristiques des matériaux

En référence à la norme NF P 98 086 [12] et il existe trois catégories de chaussées en béton de ciment qui sont fonction de la couche de roulement et de la couche de fondation :

- la première catégorie concerne les bétons de ciment reposant sur des matériaux de nature bitumineuse tels que la grave bitume (GB) ou le béton bitumineux semi-grenu (BBSG) ;
- la seconde catégorie concerne les bétons de ciment reposant sur des matériaux hydrauliques comprenant le béton maigre (Bm), les matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH), ou le béton compacté routier (BCR) ;
- la dernière catégorie, quant à elle, concerne les bétons de ciment reposant sur une couche de forme ou une couche drainante.

Ainsi, les couches de roulement pour ces types de chaussée peuvent se présenter sous la forme de :

- ♣ chaussées à dalles non armées et non goujonnées (BC) ;
- ♣ chaussées à dalles non armées, mais goujonnées (BCg) ;
- ♣ chaussées en dalles armées continues (BAC).

Pour le choix du type de couche de roulement à mettre en place, nous exclurons les dalles non armées, mais goujonnées (BCg) en raison de l'inaccessibilité des matériaux sur le marché burkinabè et de la complexité de sa mise en œuvre. Bien que ces trois propositions de couche de roulement soient toutes adaptées pour des trafics importants, nous proposerons les dalles en béton armé continu qui réduisent considérablement les fissurations liées au retrait du béton, les risques d'orniérages et l'infiltration de l'eau à travers la chaussée [12]. La structure de chaussée rigide finalement se présentera comme suit :

- ♣ en couche de roulement, nous aurons du BC5 disposé sous la forme de dalles continues en béton armé (BAC) ;
- ♣ une couche d'assise constituée d'un béton maigre BC3 (classe mécanique recommandée pour la 2ème catégorie) ;
- ♣ une plateforme de type PF3.

La norme NF P 98 170[16] présente les caractéristiques de résistances mécaniques obtenues à 28 jours correspondant à l'essai de compression et de fendage réalisés sur des éprouvettes cylindriques. Pour les différentes classes de béton retenues, les valeurs sont respectivement de 35MPa pour le BC5 et 25MPa pour le BC3 en compression et de 2,7MPa et 1,7MPa en traction.

Le béton maigre recommandé pour les structures routières est usuellement dosé entre 150 et 250 kg/m^3 [16], les caractéristiques des autres matériaux (granulats, sable, eau) figurent dans la même norme.

La couche de roulement, quant à elle, est composée d'un béton spécialement formulé avec un rapport eau-ciment inférieur à 0,45 et dosé entre 300 et 400 kg/m^3 avec l'utilisation de plastifiant pour améliorer la maniabilité [17].

c) Détermination des contraintes et déformations admissibles

Les vérifications des contraintes sont réalisées suivant la norme NF P 98 086[12].

Pour les bétons de ciment, il sera question de vérifier l'endommagement par fatigue des matériaux en béton de ciment. Le critère est exprimé sous forme de contrainte (σ_t) et traduit les effets de flexions et de tractions répétés à la base des couches.

Il sera question d'évaluer les sollicitations internes induites par le trafic poids lourd sur les différentes couches et de les comparer aux valeurs de contraintes admissibles correspondantes. La valeur de contrainte admissible pour les bétons de ciment s'obtient à travers la formule :

$$\sigma_{t\,adm} = \sigma_6 * \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b * k_c * k_r * k_s * k_d \quad \textbf{(4)}$$

- σ_6 : valeur moyenne de l'amplitude de contrainte ;
- b : pente de la loi de fatigue ;
- NE : nombre d'essieux équivalents ;
- k_r : coefficient de risque ;
- k_c, k_s, k_d : coefficient d'ajustement ;

$$\sigma_{t\,adm}\,(BC5) = 2{,}15 * \left(\frac{8644662}{10^6}\right)^{\left(-\frac{1}{16}\right)} * 1{,}5 * 0{,}720 * 1 * \frac{1}{1{,}37} = 1{,}481\ MPa$$

$$\sigma_{t\,adm}\,(BC3) = 1{,}63 * \left(\frac{8644662}{10^6}\right)^{\left(-\frac{1}{15}\right)} * 1{,}5 * 0{,}712 * 1 * 1 = 1{,}503\ MPa$$

Pour la plateforme le critère d'endommagement représente le cumul des déformations permanentes (ε_z) provoquées par les compressions verticales répétées au sein des couches de matériaux.

Dans ce cas également, il faudra évaluer la valeur de la déformation admissible avec celles générées par le trafic poids lourds. Pour les matériaux non traités, les sols et couches support de chaussée, les déformations admissibles sont obtenues à travers la formule :

$$\varepsilon_{z\,adm} = A * NE^b \quad \textbf{(5)}$$

- A et b sont fonction du niveau de trafic ;
- NE : nombre de passage à l'essieu de référence

$$\varepsilon_{z\,adm} = 12000 * 8644662^{-0{,}222} = 346{,}12\ \mu déf$$

Le **Tableau II-9** présente le récapitulatif des valeurs des contraintes et déformations admissibles obtenues

Tableau II-9: Paramètres des couches pour la chaussée rigide

Matériaux	Couches	Modules	Valeurs de critères admissibles	Unités
BAC (BC5)	Roulement	35000 MPa	$\sigma_{t\ adm}$= 1,481	MPa
Béton maigre (BC3)	Assise	25000 MPa	$\sigma_{t\ adm}$ = 1,503	MPa
Graveleux latéritiques	Plateforme	200 MPa	$\varepsilon_{z\ adm}$ = 346,12	µdéf

d) Détermination des armatures

Pour les structures de chaussée rigide, les armatures utilisées en couche de roulement ne servent pas nécessairement à reprendre les charges induites par le trafic. Leur rôle principal est de limiter les effets thermiques. Pour le cas du BAC, une nappe d'armature longitudinale est disposée à mi-hauteur elle permet à la fois la suppression des joints transversaux (en dehors de ceux requis pour les transitions avec d'autres structures de chaussée et aux abords des ouvrages d'art, exemple du pont …) tout en assurant leur rôle principal : le contrôle du retrait du béton et des fissurations thermiques. Nous déterminerons les aciers longitudinaux et les fers de liaisons nécessaires dans le cas des chaussées bidirectionnelles.

- Fers de liaisons : en référence à la norme NF P 98 170, le diamètre des fers de liaisons est fonction de l'épaisseur de la dalle de revêtement. Les valeurs sont recensées dans le tableau ci-dessous :

Tableau II-10: Fers de Liaison

Epaisseur de la dalle (cm)	Diamètre des fers (cm)	Espacement des fers (cm)
13 à 20	1	100
21 à 40	1,2	100

La nuance de l'acier est au moins égale à FeE 400 [16].

Leur rôle est de permettre la transmission des charges d'une dalle à une autre par un principe d'engrènement.

- Armatures longitudinales : le nombre d'armatures se calcule à partir du taux de ferraillage P correspondant au rapport de section acier-béton. Ce taux dépend notamment de surface de contact acier béton, la nuance de l'acier et de la résistance à la traction du béton [16].

  Pour les bétons de classe S2,7, correspondant à notre BC5, la norme NF P 13887-1 impose des aciers de nuance FeE 400 et une valeur de P = 0,67%.

  Le diamètre des aciers longitudinaux est égal au dixième de l'épaisseur du revêtement arrondi au diamètre commercial le plus proche. Nous proposerons ainsi des HA 20 FeE 400 de longueur 6 m.

  Le nombre d'armatures doit permettre un espacement entre fers de liaison qui doit au minimum être égal à quatre fois la dimension du plus gros granulat (Dmax étant égal à 10 mm pour les couches de roulement [18]).

$$Section\ d'acier_{theorique} = (largeur_{dalle\ rev} * epais_{dalle\ rev}) * P$$

$$Section\ d'acier_{theorique} = (9.5\ 10^2 * 21) * 0{,}0067 = 133{,}6\ cm^2$$

$$Nombre\ d'armatures = \frac{Section\ d'acier_{theorique}}{section\ d'un\ acier}$$

$$Nombre\ d'armatures = \frac{133{,}6}{\frac{\pi D^2}{4}} = 42{,}52 \cong 43\ barres$$

$$st = \frac{(b_0 - (1+n) + (enr * 2))}{n-1} = \frac{(9500 - (1+43) + (5*2))}{43-1} = 224\ mm$$

$$Espacement\ minial = 4 * 10 = 40\ mm$$

Tableau II-11: Armatures longitudinales sur un sens de la voie

Nomenclature	Espacement minimal	Espacement réel	Nombre de barres
HA 20 Fe 400	40 mm	220 mm	43

- Armatures transversales (distancier) : Les armatures sont assemblées par lots de trois en forme de triangle et disposés sur la largeur de la voie. Ils sont équidistants de 1m et servent de support pour les armatures longitudinales.

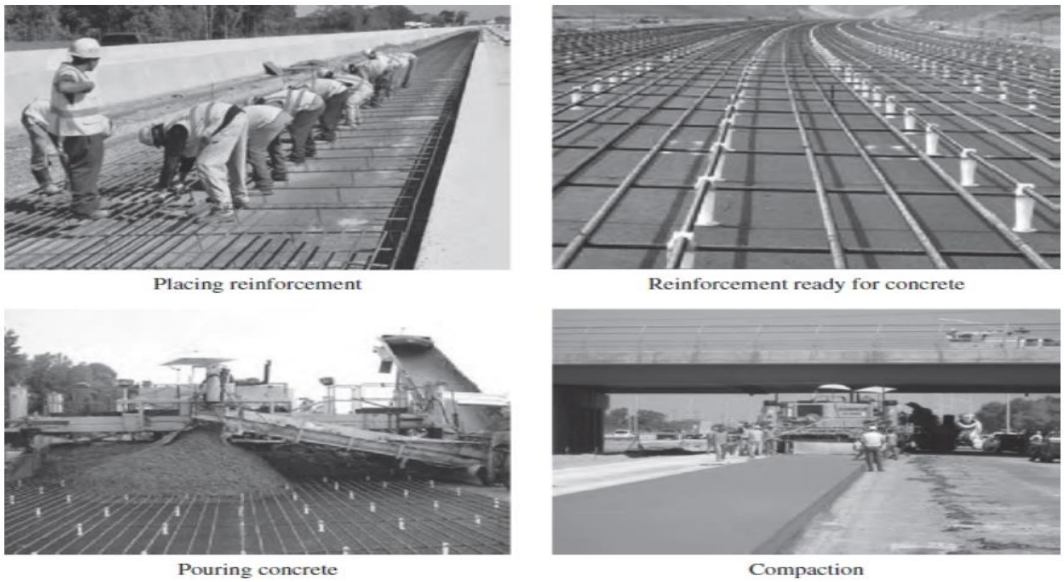


Figure II-3 : Mise en place des armatures pour béton armé continu (Source : Pavement Design : Materials, Analysis and Highway, RASHAD Islam)

II.4.3. Chaussée souple

a) Structure initiale de la chaussée

La structure de la chaussée est dans ce cas obtenue à partir du guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux. Ce guide propose différentes structures de chaussée qui sont fonction de l'indice CBR du sol support et du type de trafic. Ainsi, sur la base d'un trafic T4 et d'un indice de portance classé S5, nous avons retenu la structure de chaussée présentée en **annexe I.2** sous forme d'**Illustration 6 page IX.** Par la suite les données initiales déjà déterminées seront introduites dans Struct Urb afin de comparer les résultats obtenus avec le CEBTP. Les détails sont regroupés dans l'**Illustration 7 page X** en **Annexe I.2**.

Le **Tableau II-12** présente le récapitulatif des valeurs obtenues.

Tableau II-12: Epaisseurs retenues avec le CEBTP et validées avec Struct Urb

Données d'entrée	**Classe de portance du sol support**	**Trafic**
	S5	T4
Valeurs initiales de la structure (guide CEBTP)	Couche de roulement en Béton bitumineux (BBSG)	Couche d'assise en grave bitume (GB3)
	5 cm	20 cm
Validation avec Struct Urbain	BONNE	

b) Caractéristiques des matériaux

Malheureusement pour les enrobés bitumineux, très peu d'informations sont spécifiées dans le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux concernant leurs propriétés. En effet, les caractéristiques des matériaux bitumineux doivent être obtenues sur la base d'essais performanciels (essai de flexion …) afin d'apprécier le module de rigidité et la résistance à la fatigue du matériau. Outre les sollicitations qui sont induites par le trafic poids lourds, la température du milieu, la fréquence d'application des charges et le coefficient de poisson sont des paramètres qui influencent beaucoup le comportement des matériaux bitumineux.

L'étude la plus aboutie en Afrique occidentale a été réalisée par le Ministère des Infrastructures des Transports terrestres et du Désenclavement du Sénégal aboutissant à l'élaboration du guide du Sénégal [13].

Les hypothèses formulées par ce guide concernant la température, le coefficient de poisson, la fréquence… serviront de bases pour le calcul sur Alizé LCPC.

c) Détermination des déformations admissibles

Pour cette structure de chaussée, nous aurons notamment à vérifier la déformation horizontale exercée sur le sol support. Elle est calculée à travers la formule :

$$\varepsilon_{z\,adm} = A * NE^{b} \qquad \textbf{(6)}$$

- A et b sont fonction du niveau de trafic ;
- NE : nombre de passage à l'essieu de référence

$$\varepsilon_{z\,adm} = 12000 * 4132625^{-0,222} = 407,74\,\mu déf$$

Les détails concertant les vérifications des contraintes admissibles sont présentés en **annexe I.2.**

II.5. Vérification des épaisseurs de chaussées et choix de la variante

II.5.1. Vérification des épaisseurs de chaussée

Après avoir déterminé les épaisseurs initiales et les structures des différents types de chaussées (souples et rigides) ; il faudra procéder à une vérification des contraintes et des déformations afin d'obtenir les épaisseurs finales des couches de chaussée. Le logiciel Alizé LCPC, réalisé par l'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR) est le principal outil de dimensionnement mécanique des structures de chaussées utilisées en Afrique occidentale. Il nous permettra

d'achever le dimensionnement de notre structure de chaussée suivant un modèle semi empirique (rationnel) justifié par les guides et le calcul mécanique en reference à la NF P 98 086 [12].

Les résultats obtenus sont dans le cas des chaussées rigides détaillées dans le **Tableau II-13** et dans le cas des chaussées souples détaillées le **Tableau II-14**.

Les calculs avec Alizé sont quant à eux présentés et commentés en **Annexe I.2** (**Illustration 12 page XIV**) pour les chaussées rigides et en **Annexe I.2** (**Illustration 13 page XIV**) pour les chaussées souples.

Hypothèses utilisées pour le calcul de la chaussée rigide avec Alizé

- Couche de roulement en BC5 (BAC) de 21 cm ;
- Couche d'assise en BC3 de (Bm) de 14 cm ;
- Sol avec un module de 120 MPa supposé infini ;
- Les interfaces seront glissantes entre le BC5 et le BC3 et collées entre le BC3 et le sol support en référence à la norme NF P 98 086 ;
- Les données de trafic sont citées plus haut et relatives à la chaussée rigide.

Tableau II-13: Vérification des critères admissibles et choix des épaisseurs des couches (chaussée rigide)

Matériaux	Couches	Interface entre les couches	Valeurs admissibles des critères	Valeurs des critères avec Alizé	Epaisseurs retenues	Statuts
BC5	Roulement	Glissante	σ_t =1,481 MPa	σ_t =|-1,308| MPa	21 cm	Vérifié
BC3	Assise		σ_t =1,503 MPa	σ_t =|-0,596| MPa	14 cm	Vérifié
PF3	Sol support	Collée	Ɛz = 346,12 µdef	Ɛz = 109,1 µdef	Infinie	Vérifié

Hypothèses utilisées pour le calcul de la chaussée souple avec Alizé

- la température équivalente sera de 34°C, nous basant sur les études réalisées au Sénégal, qui représente plus les caractéristiques de notre zone d'étude ;
- la fréquence préconisée par le guide est de 20 Hz, mais la version du logiciel que nous avons ne considère que 10 Hz, cela nous servira de base ;

- le coefficient de poisson sera de 0,45 pour les matériaux bitumineux ;
- les données de trafic sont ces calculées pour les chaussées souples ;
- les interfaces seront collées entre les différentes couches en référence à la norme NF P 98 086.

Tableau II-14: Vérification des critères admissibles et choix des épaisseurs des couches (chaussée souple)

Matériaux	Couches	Interface entre les couches	Valeurs admissibles des critères	Valeurs des critères avec Alizé	Epaisseurs retenues	Statuts
BBSG	Roulement	Collée	Ɛt = 166,80 µdef	Ɛt = 29,7 µdef	8 cm	Vérifié
GB3	Assise		Ɛt = 157,50 µdef	Ɛt = |-157,5| µdef	24 cm	Vérifié
PF3	Sol support	Collée	Ɛz = 407,74 µdef	Ɛz = 401,3 µdef	Infinie	Vérifié

II.5.2 Choix de la variante

Bien que les deux propositions soient correctes et répondent aux critères de dimensionnement mécanique, il serait judicieux de faire une brève étude comparative afin de proposer la variante qui serait la plus adaptée pour la VP4. Nous nous appuierons sur le critère économique, environnemental et technique afin de proposer la structure de chaussée retenue. Cette comparaison ne concerne que les couches d'assises et de revêtements, les autres composantes étant identiques pour les deux variantes.

- Critère économique : Il sera question d'estimer le coût (matériels et entretien) que les deux types de chaussées peuvent impliquer. Le critère économique sera pondéré de deux (2) vu son importance. L'évaluation du prix des bétons routiers sera faite sur la base de la formulation proposée en référence au guide technique Cimbéton tome 2 [15] et à la mercuriale des prix 2025 (Ouagadougou). Pour les chaussées souples, nous évaluerons les prix sur la base de la mercuriale 2025.

La **Figure II-4** nous donne un aperçu des prix obtenus pour les deux variantes.

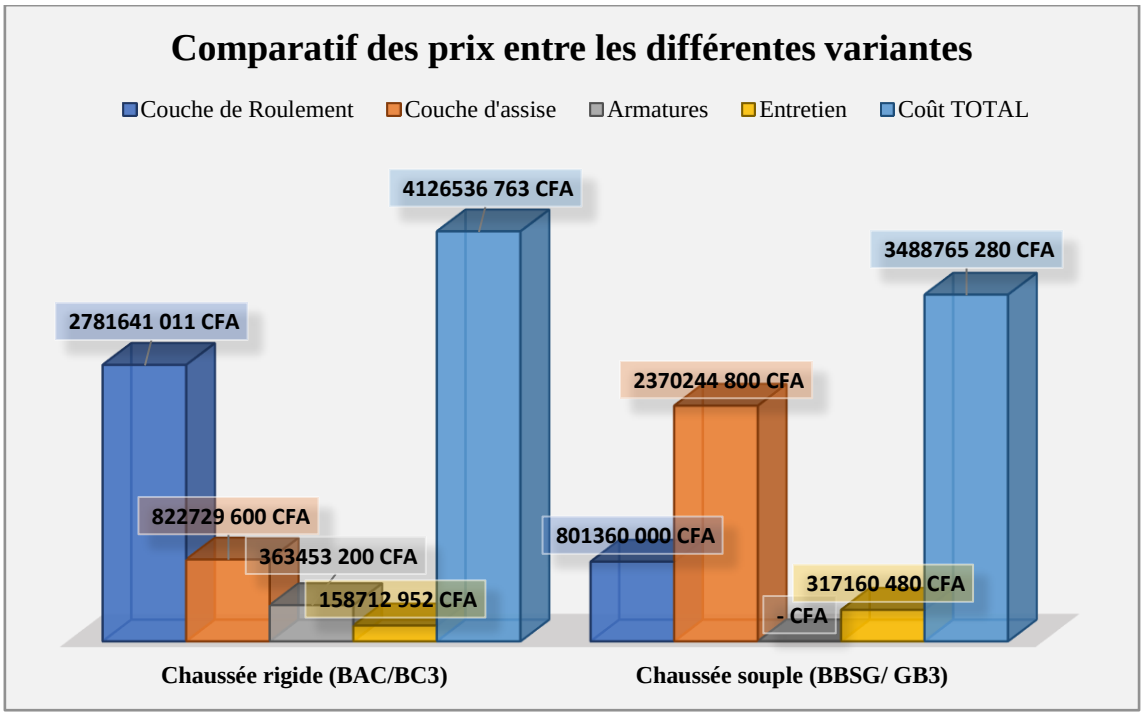


Figure II-4: Etude comparative des chaussées rigides et souples suivant le critère économique

Pour la chaussée rigide, nous estimons le prix hors taxes à quatre milliards cent vingt-six millions cinq cent trente-six mille sept cent soixante-trois (4 126 536 763) francs CFA HT, le prix sera de trois milliards six cent sept millions deux cent soixante-dix-sept mille cinq cent vingt (3 607 277 520) Francs CFA HT pour la chaussée souple. Ce prix inclut différents entretiens qui pourraient être réalisés tout au long de la durée de vie. Nous admettrons que les entretiens pourraient intervenir après 10 à 12 années.

Sur le long terme, les chaussées rigides permettent d'économiser plus, car elles nécessitent moins d'entretien que les chaussées souples. Néanmoins les chaussées souples seront pondérées positivement de 2 points vu leur coût de confection élevé de l'autre variante, approximativement un milliard sept cent quatre-vingt-deux millions quatre cent quatre-vingt-dix mille quatre cent quatre-vingt-un (1 782 490 481) Francs CFA hors taxes par kilomètre contre un milliard quatre cent soixante-treize millions deux cents milles (1 473 200 000) Francs CFA hors taxes par kilomètre pour les chaussées souples.

- Critères techniques et environnementaux : Il sera question d'évaluer la technique de mise en œuvre, le comportement de la chaussée face aux sollicitations ainsi que les aspects liés à l'esthétique. A travers le **Tableau II-15,** nous présentons cette brève comparaison.

Tableau II-15: Etude comparative selon les critères techniques et environnementaux (chaussée rigide, chaussée souple)

	Variante n°1 : chaussée rigide		Variante n°2 : chaussée souple	
	Critère technique			
Avantages	▪ Les modules des bétons de ciment sont élevés ; ▪ Meilleure répartition des charges, les chaussées travaillent en flexion ; ▪ Plus adaptée pour les véhicules poids lourds, car ces types de chaussées acceptent plus le trafic lourd et lent et les différentes manœuvres ; ▪ Les bétons de ciment sont résistants aux agents agressifs (hydrocarbures…) rejetés par les véhicules lourds ; ▪ Les matériaux fatiguent moins vite, durabilité accrue ;	+1 +1 +1 +1 +1	▪ Réalisation maitrisée ▪ Bonne résistance face aux agents chimiques	+1 +1
Inconvénients	▪ Le gonflement du béton et le retrait créent des fissures ; ▪ Très peu de réalisations en Afrique de l'Ouest ; ▪ Mauvaise résistance aux attaques chimiques	-1 -1 -1	▪ Les modules sont faibles pour les graves non traités ; ▪ Les charges sont concentriques, les chaussées travaillent en compression ; ▪ Module des matériaux bitumineux dépendant de la température ; ▪ Moins adaptée pour les poids lourds, risque de décollement du revêtement ; ▪ Mauvaise résistance face aux hydrocarbures ; ▪ Les matériaux ont tendance à vite fatiguer, mauvaise durabilité ;	-1 -1 -1 -1 -1 -1
	Critère environnemental			
Avantages	▪ Bonne visibilité la nuit liée à la couleur du ciment ; ▪ Surface de contact plus lisse, consommation réduite ;	+1 +1	▪ Faible pollution sonore pour les enrobés 0db NCAT (Bitume Québec) ▪ Emission faible en CO_2 50kg/tonne (transport) et 40kg/m^2 (construction)	+1 +1
Inconvénients	▪ Pour le béton +3 db selon la méthode NCAT (Bitume Québec) ; ▪ Forte émission de CO_2 150 kg/m^2 (construction chaussée) et 200kg/tonne (pour un camion transportant marchandise). Source : Bitume Québec	-1 -1	▪ Mauvaise visibilité la nuit liée à la couleur du bitume ; ▪ Surface de contact plus rugueuse, consommation plus importante	-1 -1

Pour la voie principale n°4, nous opterons pour la variante en béton de ciment qui présente plus d'avantages pour les zones industrielles soumises à un fort trafic. Cette variante alliant un Béton Armé Continu et un Béton Maigre devra toutefois être réalisée en tenant compte des recommandations émises par la NF P 98 170. Nous citerons :

- avant d'effectuer le répandage du béton pour la couche de roulement et celle de fondation, la couche support et le coffrage devront être hydratés afin d'empêcher le départ d'eau contenue dans le béton ;
- les produits de cure sont à prévoir au niveau des interfaces cimentaires et au-dessus du BAC afin d'éviter les effets liés au climat (pluie, soleil…)
- pour la couche de roulement, les aciers doivent être placés à mi-hauteur avec une tolérance de ± 2 cm sur la largeur de la chaussée et ± 3 cm en hauteur ;
- la longueur minimale des fers de liaison est de 0,8 m, en aucun cas leur position ne doit s'écarter de 2 cm de la position théorique ;
- utilisation de joint de dilatation à proximité des ouvrages d'art ;
- le béton doit être vibré à l'aide d'une aiguille, notamment le long du coffrage, le passage de la règle vibrante complètera l'opération.
- la surface du béton doit être talochée au moyen d'une lisseuse manuelle ou mécanisée de manière à avoir une surface lisse ;
- les travaux de finition seront parachevés par un striage ou un balayage de la surface de la chaussée afin de créer des aspérités qui favoriseront l'adhérence et les qualités antidérapantes à la voie ;
- mise en place des joints longitudinaux pour la couche d'assise et de roulement nécessaire quand la largeur de chaussée dépasse 4,5 m [15];
- des joints d'arrêt correspondant à 5 fois le diamètre de l'acier longitudinal seront aussi mis en place à la fin de chaque jour de travail ;

Conclusion

Au terme de ce chapitre, il a été retenu une route à chaussées séparées unidirectionnelles 2x2 voies. Le logiciel Covadis nous a permis de modéliser et de réaliser les éléments du tracé de la route sur la base d'une vitesse de référence de 60 km/h. En outre le comptage réalisé sur la VP4 nous a renseigné sur la forte intensité du trafic (T4), notamment constitué de poids lourds. La structure de chaussée correspondante aux véhicules lourds sera finalement constituée de 21 cm de BAC (revêtement) reposant sur14 cm de BC3 (assise), le tout disposé sur sol de type PF3.Les éléments de la route calculés nous aborderons à travers le chapitre suivant les éléments destinés à assainir la route.

CHAPITRE III : ETUDE DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

Introduction

Au stade de la conception routière, les études hydrologiques et hydrauliques sont d'une importance fondamentale. Elles permettent la mise en place de systèmes d'assainissement et de drainage routier afin d'assurer la sécurité et la longévité de l'infrastructure routière. Ce chapitre constituera la seconde phase de ce travail.

III.1. Etude hydrologique

L'objectif principal de cette étude sera de caractériser le réseau hydrographique de la zone d'étude et d'estimer les débits de crues des écoulements de surface.

Une notion indispensable en hydrologie est celle de bassin versant. Il représente un espace géographique et topographique recevant les précipitations dont la partie ruisselante converge vers un unique point caractéristique appelé exutoire. Nous allons d'abord délimiter les bassins versants et déterminer leurs paramètres caractéristiques (superficie, périmètre, dénivelées, longueur des lignes d'écoulement) à l'aide des logiciels Google Earth et ArcGis. Par la suite, nous estimerons les débits de crue en nous appuyant sur les documents normatifs : FAO 54 [19] et BCEOM [20].

III.1.1. Réseau hydrographique et caractéristiques des bassins versants

Afin de retrouver le réseau hydrographique de la zone, une délimitation de la zone d'étude a été effectuée sur le logiciel Google Earth. Le listing des coordonnées de notre tronçon disponible grâce au travail de conception routière ayant auparavant été menée, nous avons pu identifier avec exactitude la position des points représentant les exutoires. Cette délimitation à part la suite été traitée afin d'obtenir le fichier le DEM (Digital Elevation Model) qui est assimilable au modèle numérique de terrain de toute la zone. Ainsi, les données ont été traitées à travers le module ‘‘Hydrologie’’ du logiciel ArcGis. Nous avons ainsi pu :

- ♣ modéliser les lignes d'écoulements ;
- ♣ placer les exutoires et ainsi délimiter les bassins versants ;
- ♣ déterminer les caractéristiques premières des bassins versants (Périmètre, surface, altitudes…).

La **Figure III-1** montre les bassins versants délimités. Les caractéristiques obtenues avec ArcGis sont quant à elles présentées dans le **Tableau III-1.**

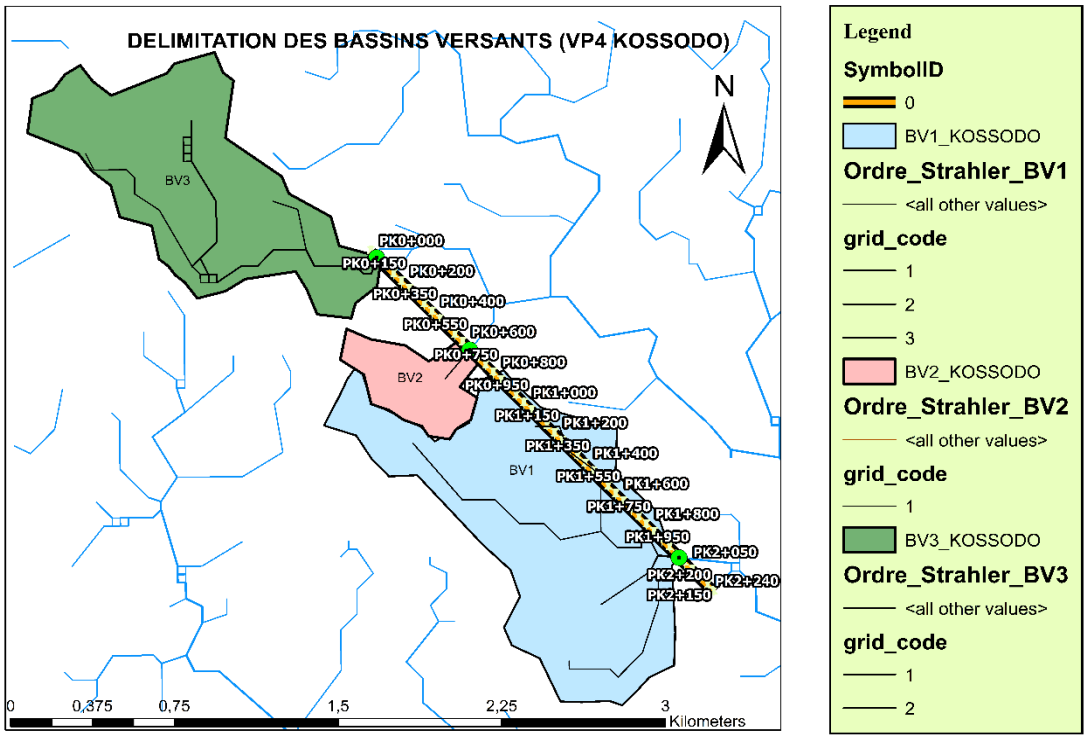


Figure III-1: Délimitation des bassins versants avec ArcGis

Tableau III-1: Caractéristiques des bassins versants

Bassins Versants	Superficie [km^2]	Périmètre [km]	Z max [m]	Z min [m]	Longueur totale du réseau hydrographique [km]	Longueur du plus long cours d'eau [km]
BV1	1,17	5,73	303,82	284	3,42	1,54
BV2	0,19	2,08	306,51	296,58	0,19	0,19
BV3	0.89	4,94	313,50	298,18	3,45	1,46

Afin de mieux caractériser les bassins versants, les paramètres restants seront déterminés par calcul et présentés en **Annexe I-4**. Il s'agit entre autres de :

- la longueur du rectangle équivalent qui est obtenu en assimilant le bassin versant à un rectangle dont les valeurs du périmètre et de la surface sont identiques au sien [19]. La longueur est directement déterminée par calcul numérique :

$$L_{eq}[km] = \frac{P^2 + \sqrt{P^2 - 16 * S}}{4} \quad \textbf{(7)}$$

- P [km] : Périmètre
- S [km^2] : Surface

♣ pente longitudinale moyenne : Elle influe de manière notable sur les débits de crues en augmentant ou en diminuant les vitesses de ruissellement suivant que la pente est forte ou faible. La détermination exacte de la pente est assez délicate en raison des variations à travers tout le bassin versant. Mais nous pouvons retrouver une valeur approximative à partir de la formule.

$$I_{moy}\,[km] = \frac{0.026}{\sqrt{S}} \quad \textbf{(8)}$$

- S [km^2] : Surface

♣ la densité de drainage se définit comme étant le rapport de la longueur des cours d'eau de tous les ordres sur la surface totale de notre bassin versant. Une haute densité de drainage est souvent associée à des roches imperméables, tandis qu'une densité de drainage plutôt faible renvoie plutôt à une végétation dense.

$$D_d[km^{-1}] = \frac{\sum L_i}{S} \quad \textbf{(9)}$$

- L_i [km] : Longueur des cours d'eau
- S [km^2] : Surface

♣ indice global de pente : Cet indice caractérise le relief du bassin versant et peut être déterminé par la formule citée plus bas

$$I_g[m/km] = \frac{D}{L_{eq}} \quad \textbf{(10)}$$

- D représente la dénivelée, exprimée en mètres, séparant les altitudes ayant approximativement 5% et 95% de la surface du bassin au-dessus d'elles.
- L_{eq} [km] : Longueur du rectangle équivalent

♣ indice global de pente corrigé : Il est déterminé lorsque les pentes transversales sont (> 20%) des pentes longitudinales.

$$I_{gcorr}[m/km] = \frac{(n-1)I_g + I_t}{n} \quad \textbf{(11)}$$

- I_t représente la pente transversale moyenne mesurée sur 4 ou 6 lignes de plus grandes pentes du bassin versant.
- n est fonction de la longueur de rectangle équivalent

III.1.2. Période de retour

La période de retour correspond au temps statistique d'occurrence entre deux événements d'intensité identique. La majorité des méthodes de prédétermination des débits reposent sur l'hypothèse selon laquelle la période de retour du débit est égale à celle de l'averse, mais cela n'est pas totalement vraie, car une averse de période de retour donnée, génère très rarement un même débit de fréquence d'occurrence identique.

Un dimensionnement judicieux des ouvrages d'assainissement implique un choix réfléchi de la période d'occurrence de l'événement pluvieux intercepté par l'ouvrage, du type d'ouvrage, mais aussi du niveau d'aménagement projeté pour la route. Le débit est généralement généré par l'addition de l'averse écoulée et de l'état du milieu naturel (couverture végétale, sol, imperméabilité…) qui la reçoit. Cet état du bassin versant se présente généralement de diverses manières pour un même événement pluvieux. Cela explique notamment la difficulté pour choix de la période de retour, car théoriquement le dimensionnement doit tenir compte de ce paramètre. Seul le bon sens de l'ingénieur et une analyse fine des aspects contribuant au ruissellement permettent le choix de ce critère de dimensionnement. Le **Tableau III-2** présente les périodes de retour en fonction du type d'ouvrage et de la catégorie de la route [21].

Tableau III-2: Choix de la période de retour (source : Jamel Neji, 2005)

	Routes nationales	**Routes régionales**	**Routes locales**
Ponts	100 ans	100 ans	
Dalots	10, 20 ou 50 (*) ans	10, 20 ou 50 (*) ans	10, 20 (*) ans
Fossés	5 à 10 ans	5 à 10 ans	5 à 10 ans
Ouvrages de décharges	5 à 10 ans	5 à 10 ans	1 à 2 ans

(*) selon l'importance du cours d'eau traversé

Une période de retour de 10 ans sera considérée pour estimer les débits du projet.

III.1.3. Méthodes d'estimation des débits

Afin d'évaluer les débits des bassins versants, plusieurs formules empiriques sont utilisées. L'utilisation des moyens de modélisation numérique, plus récents, permet aussi de confirmer les valeurs des débits obtenues avec les méthodes empiriques. Le calcul empirique prend en compte plusieurs aspects morphologiques des bassins versants et des zones d'études : climat, végétation, surface, topographie… Les guides cités plus hauts

nous ont permis d'identifier trois méthodes d'évaluation des débits (la méthode rationnelle, la méthode ORSTOM et la méthode CIEH) qui sont applicables pour nos bassins versants et qui seront utilisées dans la suite du travail.

a) Méthode rationnelle

La méthode rationnelle est la plus ancienne, mais aussi la plus utilisée. Elle fait appel aux caractéristiques principales engendrant les débits maximaux (durée de l'averse et l'intensité). Elle est utilisée pour le calcul des petits ouvrages d'assainissement routier dont la superficie des bassins versants est inférieure à 4 km^2 [20]. Le débit de crue est obtenu à travers l'équation ci-dessous :

$$Q_{10}[m^3/s] = \frac{1}{3.6} C * I * A \quad \textbf{(12)}$$

- C : coefficient de ruissellement, il intègre plusieurs paramètres (topographie, type de sol et végétation)
- I [mm/h] : Intensité maximale de la pluie choisie
- A : surface du bassin versant en km^2

La méthodologie de calcul est présentée en **Annexe I.4 page XVII.**

b) Méthode de l'ORSTOM

La méthode de l'ORSTOM, encore appelée méthode de Rodier, permet de déterminer le débit décennal. Elle est basée sur une approche déterministe permettant de supposer que les crues ne dépendent que des événements pluvieux ; elles sont aussi liées à des facteurs physiographiques, tels que la végétation, l'humidité du sol, le relief.

La méthode est applicable pour des bassins allant d'une dizaine d'hectares à 1500 km^2 [19] à travers la zone géographique s'étendant du Sénégal jusqu'à la frontière du Soudan et pour des isohyètes annuelles allant de 150 mm au Nord à 1200 mm au Sud. Le débit est obtenu à travers :

$$Q_{10} = m * Qr_{10}$$

Avec

$$Qr_{10} = A * P_{10} * \alpha_{10} * \frac{S}{Tb_{10}} \quad \textbf{(13)}$$

- m : coefficient de majoration
- A : coefficient d'abattement de Villaume
- Q_{r10} [m^3/s] : Débit de pointe du ruissellement superficiel décennal
- P_{10} [mm] : Pluie journalière maximale décennale
- T_{b10} [min] : temps de base de la pluie décennale
- α : Coefficient de pointe

c) Méthode CIEH

Cette approche statistique a été introduite par Puech et Chabi Goni, chercheurs au Centre Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH) en 1984. Elle a été mise au point à partir des études menées sur 162 bassins versants expérimentaux de superficie inférieure à 2500 km^2 en Afrique francophone pour des pluies annuelles inférieures à 2000 mm [19].

La formulation retenue pour retrouver l'expression du débit de pointe Q10 est basée sur un schéma de régression multiple et se présente sous la forme :

$$Q_{10}[m^3/s] = a * S^s * Pan^p * Ig^i * {Kr_{10}}^k Dd^d \quad \textbf{(14)}$$

- a, s p, i, d, k : Constantes de régression ;
- S [km^2] : Superficie du bassin versant ;
- Pan : Pluie annuelle moyenne ;
- Ig [m/km] : Indice global de pente ;
- Kr_{10} : Coefficient de ruissellement décennal ;
- D_d [km^{-1}] : Densité de drainage.

Les hypothèses et détails considérés dans le calcul des débits avec les méthodes rationnelles, ORSTOM et CIEH sont présentés en **Annexe I.4 pages XVIII et XVIV.**

III.1.4. Débits-projets retenus

Après avoir déterminé les différents débits décennaux, nous avons choisi de retenir les débits présentant le même ordre de grandeur, nous exclurons la méthode CIEH présentant des valeurs de débits nettement supérieurs à ceux retrouver avec les formules de l'OSTROM et Rationnelle. La méthode CIEH surestime en effet les débits quand il sagit des bassins versants de petites. Néanmoins, un coefficient de majoration de 1,51 est pris en compte pour obtenir le débit projet pour les différents bassins versants.

Ce coefficient est tiré du *rapport final de l'étude de modélisation hydrologique et hydraulique pour la compréhension de la submersion par les eaux de ruissellement du pont de Hérédougou (Burkina Faso)* fait sur le logiciel HEC RAS.

En effet, ce rapport présente une analyse comparative des méthodes empiriques de calcul de débits : ORSTOM et CIEH avec le modèle numérique obtenu avec HEC RAS. Il est à noter que les différentes méthodes élaborées sur la base de nombreuses études

expérimentales entre 1960 et 1980 représentent plus les conditions liées au climat et aux conditions de surface de cette période [22].

L'augmentation du débit s'expliquerait par :

- la hausse de la variation climatique et l'intensification des précipitations extrêmes ;
- l'évolution défavorable des états de surface.

Bien que l'étude n'ait pas spécifiquement pris en compte la ville de Ouagadougou, nous choisissons de prendre en compte ce coefficient vu la prépondérance de l'étude.

Les valeurs des débits projets sont présentées dans le **Tableau III-3.**

Tableau III-3: Valeurs des débits-projets

Bassins versants	**Débit par la méthode**			**Débits Projets [m³/s]**
	Rationnelle [m³/s]	ORSTOM [m³/s]	CIEH [m³/s]	
BV1	2,12	2,02	8,37	3,14
BV2	0,51	-	-	0,77
BV3	1,53	1,66	8,45	2,39

Les **Illustration 20 page XXIII , Illustration 21 page XXIV** et **Illustration 22 page XXV** présentées en **Annexe I.4** représentent les synthèses des différents calculs de débits.

III.2. Etude hydraulique

Sur la base des débits projet retenus après l'étude hydrologique, nous déterminerons les sections hydrauliques des ouvrages d'assainissement routier conformément au guide de dimensionnement : BCEOM [20], principal document normatif utilisé pour le calcul des ouvrages de collecte et d'évacuation des eaux de surface.

III.2.1. Ouvrages longitudinaux

Il s'agira d'évacuer les écoulements issus des crêtes de talus et de l'emprise de la route. Après inspection du terrain naturel et analyse du réseau hydrographique, nous avons décidé de mettre en place un réseau de caniveaux (choix le plus prépondérant en zone d'agglomération). Les caniveaux représenteront les collecteurs primaires de la route, leur fonction principale sera l'évacuation des eaux de surface issues des bassins versants 2 et 3 vers des points plus bas.

Un écoulement uniforme est supposé dans ce cas. Nous opterons pour une section économique minimisant à la fois la section mouillée S du caniveau et son périmètre mouillé P. Les valeurs de profondeur normale, de largeur seront obtenues par itération en utilisant la formule de la débitance. Celle-ci découle de l'équation de Manning-Strickler cité ci-dessous :

$$Q = Ks * S * Rh^{2/3} * \sqrt{I} \quad \textbf{(15)}$$

- Q : Débit projet [m^3/s]
- S [m^2] : Section mouillée correspondant à b*y_n
- Rh [m] : Rayon hydraulique correspondant au rapport S/ P
- I [m/m] : Pente longitude du canal

La méthode itérative de la débitance consiste à fixer une valeur de largeur au miroir et de calculer la valeur de la débitance $Q = Ks * S * Rh^{2/3}$ pour différentes valeurs de profondeur normale. Cette valeur est comparée à $Q/\sqrt{I}$ afin d'obtenir à peu près l'égalité.

Les paramètres suivants ont été utilisés pour le calcul des caniveaux :

- coefficient de rugosité Ks : 70 (ouvrage revêtu en béton armé)
- pente longitudinale : 3%, il est conseillé de ne pas dépasser les valeurs de 4% pour ne pas avoir à utiliser des brises pentes [21].
- vitesses admissibles pour les canaux en béton [0,3 - 5,4 m^3/s] [21].

Après avoir imposé une largeur au miroir (b=0,8 m), nous avons obtenu les résultats des sections hydrauliques des caniveaux par la méthode de la débitance. Les résultats de calcul sont présentés dans le **Tableau III-4**:

Tableau III-4: Paramètres hydrauliques du caniveau par la méthode de débitance

Méthode de la débitance (Canal en béton armé de section rectangulaire)							
Débit [m^3/s]	Yn [m]	S [m^2]	P [m]	Rh [m]	Débitance	Q/(I^0,5)	V[m^3/s]
3,15	0,7	0,56	2,2	0,25	15,74	18,12	4,26
3,15	0,75	0,6	2,3	0,26	17,14	18,12	3,98
3,15	0,8	0,64	2,4	0.27	18,56	18,12	3,73

La revanche est obtenue à travers la formule de LACEY, $r[m] = 0{,}20 + 0{,}15 * Q^{(\frac{1}{3})}$, nous retiendrons la valeur de 0,5 m.

III.2.2. Ouvrages transversaux

Ce sont des ouvrages de franchissement destinés à faire passer l'eau sous la chaussée. Ils permettent le rétablissement des écoulements naturels et sont subdivisés en trois classes : ouvrages non submersibles (buses, dalots…), ouvrages submersibles mixtes (cassis busés à déversoir) et les ouvrages absolument submersibles (radier submersible…).

Nous nous intéressons à la première catégorie. L'ouvrage à dimensionner doit être capable de faire transiter le débit généré par nos différents bassins sans risque de déversement sur la route. Notre choix sera porté sur les dalots vu l'ensemble des caractères techniques qu'ils peuvent présenter :

- ♣ capacité d'évacuer de grand débit (supérieur à 10 m^3/s) ;
- ♣ capacité à servir directement de plateforme pour les charges roulantes ;
- ♣ la capacité portante du sol de fondation et de l'ouverture hydraulique à prendre en compte. Ce critère permet aussi de choisir entre les dalots cadres et portiques ;
- ♣ possibilité de confectionner les dalots sur place ;
- ♣ la hauteur de remblai ne doit pas excéder les 2 m, sauf pour les aménagements spéciaux.

Le dimensionnement des dalots passe par le calcul de différents paramètres additionnels et l'utilisation de différents abaques de dimensionnement [20]. C'est une méthode graphique qui implique une bonne connaissance du mode de fonctionnement des ouvrages, de la topographie du terrain, et de la largeur de notre cours d'eau.

Il existe deux types de fonctionnement pour les dalots :

- ♣ le fonctionnement en sortie noyée généralement rencontrée dans les zones inondables ou de marée. Ici, le niveau de l'eau à l'exutoire immédiat de l'ouvrage dépasse le bord supérieur de l'ouvrage.
- ♣ le fonctionnement en sortie libre présentant un niveau d'eau à l'exutoire immédiat de l'ouvrage au-dessous du bord supérieur de l'ouvrage.

Dans le cadre de ce travail, un fonctionnement en surface libre est envisagé. Le dimensionnement hydraulique du dalot est fait suivant les quatre étapes suggérées par le BCEOM. Ces phases sont les suivantes :

♣ **Etape 1 :** Détermination de la profondeur amont H1

Le débit projet connu, on se fixe des valeurs arbitraires à notre dalot (nombre de cellules n, largeur de cellule B et hauteur D). Ces valeurs doivent néanmoins être prises en fonction de l'espace disponible et de la largeur de notre cours d'eau. Une vérification des profils topographiques est nécessaire (Profils en long et profils en travers au niveau de la position d'implantation de l'ouvrage). Cela nous permettra de déterminer le débit réduit Q*, paramètre adimensionnel n°1. Par la suite la valeur du second paramètre adimensionnel H1* est lue en projetant la valeur de Q* sur la figue 77 présentée en **Annexe I.4** (**Illustration 23 page XXVI**). On déduira la valeur de la hauteur d'eau en amont. Les équations suivantes permettent d'obtenir la valeur de H1 :

$$Q^* = \frac{q}{BD\sqrt{2gD}}$$
$$H1^* = \frac{H1}{D}$$
$$\text{Donc } H1 = D * H1^*$$

(16)

- q[m^3/s]=Q/n : débit unitaire correspondant à chaque cellule
- g[m/s^2] : accélération de la pesanteur
- H [m]: hauteur d'eau en amont

♣ **Etape 2** : Détermination de la pente longitudinale

Le processus est le même. On calcule d'abord le débit réduit qu'on projette cette fois sur la figure 82 présentée en **Annexe I.4** (**Illustration 24 page XXVII**) afin de calculer le second paramètre adimensionnel, qui, cette fois, sera la pente critique réduite Ic*. La valeur de la pente critique sera calculée à partir de la formule appropriée. Par la suite, la valeur de la pente longitudinale sera déterminée à partir de la pente critique. Les équations qui seront utilisées suivent :

$$Q^* = \frac{q}{\sqrt{gb^5}}$$
$$I_c{}^* = \frac{I_c}{g/(ks^2 * B^{(1/3)})}$$
$$\text{Donc } I_c = (I_c{}^* * g)/(ks^2 * B^{(1/3)})$$
$$I = 1{,}2 * I_c$$

(17)

- q[m^3/s]=Q/n : débit unitaire correspondant à chaque cellule
- g[m/s^2] : accélération de la pesanteur
- Ks : coefficient de rugosité
- Ic [m/m] : pente critique
- I [m/m] : pente longitudinale

♣ **Etape 3** : Détermination de la vitesse

On détermine la valeur du premier paramètre, le débit réduit Q*. Par la suite, on lit sur la figure 84 présentée en **Annexe I.4** (**Illustration 25 page XXVII**) la valeur de la vitesse

réduite. On déterminera la vitesse dans le dalot en fonction de la vitesse réduite. Les formules utilisées sont :

$$Q^* = \frac{q}{Ks * I^{0,5} * B^{8/3}}$$

$$V^* = \frac{V}{Ks * I^{0,5} * B^{2/3}} \quad \textbf{(18)}$$

$$\text{Donc } V = V^* * Ks * I^{0,5} * B^{2/3}$$

- q[m^3/s]=Q/n : débit unitaire correspondant à chaque cellule
- V* : vitesse réduite
- V [m/s] vitesses dans le dalot

♣ **Etape 4** : Vérification de la condition d'auto-curage

La vitesse moyenne d'écoulement doit se situer dans un intervalle de confiance afin de satisfaire les conditions d'auto-curage permettant d'éviter les dépôts solides dans le canal 0,5 m/s ≤ Vmoy ≤ 3 m/s.

Si la vitesse est supérieure à la vitesse maximale (3 m/s), deux solutions se présentent : agrandir les sections des cellules ou jouer sur leur nombre.

Dans le cadre de cette étude un seul dalot sera prévu et implanté au (PK 0 +350). Il devra être capable d'évacuer le débit des trois bassins versants qui sont en série dans ce cas. Nous retenons le dalot dont les caractéristiques sont présentées dans le **Tableau III-5**

Tableau III-5: Caractéristiques du dalot.

Débit Projet [m^3/s]	Nombre d'ouvertures	Hauteur hydraulique D [m]	Largeur hydraulique B[m]	Vitesse [m/s]
6,29	2	1	2	1,73

III.3. Drainage routier

En plus des solutions de collectes des eaux de surface et de rétablissement des écoulements naturels proposées à travers la confection de caniveaux et de dalots, il serait nécessaire d'envisager des ouvrages de collecte, qui, cette fois, auront pour rôle l'évacuation des eaux internes à la chaussée.

Une chaussée bien drainée permet d'améliorer le comportement mécanique du sol optimisant sa capacité portante et allongeant sa durée de vie. L'étude de drainage routier est réalisée en référence au document normatif : drainage routier [23].

a) Drainage dans le cadre d'un projet routier neuf

Le drainage routier est un volet de l'assainissement routier qui permet la prise en compte des eaux internes provenant des remontées des nappes phréatiques et des infiltrations (depuis l'accotement ou la chaussée jusqu'aux interfaces couche de chaussée et sol support). Le système de drainage routier est généralement choisi en concertation avec l'équipe géotechnique ayant une connaissance approfondie de la stratigraphie des sols sondés. Ainsi des systèmes de drains longitudinaux, transversaux des couches drainantes ou des géotextiles peuvent être additionnés aux ouvrages prévus plus haut pour garantir les meilleures qualités de portance à notre plateforme.

Toutefois, on peut se soustraire à l'obligation de drainage dans les cas suivants :

- ♣ trafic poids lourd très faible (<25 PL/ jrs) ;
- ♣ contexte hydrogéologique favorable (nappes d'eau naturelles situées en profondeur et non interceptées, sensibilité faible des sols à l'eau …) ;
- ♣ contexte climatique ou météorologique favorable (indice d'humidité du sol et de la chaussée faible…).

Notre zone de projet étant située en zone tropicale sèche avec une humidité des sols faible, du béton armé continu comme couche de chaussée (fissures maitrisées, peu influencées par l'eau lorsqu'ils sont bien réalisés) et des sols de type B [23] comme sols support (sols drainants), nous ne prévoirons pas de systèmes de drainage particuliers.

III.4. Etude structurale des ouvrages hydrauliques

L'étude structurale consiste en la détermination des sections d'aciers théoriques en vue de la réalisation des plans d'exécution des différents ouvrages hydrauliques nécessaires pour assainir la voie. Le calcul est basé sur une évaluation des sollicitations les plus contraignantes générées par la combinaison des charges d'exploitation (charges routières) et les charges permanentes (poussée de terre, poids des différents éléments constitutifs de l'ouvrage).

Les différents hypothèses et règlements de calcul pour ces types d'ouvrages régissent des documents normatifs, Eurocode 2 (NF EN 1992-1) [24] et les règles du BAEL 91 modifié 99 [25]. Les chargements à considérer, quant à eux, seront choisis en tenant compte des prescriptions du fascicule 61 (titre II) [26]. Compte tenu du fait que ces

ouvrages sont de manière prolongée en contact avec l'eau, ils seront dimensionnés en considérant les fissurations soit préjudiciables soit très préjudiciables.

III.4.1. Hypothèses de calcul

Elles seront essentiellement faites sur les matériaux (béton, acier) et le sol support.

a) Béton

Le choix du type de béton à mettre en place dépend en effet de l'environnement dans lequel est implanté l'ouvrage. La prise en compte de l'environnement permet aussi de justifier l'enrobage à prendre en compte pour garantir les meilleures conditions de durabilité de l'ouvrage.

♣ Choix de la classe du béton

Généralement, le choix du béton dépend des conditions d'exposition (physique et chimique) auxquelles la structure est exposée. Les conditions d'environnement sont classées conformément à la norme NF EN 206-1 [27]. La classe d'exposition de notre ouvrage est XC4, car il se trouve dans un environnement alternativement sec ou humide en référence à l'**Illustration 26 page XXVIII**. Nous pourrons à partir des conditions environnementales retrouver la classe du béton ainsi que les différents paramètres (résistance minimale, rapport E/C…) associés.

Tableau III-6: Choix du béton en fonction de la classe d'exposition (Source : EN 206)

	X0	XC1/ XC2	XF1/ XC3/ XC4/ XD1	XF2	XF3	XF4	XS2/ XS1	XS3	XD2	XD3	XA1	XA2	XA3
Eeff/ Liant (E/C)	-	0,65	0,60	0,55	0,55	0,45	0,55	0,50	0,55	0,50	0,55	0,50	0,45
Résistance mini	-	C20/25	C25/30	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C35/45	C30/37	C35/45	C40/50
Liant équivalent mini	150	260	280	300	315	340	330	350	330	350	330	350	385
Air occlu mini	-	-	-	4	4	4	-	-	-	-	-	-	-
Addition max	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,15	0,15	0,15	0,15	0,30	0,15	0,00
Nature ciment	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

♣ Enrobage

Pour garantir les conditions de durabilité, il sera important de prévoir l'enrobage suffisant pour garantir la protection des aciers contre les phénomènes de corrosion provoqués par carbonatation. Le modèle de Leo permet de calculer la profondeur de

carbonatation en tenant compte de l'aspect environnemental et de la durée de vie pour laquelle l'ouvrage doit être dimensionné [28]. Pour une humidité relative moyenne de 76% (source : ANAM) dans la zone de Ouagadougou, un coefficient d'exposition global γ = 0,9 (ouvrages partiellement exposés à la pluie) et une durée de vie fixée à 30 ans compte tenu de l'importance de cet ouvrage. Le modèle de Leo n'est valable que pour des résistances de béton inférieur à 63 MPa, la profondeur de carbonatation est donnée à travers la formule :

$$x = \Upsilon * f(HR) * k * \sqrt{t}$$

$$f(HR) = -3{,}5833(HR)^2 + 3{,}4833(HR) + 0{,}2 \quad \textbf{(19)}$$

$$k = \sqrt{365} * \left(\frac{1}{2{,}1\sqrt{Rc_{28}}} - 0{,}06\right)$$

- x : Profondeur de carbonatation [cm] ;
- f (HR) : facteur d'humidité relative
- HR : valeur de l'humidité relative [%] ;
- Rc_{28} : résistance caractéristique du béton à 28 jours [MPa]

$$f(HR) = -3{,}5833(HR)^2 + 3{,}4833(HR) + 0{,}2 = -3{,}5833(0{,}76)^2 + 3{,}4833 * 0{,}76 + 0{,}2 = 0{,}78$$

$$k = \sqrt{365} * \left(\frac{1}{2{,}1\sqrt{Rc_{28}}} - 0{,}06\right) = \sqrt{365} * \left(\frac{1}{2{,}1\sqrt{25}} - 0{,}06\right) = 0{,}68$$

$$x = \Upsilon * f(HR) * k * \sqrt{t} = 0{,}9 * 0{,}78 * 0{,}68 * \sqrt{30} = 2{,}61\ cm$$

Pour une profondeur de carbonatation x = 2,61cm, un enrobage de 3 cm sera à prévoir.

Les caractéristiques mécaniques à considérer sont les suivants :

- Ciment CEM II/A dosé couramment à 350 kg/m^3 ;
- Classe de résistance en compression C25/30 ;
- Résistance caractéristique à la traction à 28 jours ft_{28} = 2,1 MPa ;
- Module de déformation instantanée à 28 jours Ei = 11000 $fc_{28}^{(1/3)}$ = 32164 MPa ;
- Module de déformation différée à 28 jours Ev = 3700 $fc_{28}^{(1/3)}$ = 10818 MPa ;
- Contrainte admissible du béton σ_{bc} = 0,6 fc_{28} = 15 MPa ;
- Coefficient de sécurité γ_b = 1,5 ;
- Diamètre du plus gros grain C_g = 25 mm.

b) Acier

- Acier haute adhérence (HA) de limite élastique 400 MPa (HA FeE 400) ;
- Coefficient partiel de sécurité γ_s = 1,15 ;
- Coefficient d'adhérence η = 1,6 ;
- Contrainte de traction : σst (F.P) =Ɛs ; σst (F.T.P) =0,8*Ɛs

$$\varepsilon_s = min\left\{\frac{2}{3}fe; Max\left\{\frac{1}{2}fe; 110\sqrt{\eta f_{tj}}\right\}\right\} = 201{,}63\ MPa$$

c) Sol support

La plateforme projetée est constituée de matériaux graveleux latéritiques

- Poids volumique des terres γ_{sol} = 20 kN/ m^3 ;
- Coefficient de poussée de terre ka = 0,33 ;
- La capacité portante du sol sera de 2 kg/cm^2, valeur minimale admise pour les sols (sableux ou argileux sec) en fondation ;
- Les sols sont supposés stable (pas de cohésion), c=0.

III.4.2. Prédimensionnement des différents ouvrages

Le prédimensionnement a pour objectif la détermination des dimensions des différents ouvrages. Ces dimensions servent de base pour le calcul structural et sont déterminées sur la base des sections hydrauliques déjà obtenues.

a) Caniveau

La section hydraulique de notre caniveau étant 80 * 80 cm, il nous reste à déterminer les épaisseurs de la dalle de recouvrement, des piédroits et du radier. L'épaisseur prend en compte la largeur au miroir (b) et est calculée à travers la formule :

$$e[m] = \frac{b}{32} + 0{,}125\ [26]$$

$$e = \frac{0{,}8}{32} + 0{,}125 = 0{,}15\ m = 15\ cm$$

b) Dalot

Pour le dalot, il sera question de déterminer les épaisseurs du tablier, des piédroits et du radier qui serviront de base pour le dimensionnement structurel. Ces épaisseurs sont

déterminées à travers la formule ci-dessous, elle prend en compte la hauteur de remblai (H) et la plus grande dimension de la cellule hydraulique (l) :

$$e[cm] = Max\left\{\frac{l}{10} - 5\ cm\ si\ H < 2\ m;\ \frac{l}{15}\right\};$$

$$e = Max\left\{\frac{200}{10} - 5; \frac{200}{15}\right\} = 15\ cm$$

Pour les murs en ailes l'épaisseur est calculée à travers la formule $e_0 = \frac{H}{12}$

Nous allons considérer une valeur de 20 cm pour harmoniser les épaisseurs des éléments du dalot et de notre écran de soutènement. Le calcul est présenté en **annexe I-5**

III.4.3. Dimensionnement structural des ouvrages

a) Caniveau

En référence au fascicule 61 titre II, les dallettes pour caniveaux sont dimensionnés sous la base d'un chargement de type B. Le sous-système de surcharge routière Br est précisément utilisé pour l'étude des efforts locaux, il correspond à une roue isolée transmettant un effort de 100kN à travers une surface d'impact rectangulaire de 0,60m * 0,30m. La dallette serait ainsi dimensionnée en flexion simple avec l'hypothèse d'une surcharge de type Br.

Les piédroits, quant à eux, sont soumis à leur poids propre, aux efforts verticaux engendrés par la dallette de recouvrement et à la poussée exercée par les éléments de remblai. Les piédroits seront dimensionnés en flexion composée avec un effort de compression.

Quant au radier, il est soumis à la surcharge Br, à son poids propre, au poids de la dallette et des piédroits et de l'eau, il est dimensionné en flexion simple.

Le caniveau est étudié sur une bande de 1 m de portée. Pour des épaisseurs de parois supérieures à 15 cm, le fascicule 74 recommande de calculer les aciers par nappe.

Les résultats de calcul des sollicitations et des moments exercés sur les différents éléments de notre caniveau sont présentés dans le **Tableau III-7**. Les sections d'aciers les plus importantes sont obtenues à l'ELS, et en limitant les fissurations pour ne pas porter préjudice à l'ouvrage

Les détails sur le calcul du caniveau sont présentés en **annexe I.5 page XXIX.**

Tableau III-7 : Evaluation des charges et sollicitations exercées sur le caniveau

Résultats du calcul des sollicitations	
a) Dallette	
Descente de charge	
Charges permanentes (G)	Charges d'exploitation (Q)
♣ Poids propre de la dallette $P_d = e_d * \gamma_b * b = 5{,}5\ [kN]$	♣ Surcharge Br $B_r = 100\ [kN]$
Combinaison des actions (ELS privilégiée)	
♣ Moment de flexion (Mser)	$M_{ser} = M_{P_d} + M_{B_r} = 28{,}33\ [kN.m]$
♣ Moment résistant (Mserb)	$M_{serb} = 0{,}5 * b_0 * d^2 * \bar{\sigma}_{bc} * \alpha_{ser}\left(1 - (\bar{\sigma}_{ser}/3)\right) = 0{,}11$
b) Piédroits	
Descente de charge	
Charges permanentes (G)	Charges d'exploitation (Q)
♣ Poids de la dallette sur le piédroit $P_{dp} = P_d/2 = 2{,}75\ [kN]$ ♣ Poids propre piédroit $P_{pd} = \gamma_b * e_{pd} * h_{pd} = 3\ [kN]$ ♣ Poussée de terre $P_t = 0{,}5 * k_a * \gamma_{sol} * {h_r}^2 = 4{,}36\ [kN]$	♣ Surcharge routière Br $B_{rp} = \frac{B_r}{2} = 50\ [kN]$
Combinaison des actions (ELS privilégiée)	
♣ Effort normal (Nser)	$Nser = \Sigma P + \Sigma Q = 60{,}11\ [kN]$
♣ Moment fictif	$M_{ser_{fictif}} = M_{ser} + N_{ser} * (d - h/2) = 5{,}27 kN.m$
♣ Moment résistant (Mserb)	$M_{serb} = 0{,}5 * b_0 * d^2 * \bar{\sigma}_{bc} * \alpha_{ser}\left(1 - (\bar{\sigma}_{ser}/3)\right) = 0{,}060$
c) Radier	
Descente de charge	
Charges permanentes (G)	Charges d'exploitation (Q)
♣ Poids propre de la dallette $P_{dr} = e_d * \gamma_b * b = 5{,}5\ [kN]$ ♣ Poids propre des piédroits $P_{pd} = nbre * \gamma_b * e_{pd} * h_{pd} = 6\ [kN]$ ♣ Poids propre du radier $P_r = e_r * \gamma_b * b_r = P_r = 4{,}125\ [kN]$	♣ Poids de l'eau $P_e = y_n * \gamma_e * \mathrm{b} = 6{,}4\ [kN]$ ♣ Surcharge Br $Br_r = 100\ [kN]$
Combinaison des actions (ELS privilégiée)	
♣ Moment de flexion à l'ELS (Mser)	$M_{ser} = \left((G * L^2)/8\right) + \left((Q * L)/4\right) = 31{,}62 [kN.m]$
♣ Moment résistant (Mserb)	$M_{serb} = 0{,}5 * b_0 * d^2 * \bar{\sigma}_{bc} * \alpha_{ser}\left(1 - (\bar{\sigma}_{ser}/3)\right) = 0{,}060$

Le **Tableau III-8** indique les sections d'acier retenues après l'étude structurale. Comme nous pouvons le remarquer, les aciers seront disposés sur deux nappes pour tous les éléments du caniveau

Tableau III-8 : Récapitulatif des sections d'acier définitives retenues (Caniveau)

Récapitulatif des aciers retenus pour le caniveau						
Dimensions	**Dallette de recouvrement**		**Piédroits**		**Radier**	
	b = 110 cm e_d = 20 cm		h_{pd} = 80 cm e_{pd} = 15 cm		b = 110 cm e_r =15 cm	
Section	Nappe sup	Nappe inf	Nappe sup	Nappe inf	Nappe sup	Nappe inf
Aciers principaux	6 HA 10	6 HA 10	6 HA 10	6 HA 10	6 HA 12	6 HA 12
Espacement	17 cm	17 cm	17 cm	17 cm	17 cm	17 cm
Acier répartition	6 HA 8	6 HA 8	6 HA 8	6 HA 8	6 HA 10	6 HA 10
Espacement	20 cm	20 cm	15 cm	15 cm	20 cm	20 cm

Nous pouvons retrouver sur le plan de ferraillage présenté à travers la **Figure III-2** renseigne sur la disposition des aciers ainsi que leurs différentes caractéristiques (diamètre, nuance…). Les plans d'exécution du caniveau (80 x 80 cm) sont présentés en **annexe IV.**

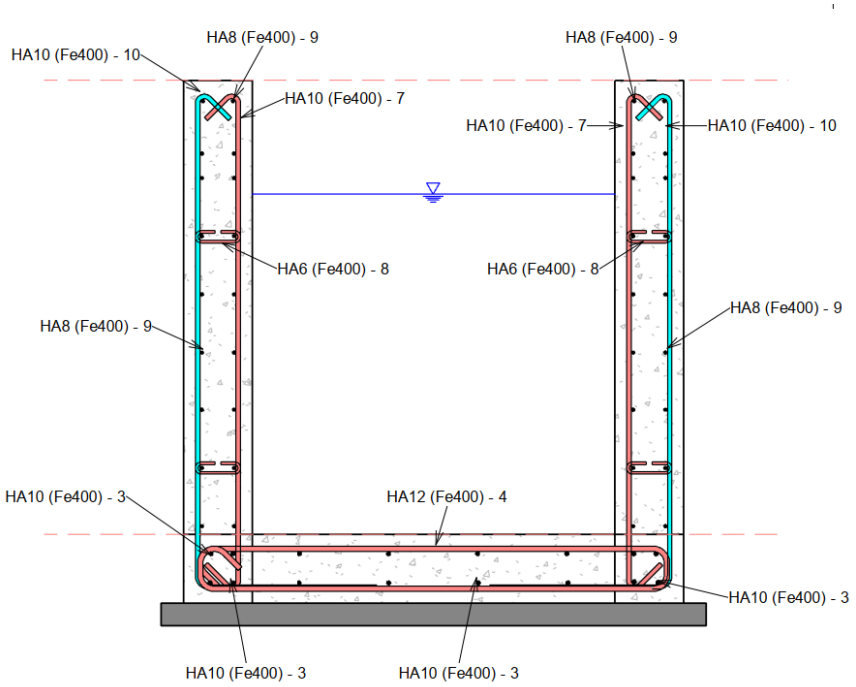


Figure III-2 : Plan de ferraillage du caniveau de (80 x 80 cm)

b) Dalot

L'étude structurale de ce type d'ouvrage en béton armé assimile le dalot à un cadre fermé rigide, soumis à différents efforts horizontaux et verticaux sur les éléments dalles et piédroits qui le constituent. Les calculs sont généralement effectués sur des bandes de 1m de largeur. Le dalot ainsi dimensionné doit pouvoir reprendre les charges liées à la fois au poids de ces composants, mais aussi de son environnement direct. Le dalot qui sera dimensionné dans le cadre de notre projet est équipé de murs en ailes qui permettront de diriger les écoulements et de contenir les éléments de remblais de la chaussée.

♣ Evaluation des charges appliquées à l'ouvrage

- Charges permanentes

Les chargements sont ramenés à des charges uniformément réparties dont les intensités sont majorées par les combinaisons d'action. Le tablier est soumis à son poids propre, celui du guide roue et des éléments de son revêtement. Les piédroits de la charge du tablier sont soumis à la poussée de terre et à leur poids propre, tandis que le radier combine les efforts liés à son poids propre, à la réaction du sol support, mais aussi des efforts des éléments cités plus haut. Le **Tableau III-9** présente le récapitulatif des charges considérées.

- Charges variables

Les charges variables font appel aux différents types de surcharges routières et de configuration de véhicules dans l'évaluation des efforts repris par notre dalot. Dans le cadre de ce travail, les surcharges du système type A et B seront priorisées. Ils sont destinés pour l'étude de la flexion générale des tabliers et les charges d'exploitation sans caractères particuliers, comme stipulé dans le fascicule 61 titre II.

♣ Paramètres de dimensionnement

Bien évidemment, le calcul des dalots passe par la détermination de caractéristiques intrinsèques à la chaussée et à la classe de pont.

- Largeur roulable et classe de pont : désigne la partie de la route mesurée entre deux bordures ou bordures inférieures des dispositifs de retenue. Elle est calculée indépendamment pour chaque chaussée, lorsque le tablier est séparé physiquement en plusieurs parties par un terre-plein central.

$$L_r = 9{,}5\ m$$

La classe de pont est intrinsèquement liée à cette variable ainsi pour $L_r \geq$ 7,5 m, nous sommes en présence d'un pont de classe I.

- Largeur chargeable : Elle est égale à la largeur roulable diminuée de 50 cm par dispositif de retenue existant. Pour une chaussée encadrée par deux bordures, la largeur roulable est assimilée à la largeur chargeable.

$$L_c = L_r = 9{,}5\ m$$

Le nombre de voies : correspond à la partie entière de la largeur roulable divisée par trois

$$n = {}^{L_c}/_{3}$$

Tableau III-9 : Evaluation des charges permanentes appliquées au dalot

Récapitulatif des charges permanentes appliquées sur le dalot		
a) Tablier		$[kN/m^2]$
Poids propre du tablier	$P_{p_{tablier}} = e_d * \gamma_b * B$	5
Poids du remblai (revêtement + étanchéité)	$P_{r_{BAC}} + P_{r_{BC3}} + P_{p_{étanch}}$	5,25+3,64+0,72
Poids propre des guides roues	$P_{p_{gr}} = \frac{e_{gr} * h_{gr} * l_t * \gamma_b}{l_c + 2 * e_{gr}}$	3,63
	$G_1 = \sum G_i{}_{/tablier}$	18,24
b) Piédroits		
Poussée de terre au niveau du tablier	$P_3 = k_a * \gamma_{sol} * h_{r1}$	3,168
Poussée de terre au niveau du radier	$P_4 = k_a * \gamma_{sol} * h_{r2}$	11,08
c) Radier		
Poids propre des piédroits	$P_{pd} = \frac{(e_{pd} * h_{pd} * B * nbr_{pd} * \gamma_b)}{(nbr_{ouver} * l_{hydr} + nbr_{pd} * e_{pd})}$	3,26
Poids propre du radier	$P_{p_{radier}} = e_d * \gamma_b * B = 5$	5
	$G_2 = G_1 + P_{pd} + P_{p_{radier}}$	26,5

La détermination des surcharges ainsi que les résultats des combinaisons de charges associées à l'état limite de service seront présentés dans le **Tableau III-10**:

Tableau III-10 : Charges variables et combinaison de charge à l'ELS

Récapitulatif des charges variables et combinaisons de charges appliquées au dalot		
a) Système de surcharge routière A		$[kN/m^2]$
Densité de charge effective	$q(L) = sup\{a_1 * A(L); 4 - 0{,}002L\}$ $avec \begin{cases} a_1 : f(classe\ \ pont; nbre\ de\ voies) \\ L : max(L_r; Portée\ travée) \\ A(L) : 2{,}3 + \dfrac{360}{(L+12)} \\ \gamma_Q = 1{,}2 \text{ à } l'ELS \end{cases}$	-
Coefficient a_2	$a_2 = \dfrac{v_0}{v}$	3,16
Q_A	$Q_A[kN/m^2] = \gamma_q * a_2 * q(L)$	18,24
b) Système de surcharge routière B		
Surcharge système B	$Q = \gamma_Q * \delta * b * B$ $avec \begin{cases} \delta = \max(\delta_{b_c}; \delta_{b_t}) \\ b = coefficient\ de\ pondération \\ \gamma_Q = 1{,}2 \text{ à } l'ELS \\ B = charge\ du\ système \end{cases}$	-
Coefficient de majoration dynamique	$\delta = 1 + \dfrac{0{,}4}{1+0{,}2L} + \dfrac{0{,}6}{1+4*\frac{G}{S}}$ $avec \begin{cases} G = Poids\ total\ d'une\ section\ de\ longeur\ L \\ S = Poids\ total\ des\ essieux\ du\ système\ considéré \end{cases}$	1,46
Coefficient de pondération	$b_c = (classe\ pont, nbre\ voies\ chargées)$ $b_t = (classe\ pont)$	0,95 1
Q_B = Q_{Bt}	$Q_{B_t} = \gamma_Q * \delta_{b_c} * b_t * B_t$	125,12
Surcharge Q	$Q = \max(Q_A; Q_B)$	125,12
Combinaison des surcharges à l'ELS		
Charge sur le tablier	$P'_{1_{tablier}} = G_1 + Q$	143,36
Charge sur le radier	$P'_{2_{radier}} = G_2 + Q$	169.86
Charge sur le haut du piédroit	$P'_{3_{tablier}} = P_3 + \gamma_q * k_a * q$	7,13
Charge sur le bas du piédroit	$P'_{4_{radier}} = P_4 + \gamma_q * k_a * q$	15,04

Dans le cadre de ce projet, les moments seront déterminés à l'aide de Pybar **Figure III-3**. L'hypothèse retenue est que nous avions :

- ♣ des appuis élastiques au niveau des piédroits de rive et intermédiaires du radier ;
- ♣ les autres appuis seront considérés comme des encastrements ;

Ceci permettra de garantir la rigidité du dalot tout en considérant l'interface radier-sol comme n'étant pas parfaitement encastrée.

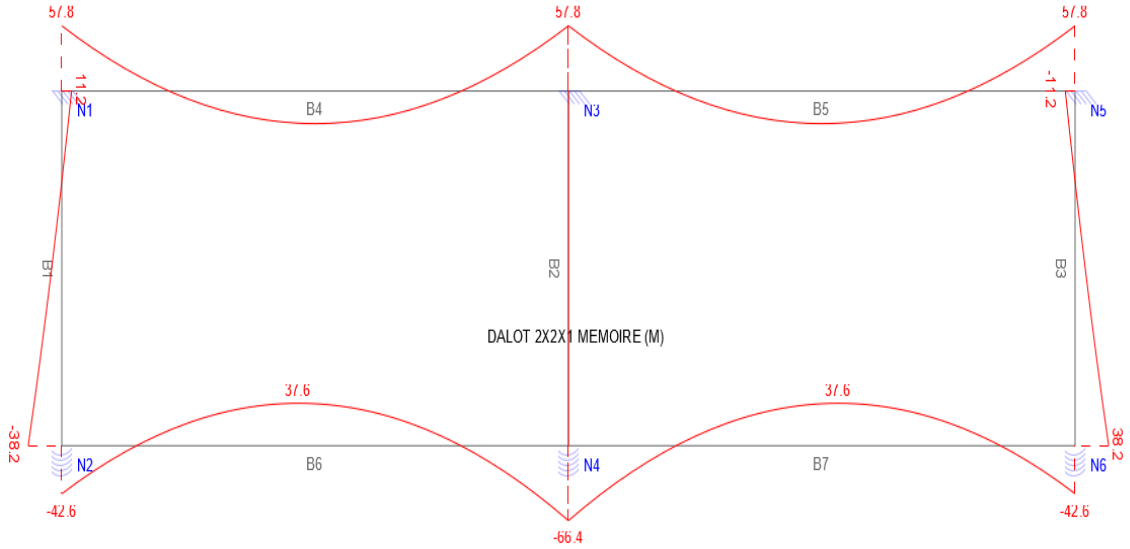


Figure III-3 : Valeurs des moments obtenus à l'aide de Pybar

Les détails quant au dimensionnement structurel du dalot sont présentés en **annexe I.5 page XXXVII.** Pour les différentes valeurs de charges calculées, les quantités d'acier obtenues pour notre dalot (2x2x1) sont résumées dans le **Tableau III-11**:

Tableau III-11 : Récapitulatif des sections d'acier par nappe définitives du dalot

Récapitulatif des aciers retenus pour dalot								
	Tablier			Piédroits de rive	Piédroit central	Radier		
	Appui central	Appui rive	Travée	Travée	Travée	Appui central	Appui rive	Travée
Aciers principaux	7HA14	7HA14	7HA10	5HA10	5HA12	8HA16	6HA14	6HA14
Espacement	16 cm	16 cm	16 cm	20 cm	20 cm	16 cm	16 cm	16 cm
Acier répartition	7HA10	7HA10	4HA8	5HA8	5HA10	8HA12	6HA12	6HA12
Espacement	16 cm	16 cm	25 cm	20 cm	20 cm	16 cm	16 cm	16 cm

Nous pouvons apercevoir à travers la **Figure III-4** un aperçu du plan de ferraillage de notre dalot. Les détails des plans d'exécution sont regroupés **en annexe IV**.

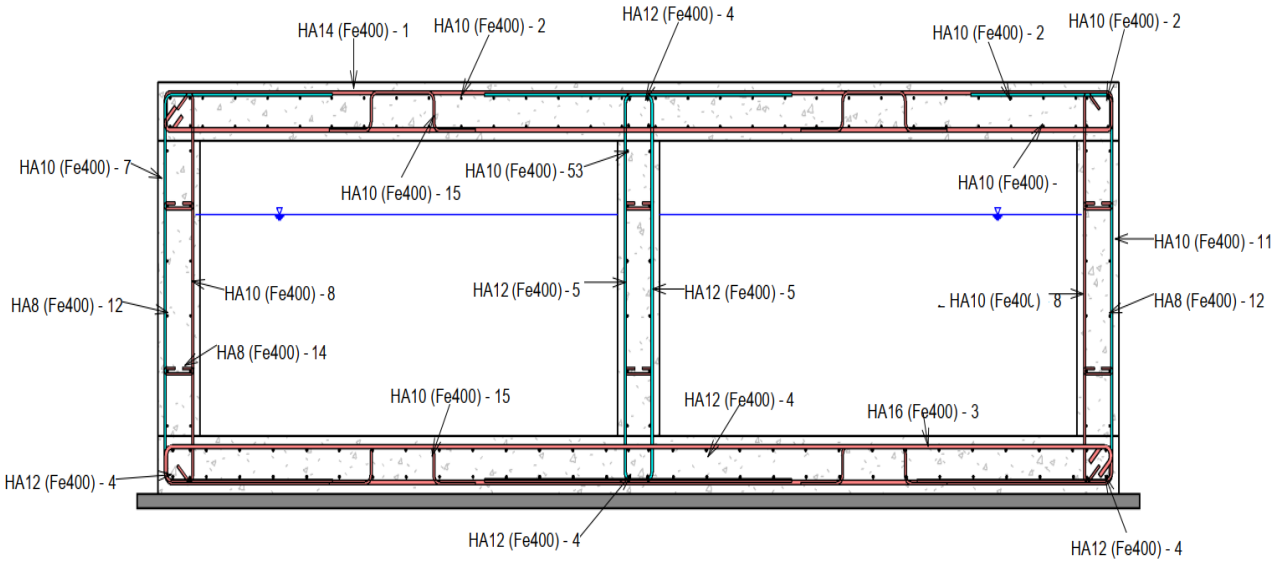


Figure III-4 : Plan de ferraillage du dalot

Conclusion

A la fin de ce chapitre, nous avons déterminé trois bassins versant qui intercepte la voie dimensionnée. Pour évacuer ces eaux de surfaces et rétablir les écoulements naturels, deux catégories d'ouvrages sont prévues. Un caniveau de section hydraulique (80 x 80 cm) pour collecter les eaux des bassins versants 2 et 3 et les acheminer vers un dalot (2 x 2 x 1 m) qui devrait évacuer l'ensemble des débits. Le calcul structural des différents ouvrages d'assainissement a été fait en considérant nos ouvrages longuement exposés à l'eau, les fissurations ne seront pas tolérées.

Nous avons ainsi obtenu des HA 10 comme aciers principaux pour la dallette et les piédroits du caniveau. Pour le radier nous avons obtenus des HA 12. Les aciers de répartition sont essentiellement constitués de HA 8.

En ce qui concerne le dalot, il est armé principalement par de HA 14 au niveau des appuis du tablier, quant aux travées ce sera des HA 10. Les travées des piédroits de rives et intermédiaires seront respectivement armées par des HA 10 et HA 12. Le radier comportera des HA16 à l'appui central et des HA 14 à l'appui de rive et au niveau des travées. Les aciers de répartition seront principalement composés de HA 10 pour le tadier et les piédroits et de HA 12 pour le radier

CHAPITRE IV : NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL ET EVALUATION DU COÛT GLOBAL DU PROJET

Introduction

Ce chapitre nous permettra d'évaluer les impacts de ce projet sur l'environnement et les populations, mais aussi de prévoir des mesures pour la bonne marche du dit projet.

Nous terminerons par une évaluation globale du coût de réalisation.

IV.1. Notice d'impact environnemental

Depuis les années 1970, les préoccupations environnementales sont progressivement devenues un critère décisionnel indéniable dans la réalisation de projets s'inscrivant dans une dynamique de développement durable. La Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement (CMED), promotrice de ce concept, voyait du développement durable beaucoup plus qu'un outil qui permettrait de justifier les investissements et des comportements. Elle exigeait la satisfaction des besoins essentiels pour tous, la gestion rationnelle et durable des ressources naturelles, le maintien et la sauvegarde des écosystèmes et des processus qui régissent la vie, la coopération des peuples et la solidarité entre les générations actuelles et futures. L'évaluation environnementale est devenue essentielle au fur des années, régie par des codes et des lois environnementales dans la majeure partie des pays.

Dans le cadre de notre mémoire, nous proposerons dans un premier temps une définition des différents concepts liés aux études environnementales. Par la suite nous identifierons, évaluerons les impacts biophysiques et humains de notre projet et leurs criticités. Nous terminerons avec une proposition de mesures réductrices afin de compenser les impacts négatifs découlant du projet.

IV.1.1. Définition des concepts

- Développement durable : Le développement durable se définit comme étant un modèle de développement axé sur l'efficacité économique, la viabilité environnementale et l'équité sociale, susceptible de répondre aux besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs [29].

- Evaluation environnementale (EE) : Il s'agit d'un processus systématique qui consiste à évaluer et à documenter les possibilités, les capacités et les fonctions des ressources, des systèmes naturels et des systèmes humains afin de faciliter la planification d'un système d'un développement durable et la prise de décision en général. Elle vise entre autres à prévoir et à gérer les effets positifs et négatifs des propositions d'aménagement et se compose d'un ensemble de processus qui visent la prise en compte de l'environnement dans la planification ou le développement d'opérations de projets, de programmes, de plans ou de politiques.
- Evaluation d'impact environnemental et social (EIES) : Encore appelée étude d'impact environnemental et social c'est une procédure approfondie d'examen des conséquences anticipées, tant bénéfiques que néfastes, d'un projet sur l'environnement et sur le plan social. Le but est de s'assurer que ces conséquences sont dûment prises en compte dans la conception dudit projet. Elle inclut toute gamme d'évaluation spécialisée intégrant à la fois les questions de santé, sociale, économique… conduite dans le cadre du projet.
- La notice d'impact environnementale et sociale (NIES) : C'est une version simplifiée de l'étude d'impact environnementale et sociale, elle permet de recenser les principaux impacts d'un projet et de proposer des mesures d'atténuation. Ici, le document ne fournit pas de détails.

IV.1.2. Cadres légaux

Au Burkina Faso, différents lois et décrets définissent les stratégies et les dispositions à mettre en œuvre pour la prise en compte des aspects sociaux et environnementaux dans les projets. En outre, l'adoption d'une EIES est souvent dépendante des institutions d'aide au développement et de la banque mondiale, en particulier dans les pays d'Afrique à capital faible. Elle qui dispose d'un ensemble de normes et procédures et objectifs regroupés dans le Cadre Environnemental et Social (CES) qui encadrent les textes gouvernementaux et aident à la prise de décision.

Au niveau national, le décret ministériel n° 2015-1187/ PRES-TRANS/ PM/ MERH/ MATD/ MME/ MS/ MARHASA/MRA/ MICA/ MHU/ MIDT MCT du 22 octobre 2015 permet de classer les projets et les actions à environnementales à mener en trois catégories :

- Catégorie A : activités soumises à une étude d'impact environnemental et social ;

- ♣ Catégorie B : activités soumises à une notice d'impact environnemental et social ;
- ♣ Catégorie C : activités faisant l'objet de prescriptions environnementales et sociales.

Ce décret classe les travaux de bitumage des routes et d'aménagement des zones industrielles dans la première catégorie, cependant, nous nous limiterons à la notice d'impact environnemental comme indiqué plus haut.

a) Cadre juridique

Le fondement juridique présente en grande partie les lois et textes nationaux et internationaux régissant les évaluations environnementales ; elles peuvent être généralisées pour tous les projets ou s'appliquer à des domaines spécifiques. Sur le plan national, nous pouvons noter :

- ♣ la loi n° 006-2013/AN du 02 avril 2013 portant sur le code de l'environnement ;
- ♣ la loi n° 006/97/ADP du 31 janvier 1997 portant sur le code forestier ;
- ♣ la loi n° 002-2001/AN du 18 janvier 2001 portant sur la gestion de l'eau ;
- ♣ la loi n° 09-2018/AN portant expropriation pour cause d'utilité publique et indemnisation des personnes affectées par les aménagements et projets d'utilité publique et d'intérêt général ;
- ♣ la loi n° 023/94/ADP du 19 mai 1994 portant sur le code santé publique ;
- ♣ la loi n° 017-2006/AN du 18 mai 2006 portant sur le code de l'urbanisme et de la construction.

b) Cadre politique et institutionnel

Le projet suivant s'aligne avec le Plan d'Action pour la Stabilisation et le développement (PA-SD) au Burkina Faso. Institutionnellement de nombreux organismes sont implantés pour la réalisation et le suivi environnemental. Ces institutions peuvent sont indépendantes, mais travaillent main dans la main pour réaliser les objectifs environnementaux ; ces principaux avec de mise en œuvre du projet sont :

- ♣ la Direction Générale des Eaux et Forêts (DGEF) ;
- ♣ la Direction Générale de l'Amélioration du Cadre de Vie (DGACV) ;
- ♣ la Direction Générale de l'Environnement (DGE) ;

- le Secrétariat Permanent du Conseil national pour le développement durable (SP/CONEDD) ;
- le Ministère des Infrastructures, du Désenclavement et du Transport (MID) ;
- le Ministère de l'Industrie du Commerce et de l'Artisanat (DGDI).

IV.1.3. Identification des impacts sur l'environnement

L'identification des impacts découlant du projet se fera à l'aide de la matrice de Léopold qui permet de mettre en relation les sources d'impacts identifiés pendant les différentes phases du projet avec les composants environnementaux. Chacune des interactions entre une action du projet et un élément de l'environnement fait l'objet d'une évaluation afin de déterminer l'effet engendré, ils seront de trois natures : positive, négative ou neutre. La matrice de Léopold figure en **Annexe II** (**Illustration 33**).

IV.1.4. Evaluation des impacts sur l'environnement

Trois critères permettent essentiellement d'évaluer la gravité des impacts, il s'agit de son intensité, de sa portée et de sa durée. La matrice de Fecteau nous permettra dans le cadre de ce projet de caractériser les impacts et d'évaluer leur importance.

Le tableau nous donne un aperçu des impacts majeurs identifiés dans le cadre de ce projet. Pour une vision globale de cette évaluation nous pouvons nous référer à l'**Illustration 34 page LVI** est présentée en **Annexe II.**

Tableau IV-1 : Listes des impacts majeurs identifiés

Milieu récepteur	Type d'impact	Importance absolue
Qualité des ressources	Pollution de l'air	Majeure
Transport	Sécurité routière	
	Fluidification de la circulation	
Santé	Réduction de la poussière	
Démographie	Valorisation de la zone	
	Création de revenus	

IV.1.5. Hiérarchisation des risques et mesures préventives sur la santé et la sécurité sur site

De la première partie, nous distinguons deux types d'impacts : positifs et négatifs.

Les impacts positifs sont encouragés et prennent notamment en compte les points énumérés dans le volet transport. Ils permettront d'accroitre l'économie et faciliteront l'amélioration aux services sociaux de base, tels que l'éducation ou encore la santé. Les impacts négatifs, quant à eux, sont observés à différents niveaux et peuvent demander un regard vigilant. Cette partie permettra de hiérarchiser les impacts négatifs en fonction de leur criticité qui traduit à la fois leur fréquence, leur gravité et leur probabilité d'occurrence.

Ainsi, nous pouvons proposer des mesures préventives qui pourront être mises en place afin de prévenir certains accidents susceptibles d'affecter les travailleurs, les populations riveraines, les passants et de faciliter le bon déroulement du projet. Nous pouvons apercevoir dans le tableau les activités pouvant susciter une attention particulière et quelques mesures préventives afin d'éviter les impacts. L'analyse complète est présentée en **Illustration 35 page LVIII (Annexe II)**

Tableau IV-2 : Risques majeurs identifiés et mesures préventives

Activités	Personnes exposées	Risques identifiés	Mesures préventives
Recrutement	Riverains, manœuvres…	Propagation des maladies (IST, VIH…), bagarre, mort	Campagnes de sensibilisation, de dépistage et distribution de préservatifs, sécurisation de la zone lors des recrutements…
Réalisation des travaux	Manœuvres, employés de la zone, passants, riverains…	Blessures, incendies, brûlures, maladies, noyade, mort	Recrutement de personnes formées et qualifiées, utilisation des équipements de protection, balisage de la zone, présence des équipes de secours…
Transport	Employés de la zone, passants, riverains…	Accidents, blessures, mort	Sensibiliser sur la conduite responsable, équiper les routes de feux tricolores de ralentisseurs et de panneaux de signalisation…

IV.1.6. Mesure d'atténuation et de bonification des risques

Après avoir proposé les mesures de sécurité et d'hygiène à respecter sur la zone de projet, il sera nécessaire d'avoir un contrôle de sorte à minimiser les effets de négatifs sur

le milieu biologique, physique et socio-économique. Le tableau présente un aperçu des risques environnementaux encourus et des mesures prises pour les atténuer. La synthèse PGES figure en **Illustration 36 page LIX (annexe II)**.

Tableau IV-3 : Risques majeurs identifiés pour l'environnement et mesures d'atténuation et de bonification proposées

Disposition à prendre	Mesures d'atténuation et de bonification
Pour une bonne qualité de l'air	▪ Arrosage régulier de la plateforme ▪ Entretien régulier des engins
Pour réduire la nuisance sonore	▪ Fixer les heures de travaux en tenant comptes des habitudes citoyennes
Protéger la faune et la flore	▪ Bonifier par plantation d'arbres pour chaque plan cassé ▪ Créer des parcs aux alentours pour permettre la migration et la reproduction des espèces menacées
Pour dédommager les personnes	▪ Dédommager les personnes dont les secteurs d'activités sont menacés ▪ Indemniser les personnes ayant perdu des biens parcellaires
Pour garantir la sécurité et la santé	▪ Sensibiliser contre les IST /VIH ▪ Distribution des préservatifs pour éviter les grossesses non désirées
Pour la création d'emploi	▪ Recrutement du personnel local ▪ Intégration des femmes dans les postes à responsabilité

IV.2. Estimation du coût global du projet

L'estimation du coût représente une étape essentielle lors de l'étude de faisabilité ; elle permet à la fois au maitre d'ouvrage et à l'entrepreneur d'estimer les ressources financières requises pour la réalisation de telle ou telle variable, mais aussi de s'adapter aux conditions actuelles des marchés ; en effet cette étape permet à l'entreprise d'évaluer une fourchette de prix qui leur permettrait de réaliser le projet plutôt que d'un prix fixe. Pour le maitre d'ouvrage, ce critère peut s'avérer décisif dans l'analyse des dossiers et l'attribution du marché.

L'estimation du coût d'un projet peut aussi varier d'une période à une autre en raison de certains paramètres difficilement contrôlables (fluctuation des prix des matériaux, taux de change, taxes ou encore le coût de transport…). Pour le présent projet, nous proposons le devis estimatif de ce projet en nous basant sur le mercurial 2025 des prix de Ouagadougou. Le **Tableau IV-4** présente l'aperçu global des grands points qui constituent notre projet :

Tableau IV-4 : Devis estimatif du projet

N°	Désignation	Montant (Francs CFA)	Pourcentage (%)
000	**Installation générale du chantier**	130 000 000	2,36
100	**Travaux préparatoires**	21 602 800	0,39
200	**Travaux de terrassement**	298 817 200	5,42
300	**Chaussée et revêtement**	4 309 761 811	78,05
400	**Assainissement routier**	698 407 800	12,64
600	**Mesures environnementales et sociales**	62 790 000	1,14
Montant évalué du projet (Hors taxes – Hors frais de douane)		**5 521 379 611**	**100**

Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons ainsi pu identifier les impacts et proposer des mesures d'atténuation. Nous avons aussi pu estimer le coût de faisabilité du présent projet.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Conclusion générale

Le présent mémoire avait pour objectifs de concevoir et de réaliser l'étude technique de la voie principale n°4 qui sert de passerelle entre la RN3 et l'entreprise CIMAF au sein de la zone industrielle de Kossodo. Ce programme s'inscrit dans le cadre du PA-SD (Plan d'Action pour la Stabilisation et le Développement) initié par l'état burkinabè afin de dynamiser l'économie du pays en éliminant les principaux obstacles liés à l'assainissement et à la mobilité des biens, des marchandises et des personnes dans ces zones à forte rentabilité économique.

Différents aspects ont été analysés et pensés conjointement afin de garantir les conditions de confort, de durabilité et de sécurité à cette voie, il ressort ainsi :

- sur l'aspect de la conception géométrique, une vitesse de référence de 60 km/h associée principalement au relief de la zone et aux contraintes du trafic a été retenue. Cette donnée a guidé le choix des paramètres géométriques. Conformément au TDR et au guide de conception ICTAVRU, la route étudiée comportera deux chaussées unidirectionnelles de 7m de large chacune, séparées par un terre-plein central (TPC) de 2 m. Des pistes cyclables de 2,5 m seront réalisées de chaque côté de la route afin de permettre aux engins à deux roues de circuler, les bermes, quant à elles, serviront d'attente pour les dispositifs de sécurité, les candélabres ou mats…
- sur le plan trafic, l'étude a révélé une intensité de véhicules poids lourds élevée estimée à (+8,5 M) essieux équivalents pour la chaussée rigide et (+4,3 M) essieux équivalents pour la chaussée souple. Ces données ont permis de classer ce trafic dans la catégorie des trafics forts (T4) selon le CEBTP. Pour rappel, deux variantes de structure de chaussée représentant les grandes familles ont été sujettes à une étude comparative afin de garantir les meilleures performances dans le cadre de ce projet. Bien que la variante rigide retenue soit économiquement moins avantageuse, elle peut représenter un choix stratégique judicieux au fil des années. Après calcul des épaisseurs des différentes couches à travers le guide du CERTU et le logiciel ALIZE, nous avons retenu une couche de revêtement en béton de ciment (BC5) 21 cm armé par des armatures longitudinales HA 20, une couche d'assise en béton maigre (BC3) de 14 cm, le tout reposant sur une PF3.

- ♣ sur le plan hydrologique et hydraulique : Le réseau hydrographique de la zone généré à l'aide du logiciel ArcGis nous a permis d'identifier trois bassins versants. Après les analyses pluviométriques et celles des états de surface de la zone, les débits ont été calculés sur la base d'une période de retour de 10 ans. Un caniveau section hydraulique (80 x 80 cm) est prévu pour évacuer les eaux de surface et un dalot (2 x 2 x 1) pour rétablir les écoulements naturels.
- ♣ sur le plan structural, des aciers principaux de HA 10 seront prévus pour la dallette et les piédroits du caniveau et des HA12 pour le radier. Pour le dalot, des HA 14 seront à prévoir pour les appuis du radier et du tablier et des HA 10 en travée pour les éléments du piédroit. Le dimensionnement des différents éléments est fait à l'Etat Limite de Service (ELS) car les différents éléments qui composent les ouvrages d'assainissement sont prévu pour être en contact prolongé à l'eau.
- ♣ sur le plan environnemental et social : différents risques ont été identifiés et des mesures préventives et compensatrices suggérées afin de mieux les contrôler. Quant aux études financières, elles ont permis d'estimer le coût prévisionnel total pour la faisabilité du projet à cinq milliards cinq cent vingt et un millions trois cent soixante-dix-neuf mille six cent onze (5 521 379 611) Francs FCFA HT

En définitive, ce travail a permis de montrer la viabilité technique de la solution associant BAC et béton maigre, parfaitement adaptée aux sollicitations qu'engendreraient les véhicules lourds dans la zone industrielle de Kossodo.

Recommandations

Afin de garantir la pérennité de la voie et les conditions de sécurité à ses usagers, plusieurs recommandations peuvent être formulées tant sur le plan environnemental que sur le plan technique.

- ♣ approfondir les études techniques en réalisant le plan de signalisation et d'éclairage public ;
- ♣ mettre en place un plan de suivi et veiller à ce que la chaussée soit entretenue ;
- ♣ renforcer les dispositions de contrôle et de qualité lors du choix des matériaux ;
- ♣ sensibiliser les usagers au respect des limitations de vitesse et des règles de circulation ;
- ♣ veiller au suivi du plan de gestion environnemental et social.

BIBLIOGRAPHIE

1. Hélène, Z.B. and A. Soumaïla, *Monograpghie de la ville de Ouagadougou*, in *5ème Recensement Général de la Population et de L'Habitat du Burkina Faso (RGPH-2022)*. 2022, INSD. p. 136.

2. Sanou, B., et al., *Profil ubrbain de Ouagadougou*. Profil National du Burkina Faso, 2005. **ONU Habitat**: p. 37.

3. Rousic, S., C. Clement, and J. Legaignoux, *Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines*. Reférences. Vol. 2. 2009, 9, rue Juliette Récamier, Lyon, FRANCE: CERTU. 240.

4. Ancelet, O., *Catalogue des types de route pour l'amenagement du reseau national*. Les réferences ed, ed. Cerema. 2018, FRANCE: Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement. 62.

5. Azemard, P., et al., *Guide des terrassements des remblais et des couches de forme*. 2024, Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA): Paris. p. 120.

6. Bagarre, E., *Guide pratique de dimensionnement des chaussees pour les pays tropicaux*. 1984 ed, ed. CEBTP. 1984, Paris, France: Centre Experimental de Recherches et d'Etudes du Batiment et des Travaux Publics.

7. Das, B.M. and K. Sobhan, *Principles of Geotechnical Engineering, 9 Edition*. 2016, Channel Center Street, Boston,USA: Cengage Learning. 819.

8. Abdo, J., et al., *Voiries et aménagements urbains en béton (Tome 1) : Conception et dimensionnement / Centre d'information sur le ciment et ses applications*. Collection technique CIMbéton, ed. CIMbéton. Vol. Tome 1. 2009, FRANCE: Cimbeton. 125.

9. Afnor, *NF P98-082 Chaussées–Terrassements–Dimensionnement des chaussées routières–Détermination des trafics routiers pour le dimensionnement des structures de chaussée*. Documents Normatifs. 1994, 11 rue Francis de Pressensé, 93210 Saint-Denis: Association Francaise de Normalisation. 17.

10. AIPCR and AGEPAR, *Revue du guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux*. 2019. 40.

11. Corté, J.F. and Y. Guidoux, *Catalogue des structures types de chaussée neuves*, ed. d.T.e.d.L. Ministère de l'Equipement. 1998, Paris France: Journaux Officiels. 155.

12. Afnor, *NF P98-086 Dimensionnement structurel des chaussées routières - Application aux chaussées neuves*. Documents Normatifs. 2019, 11 rue Francis de Pressensé, 93210 Saint-Denis: Association Francaise de Normalisation. 107.

13. BOURDON, C., et al., *Catalogue de structures de chaussée neuves et Guide de dimensionnement des chaussées au Sénégal*, ed. Ageroute, et al. 2015, Dakar, SENEGAL: Ministèredes Infrastructures des Transports Terrestres et du Désenclavement. 214.

14. BALAY, J.M., et al., *Dimensionnement des strutures de chaussée urbaines*. CERTU. Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques (Administration). ed. Reférences. 2000, 9, rue Juliette Récamier, Lyon, FRANCE: CERTU. 61.

15. Abdo, J., et al., *Voiries et aménagements urbains en béton (Tome 2) : Mise en Oeuvre*. Collection technique CIMbéton, ed. CIMbéton. Vol. Tome 2. 2009, FRANCE: Cimbeton. 102.

16. Afnor, *NF P 98-170 Chaussées en béton de ciment - Exécution et contrôle*. Documents Normatifs. 2006, 11 rue Francis de Pressensé, 93210 Saint-Denis: Association Francaise de Normalisation. 39.

17. Abdo, J., *Routes-Ciments-Liants hydrauliques routiers-betons*, in *Révue trimestrielle Cimbéton n° 101*. 2007, Cimbéton: 7 Place de la defense, Paris, FRANCE. p. 20.

18. Afnor, *NF P 18 545 Granulats: element de définition, conformité, codification*. Documents Normatifs. 2021, 11 rue Francis de Pressensé, 93210 Saint-Denis: Association Francaise de Normalisation. 70.

19. Triboulet, J., et al., *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*. FAO ed. 1996, Viale delle teme: FAO. 245.

20. Nguyen, T.V., B. Lemoine, and J. Pouplard, *Hydraulique routière*. 1981, Paris, FRANCE: Ministère de la coopération et du développement. 342.

21. Neji, J., *Le projet routier*. Vol. 1. 2005, Tunis, TUNISIE: Centre de publication universitaire (CPU). 203.

22. Idi, S., *Rapport final de l'etude de modélisation Hydrologique et Hydraulique pour la comprehension de la submersion par les eaux de ruissellement du pont de Heredougou* CIN'S, Editor. 2024, Cabinet d'Ingéniérie des Structures Ouagadougou, BURKINA FASO. p. 79.

23. Cavaillès, M.-O., et al., *Guide technique drainge routier*, ed. SETRA. 2006, Lille, FRANCE: SETRA. 92.

24. Afnor, *NF EN 1992 1-1 Calcul des structures en béton*. Document normatif. 2005, 11 rue Francis de Pressensé, 93210 Saint-Denis: Association Francaise de Normalisation. 210.

25. Muzeau, J.-P., B. Mahut, and A. Boileau, *DTU P 18 702 Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et construction en béton armé suivant la methode des etats limites*. 3 édition ed, ed. Eyrolles. 2000, Marne la Vallée, Paris, FRANCE: Centre scientifique et technique du batiment (CSTB). 220.

26. Cerema, *Fascicule 61 Conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art Titre II: Programmes de charges et épreuves des ponts routes*, ed. M.d.l.E.e.d. Logement. 1971, Paris, France: Jounaux Officiels

27. Afnor, *NF EN 206-1 Béton*. Document normatif. 2004, 11 rue Francis de Pressensé, 93210 Saint-Denis: Association Francaise de Normalisation.

28. Gerard, B. and I. Petre-Lazar, *LEO 1.0. An assistant software for maintenance of corroded reinforced concrete structures; LEO 1.0. Logiciel d'aide à l'expertise des ouvrages en beton arme corrodes.* 1998.

29. André, P., et al., *L'évaluation des impacts sur l'environnement : Processus, acteurs et pratique pour un développement durable*. Vol. 4. 2020, Quebec, Canada: Presses Internationales Polytechique.

30. Desjardins, C. and J. Abdo, *Escalles: le BAC débarque dans le Pas-de-calais.* Route Info, 2020. **5**: p. 10.

31. Richard, R. and T. Bent, *Road engineering for development*. Taylor and Francis e-Library ed. Vol. 2. 2018, 11 New Fetter Lane, London, UK: Spon Press. 539.

ANNEXES :

ANNEXE I : ETUDES TECHNIQUES IV

I.1. ETUDE DE TRAFIC IV

I.2. VERIFICATION DE LA STRUCTURE DE CHAUSSEE VII

I.3. FORMULATION DU BETON ARME CONTINU XVI

I.4. ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE XVII

I.5. ETUDE STRUCTURALE XXVIII

ANNEXE II : IMPACT ENVIRONNEMENTAL LV

ANNEXE III : ESTIMATION FINANCIERE DETAILLEE DU PROJET LX

ANNEXE IV : PLANS D'EXECUTION LXIII

LISTES DES ILLUSTRATIONS

Illustration 1 : Valeurs des coefficients K et α (NF P 98 082) IV
Illustration 2 : Calcul du coefficient d'agressivité moyen CAM pour les chaussées souples en référence à la norme NF P 98 082 V
Illustration 3 : Calcul du coefficient d'agressivité moyen CAM pour les chaussées rigides en référence à la norme NF P 98 082 VI
Illustration 4 : Valeurs des épaisseurs des couches de matériaux obtenues à travers l'annexe 5 du guide de dimensionnement du CERTU.....VII
Illustration 5 : Confirmation des valeurs des différentes couches obtenue avec le logiciel Struct Urb VIII
Illustration 6 : Valeurs des couches obtenues avec le CEBTP IX
Illustration 7 : Confirmation des valeurs des différentes couches obtenues avec le logiciel Struct Urb X
Illustration 8 : Valeur de ft moyen et σ_6 (NF P 98 086)..... XI
Illustration 9 : Valeurs de Ks en fonction du module (NF P 98 086).....XII
Illustration 10 : Valeurs de Kd pour le dimensionnement des chaussées rigides (NF P 98 086).....XII
Illustration 11 : Valeurs de Sh (NF P 98 086) XIII
Illustration 12 : Vérification de la structure de chaussée rigide avec Alize LCPC XIV
Illustration 13 : Vérification de la structure de chaussée souple avec Alize LCPC XIV
Illustration 14 : Classification des bétons routiers XV
Illustration 15 : Valeurs du coefficient ruissellement.....XVII
Illustration 16 : Résultat de l'ajustement fréquentiel de la pluviométrie XVIII
Illustration 17 : Coefficient pour la détermination du Kr (Source : FA054)..... XIX
Illustration 18 : Ajustement de la pluviométrie maximale journalière.....XXII
Illustration 19 : Ajustement de la pluviométrie annuelle moyenne.....XXII
Illustration 20 : Calcul de débit pour le bassin versant n°1.....XXIII
Illustration 21 : Calcul de débit pour le bassin versant n°2 XXIV
Illustration 22 : Calcul des débits pour le bassin versant n°3.....XXV
Illustration 23 : Abaque pour la détermination de la profondeur réduite H1* XXVI
Illustration 24 : Abaque pour la détermination de la pente critique réduite Ic* XXVII
Illustration 25 : Abaque pour la détermination de la vitesse réduite V* XXVII

Illustration 26 : Classes d'exposition en fonction des conditions d'environnement conformément à l'EN 206-1 XXVIII
Illustration 27 : Caractéristiques du Sous-système Bc XLII
Illustration 28 : Caractéristiques du Sous-système B_t XLIII
Illustration 29 : Valeurs de la combinaison de charge XLIV
Illustration 30 : Détermination des sections d'aciers du tablier et du radier XLIV
Illustration 31 : Détermination des sections d'aciers du piédroit intermédiaire XLVI
Illustration 32 : Détermination des sections d'aciers des piédroits de rive XLVII
Illustration 33 : Identification des impacts à travers la matrice de Léopold LV
Illustration 34 : Evaluation des impacts à travers la matrice de Fecteau LVI
Illustration 35 : Synthèse du plan de gestion de risques (PGR) LVIII
Illustration 36 : Synthèse du plan de Gestion environnemental et social (PGES) : LIX
Illustration 37 : Devis estimatif du coût global de réalisation de la VP4 LX

ANNEXE I : ETUDES TECHNIQUES

I.1. ETUDE DE TRAFIC

Cette partie contient le supplément d'informations par rapport au calcul du coefficient d'agressivité moyen effectué dans le cadre de ce projet.

1. Coefficient d'agressivité moyen du trafic

Le coefficient d'agressivité moyen se calcule en passant par plusieurs étapes :

- ♣ Une campagne de pesage afin de réaliser un histogramme des charges des différents essieux : Il sera ainsi possible de déterminer les essieux élémentaires des différents véhicules poids lourds et leurs réelles charges.
- ♣ L'agressivité du centre de chaque classe de poids d'essieu donné par la formule :

$$A : K\left(\frac{P_c}{P_o}\right)^{\alpha}$$

K : dépends de la géométrie des essieux et de la structure de la chaussée ;

α : dépend de la nature des matériaux de chaussée

Illustration 1 : Valeurs des coefficients K et α (NF P 98 082)

	Valeurs de α	Valeurs de K		
		Essieu simple	Essieu tandem	Essieu tridem
Structures souples				
• Neuves	5	1	0,75	1,1
• Renforcements	5	1	12	1
Structures semi-rigides				
• Neuves	12	1	12	113
• Renforcements	12	1	1	1
Structures rigides				
• Béton	12	1	12	113
• Béton arme continu	12	1	1,3	6,5
Note 1 : Pour les structures mixtes, on considère séparément les deux couches et on utilise respectivement les valeurs des structures semi-rigides et souples. Note 2 : les valeurs indiquées résultent de la synthèse des essais de fatigue sur les matériaux, des résultats des sections d'essais instrumentées et des calculs mécaniques de chaussées. Note 3 : les valeurs de K et α pour le béton et le béton armé continu sont provisoires				

- ♣ L'agressivité de l'essieu correspond à l'agressivité d'une classe donnée multipliée par le nombre d'essieux élémentaire de la classe correspondante.

$$A_i = A * n_i \ \ avec\ n_i : \text{nombre d'essieux}$$

- ♣ L'agressivité moyenne des poids lourds

$$CAM = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{N_{PL}}$$

Illustration 2 : Calcul du coefficient d'agressivité moyen CAM pour les chaussées souples en référence à la norme NF P 98 082

		Centre de classe	Essieux élémentaires : simples			Essieux élémentaires : Tandem			Essieux élémentaires : Tridem			∑(Ai*ni)	CAM
Modèles de véhicules	Classes de charges des essieux (kN)	Pc	Agressivité centre de classe A	Nombre d'essieux n_1	Produit A*n1	A	n_2	A*n_2	A	n_3	A*n_3		
Petits modèles pour transport de marchandises	[60-70]	65	0,031	94	1,469								
Camions-bennes (HOWO, Citrak, NECO)	[110-120]	115	0,542	104	56,339	0,406	52	21,126					
Gros camions DAF (transport-ciment), toupilles…	[150-160]	155	2,410	10	24,096	1,807	10	18,07	2,650	10	26,505	147,60	1,494

Illustration 3 : Calcul du coefficient d'agressivité moyen CAM pour les chaussées rigides en référence à la norme NF P 98 082

		Centre de classe	Essieux élémentaires : simples			Essieux élémentaires : Tandem			Essieux élémentaires : Tridem			∑(Ai*ni)	CAM
Modèles de véhicules	Classes de charges des essieux (kN)	Pc	Agressivité centre de classe A	Nombre d'essieux n_1	Produit A*n1	A	n_2	A*n_2	A	n_3	A*n_3		
Petits modèles pour transport de marchandises	[60-70]	65	0,031	94	2,938								
Camions-bennes (HOWO, Citrak, NECO)	[110-120]	115	0,542	104	56.339	0,704	52	36,62					
Gros camions DAF (transport-ciment), toupilles…	[150-160]	155	2,410	10	24,096	3,132	10	31,324	15,662	10	156,622	307,939	3,116

Commentaires : A l'issue de la campagne de comptages, nous avions recensé un fort trafic poids lourds de 99 véhicules dans le sens le plus contraignant. Ces modèles de véhicules à essieux simples, tandems et tridems servant notamment à effectuer des acheminements de marchandises avec le reste du pays. Ne disposant pas des valeurs de campagne de pesage, nous avons considéré les charges retrouvées sur les fiches techniques des véhicules. Ces valeurs de CAM ne concernent que les poids lourds, les autres véhicules ayant des charges généralement sont négligés.

Il faudra aussi noter que la présente norme attribue des valeurs forfaitaires dans le cas où les campagnes de pesage ne sont pas effectuées (1,3 pour les chaussées rigides et 0,8 pour les chaussées souples). Ces valeurs n'ont quand même pas été retenues, car supposées assez faibles.

I.2. VERIFICATION DE LA STRUCTURE DE CHAUSSEE

Cette partie contient les détails du dimensionnement des structures de chaussées réalisé par la méthode empirique et vérifié avec la méthode rationnelle.

1. Valeurs initiales de la structure de chaussée rigide

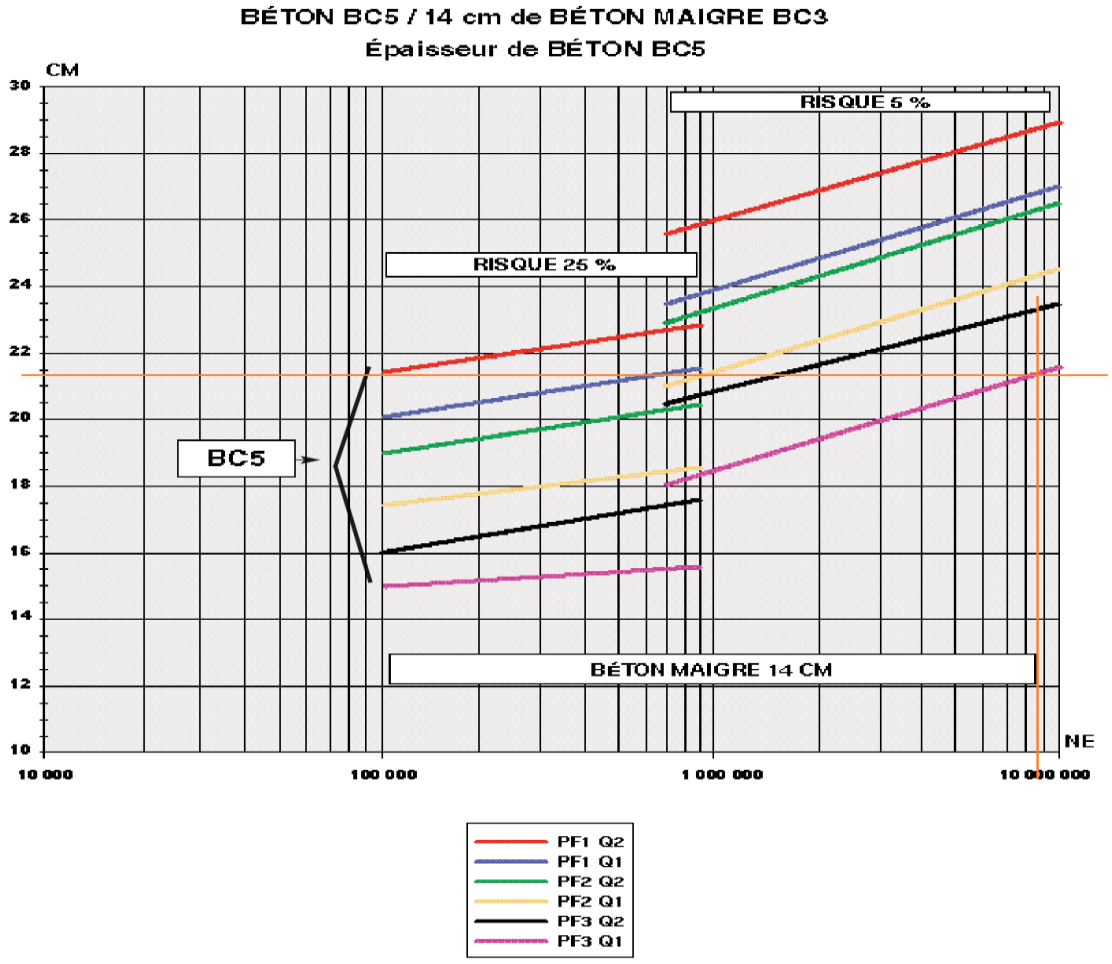
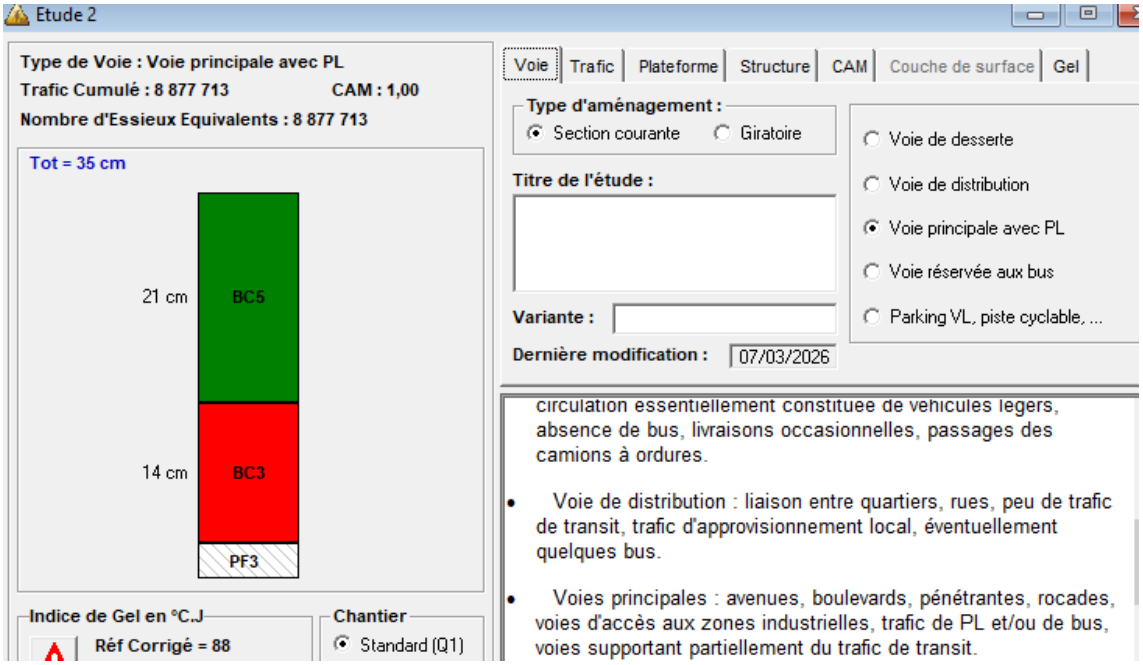


Illustration 4 : Valeurs des épaisseurs des couches de matériaux obtenues à travers l'annexe 5 du guide de dimensionnement du CERTU

Commentaires : Cet abaque présente les épaisseurs des bétons en couche roulement (BC5) et en couche d'assise (BC3). Cette méthode de dimensionnement est dite empirique, car elle présente des valeurs d'épaisseurs déjà calculées sous forme de graphiques. Ainsi, connaissant la valeur du nombre d'essieux équivalents (8,44 E6), la classe de plateforme (PF3), la classe de performances des matériaux utilisés (Q1) et le risque de calcul associé au type de voie (5% voie principale à trafic fort) [14], nous avons obtenu la valeur de 21 cm pour le revêtement ; la valeur du béton maigre qui servira de couche d'assise est fixée à 14cm du fait des expériences déjà menées.

Le guide de dimensionnement des structures urbaines spécifie deux qualités de matériaux en général pour les couches d'assises. Les matériaux Q1 sont ceux généralement exigés sur le marché présentent des caractéristiques mécaniques prescrites par la norme NF P 98 170. Dans certains chantiers où la réalisation ou l'approvisionnement en matériaux Q1 peut s'avérer difficile, des matériaux Q2 de qualité inférieure peuvent être envisagés. Les matériaux de meilleure qualité seront toujours privilégiés dans le cadre d'un dimensionnement structurel de chaussée.

Illustration 5 : Confirmation des valeurs des différentes couches obtenue avec le logiciel Struct Urb



<u>Commentaires</u> : Nous avons cherché à valider les données obtenues à l'aide du guide de dimensionnement du Certu. Pour cela, nous avons introduit les données initiales dans le guide le logiciel Struct Urb qui propose en fonction du type de chaussée (rigide dans ce cas), les configurations les plus retrouvées ainsi que les épaisseurs correspondantes des couches. Un certain nombre d'informations doivent être fournies (trafic, type d'aménagement, classe de plateforme, CAM…). Il faudra quand même noter que le logiciel propose une valeur maximale du coefficient d'agressivité moyenne égale à 1, nous avons ainsi augmenté le trafic moyen journalier afin de nous rapprocher de la valeur du nombre d'essieux équivalents.

2. Valeurs initiales de la structure de chaussée souple

R	Béton bitumineux	5	7	5	7	5	7	5	7	5	7
B	Grave ciment	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
F	Sol chaux	20	25	20	20	15	20	15	15	0	0
R	Béton bitumineux	5		5		5		5		5	
B	Concassé o/d	20		20		20		20		20	
F	Scories volcaniques (pouzzolanes)	45		30		25		15		0	
R	Béton bitumineux			5	7	5	7	5	7	5	7
B	Grave ciment			20	20	20	20	20	20	20	20
F	Scories volcaniques (pouzzolanes)			35	40	25	30	20	20	0	0
R	Béton bitumineux	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5
B	Grave bitume	15	15	15	15	15	15	15	15	20	20
F	Scories volcaniques (pouzzolanes)	50	50	35	40	25	30	20	20	0	0

Illustration 6 : Valeurs des couches obtenues avec le CEBTP

Commentaires : Le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux propose des abaques élaborés à travers une méthode dite empirique. En fonction du type de trafic et de l'indice CBR de la plateforme, on est capable de déterminer les épaisseurs de la couche de roulement (R) de la couche de base (B) et de la couche de fondation (F). Dans notre cas pour un trafic T4 et une classe portance S5, on a obtenu 5 cm de béton bitumineux en couche de roulement et 20 cm de grave bitume en couche de base. Ces valeurs constituent des valeurs initiales et doivent être vérifiées.

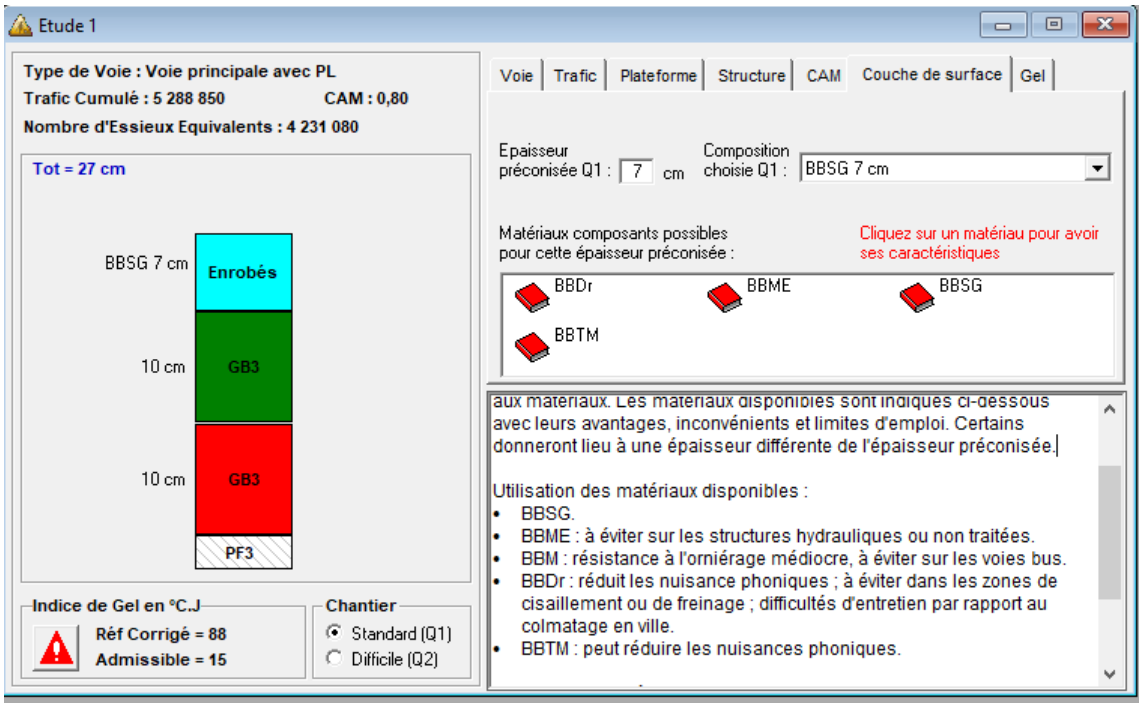


Illustration 7 : Confirmation des valeurs des différentes couches obtenues avec le logiciel Struct Urb

Commentaires : Nous avons à l'aide du logiciel Struct Urb confirmé la structure de chaussée obtenue à l'aide du CEBTP ; nous partirons sur la base de grave bitume de classe 3 répondant bien au trafic poids lourds et de béton bitumineux semi-grenu (BBSG 0/14) proposant de bonnes résistances aux charges de trafic. Il faudra noter que le logiciel Struc Urb ne propose pas des valeurs de CAM supérieure à 0,8 nous avons alors augmenté le trafic poids lourds de sorte à obtenir la valeur du nombre d'essieux équivalents qui nous intéressait.

3. Calcul des contraintes admissibles pour les matériaux en béton de ciment

La contrainte admissible pour les bétons de ciment est obtenue à travers l'équation :

$$\sigma_{t\ adm} = \sigma_6 * \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b * k_c * k_r * k_s * k_d \qquad \textbf{(20)}$$

σ_6 : Valeur moyenne de l'amplitude de contrainte, conduisant à une durée de vie en fatigue par flexion de 106 cycles, avec une probabilité de 50 %, sur un matériau d'âge supérieur ou égal à 360 jours (NF P98-233-1). De manière usuelle, il existe des règles de passage permettant d'estimer cette grandeur à partir des essais de traction directe ou indirecte réalisés à des stades de mûrissement plus précoces.

$$\sigma_6 = 0{,}65 * f_{t,b} \qquad \textbf{(21)}$$

- $f_{t,b}$: résistance moyenne en traction par essai de fendage du béton obtenue à 28 jours ;

b est la pente de la loi de fatigue du matériau déterminée à partir du même essai par linéarisation bi logarithmique entre 105 et 107 cycles (– 1 < b < 0) ;

NE est le nombre de cycles à la rupture, pris égal au nombre de passages de l'essieu de référence ;

Les paramètres NE, σ_6 et b sont regroupés dans l'**Illustration 8** présentée ci-dessous

Classe de béton de ciment		ft moyen à 28 jours (MPa)	Valeur de σ_6	-1/b	NE
Nom	Classe de fendage (NF P 98 170)				
BC6	S 3,3	4	2,6	14	8,64 E+6
BC5	S 2,7	3,3	2,15	15	
BC4	S 2,4	3	1,95	15	
BC3	S 2,0	2,5	1,63	16	
BC2	S 1,7	2,1	1,37	16	

Illustration 8 : Valeur de ft moyen et σ_6 (NF P 98 086)

kc, ks, kd sont les coefficients d'ajustement, plus explicitement

- Ks (coefficient de plateforme) : Coefficient intégrant les hétérogénéités de portance de la plate-forme support. Il n'affecte que la couche liée reposant sur une couche de matériaux non liés (ou la plate-forme). Ses valeurs sont fonction de la classe de plateforme et du module prévu pour la plateforme.

Module	E<50 MPa	50 MPa ≤ E ≤80 MPa	80 MPa ≤ E ≤ 120 MPa	E ≥ 120MPa
Ks	1/1,2	1/1,1	1/1,065	1

Illustration 9 : Valeurs de Ks en fonction du module (NF P 98 086)

- Kd (coefficient de discontinuité) : Coefficient prenant en compte l'effet du gradient thermique et le caractère discontinu des structures de chaussées rigides. Il est lié à la présence de discontinuités entre dalles ou de fissures de retrait.

	Kd
Couche de base ou roulement	
BCg/Bm	1/1,47
BAC/ Bm ou BCg/ BG3	1/1,37
BAC/BG3	1/1,07
Autres structures	1/1,7
Couche de fondation	
Toutes les structures sauf dalles épaisses	1

Illustration 10 : Valeurs de Kd pour le dimensionnement des chaussées rigides (NF P 98 086)

- Kc (coefficient de calage) : Coefficient permettant de corriger l'écart entre les prédictions de la démarche de calcul et l'observation du comportement des chaussées réelles. Il est égal à 1,5 dans tous les cas.
- Kr (coefficient de risque) : Coefficient lié au risque r, introduisant une notion probabiliste de la durée de vie de la chaussée compte tenu des dispersions sur les propriétés mécaniques des matériaux traités et sur les épaisseurs de couches de chaussées en matériaux traités.

$$K_{(5\%)} = 10^{-u*b*\delta} \; avec \; \delta = \sqrt{{S_N}^2 + \left(\frac{c * S_h}{b}\right)^2} \qquad (22)$$

Avec : SN est l'écart type sur le logarithme décimal du nombre de cycles entraînant la rupture par fatigue, dont les valeurs. Sa valeur est de 1 pour les bétons de ciment ;

c : coefficient décrivant l'impact d'une variation d'épaisseur de la chaussée sur sa déformation, en variation relative. Sa valeur est de 2 dans tous les cas ;

Sh représentant la tolérance sur l'épaisseur totale des couches de matériaux d'assises mises en œuvre. Sa valeur est déterminée en fonction du mode de mise en œuvre des bétons de ciment. Le type A correspondant à la vibration de surface sur coffrage fixe est utilisé dans ce cas.

	Type de matériel		
Couche de chaussée	A	B	C
Couche de fondation et dalles épaisses	0,03m	0,03m	0,03m
Couche de base roulement	0,03m	0,02m	0,01m

Illustration 11 : Valeurs de Sh (NF P 98 086)

u est la valeur de la variable aléatoire de la loi normale centrée réduite associée au risque r. en référence à la norme NF P 98 086 le risque pour les voies principales à fort trafic poids lourd est de 5% et la valeur de u associée est de -1,645.

Ces paramètres ont été utilisés dans le calcul des contraintes admissibles pour les bétons de ciments.

c) Déformation admissible au niveau du sol support

La déformation admissible des matériaux non traités et des sols et couches supports de chaussées est obtenue à travers la formule suivante.

$$\varepsilon_{z\,adm} = A * NE^{b} \qquad \textbf{(23)}$$

A est le coefficient lié au trafic pour un trafic fort NE ≥ 250000 la valeur de A=12000 ; et pour un trafic faible NE < 250000 sa valeur est de 16000.

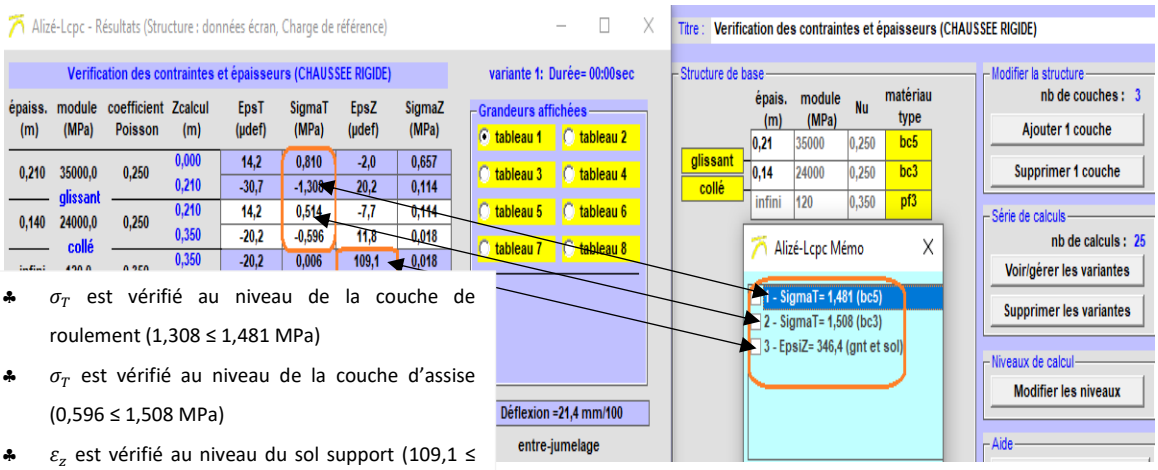
b est la pente de la loi de fatigue du matériau déterminée à partir du même essai par linéarisation bi logarithmique entre 105 et 107 cycles (– 1 < b < 0) ;

NE, le nombre d'essieux équivalent

Son expression finale sera : $\varepsilon_{z\,adm} = 12000 * NE^{-0,222}$

4. Calcul des contraintes et déformations avec Alizé LCPC

- Chaussée rigide (Alizé LCPC)

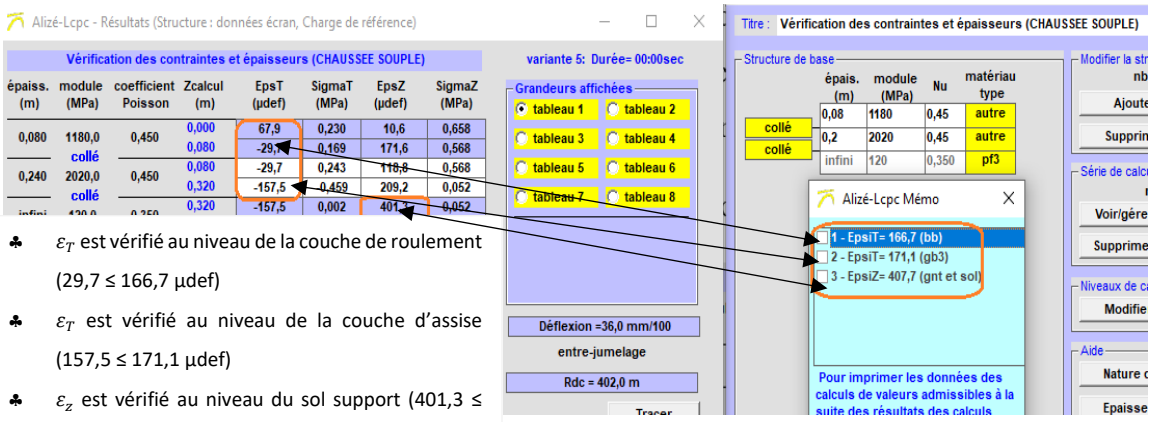


- σ_T est vérifié au niveau de la couche de roulement (1,308 ≤ 1,481 MPa)
- σ_T est vérifié au niveau de la couche d'assise (0,596 ≤ 1,508 MPa)
- ε_z est vérifié au niveau du sol support (109,1 ≤ 346,4 µdef)

Illustration 12 : Vérification de la structure de chaussée rigide avec Alize LCPC

Commentaires : Les valeurs de trafics ainsi que les types de matériaux introduits nous avons recalculé les contraintes et déformations admissibles. Ce qui nous a permis de vérifier la validité de la structure et des interfaces modélisées. La structure retenue vérifie les paramètres de contraintes au niveau des matériaux en béton de ciment ($\sigma_t \leq \sigma_{t\,adm}$) et la déformation permanente au niveau de la plateforme est admissible ($\varepsilon_z \leq \varepsilon_{z\,adm}$).

- Chaussée souple (Alizé LCPC)



- ε_T est vérifié au niveau de la couche de roulement (29,7 ≤ 166,7 µdef)
- ε_T est vérifié au niveau de la couche d'assise (157,5 ≤ 171,1 µdef)
- ε_z est vérifié au niveau du sol support (401,3 ≤ 407,7 µdef)

Illustration 13 : Vérification de la structure de chaussée souple avec Alize LCPC

Commentaires : Les valeurs de trafics ainsi que les types de matériaux introduits nous avons recalculé les déformations admissibles. Cela nous a permis de vérifier la validité de la structure et des interfaces modélisées. La structure retenue vérifie les paramètres de déformation au niveau des matériaux bitumineux ($\varepsilon_T \leq \varepsilon_{T\ adm}$) et la déformation permanente au niveau de la plateforme est admissible ($\varepsilon_z \leq \varepsilon_{z\ adm}$).

Catégorie de béton (NF P 98 170)	Résistance caractéristique à 28 jours (MPa)	Classe de résistance en compression (NF EN 206-1)	Classe de résistance en fendage
6 – aéroport	38	C40/50	S3,3
5 – couche de roulement	32	C35/45	S2,7
4 – couche de roulement	29	C30/37	S2,4
3 – couche d'assise	25	C25/30	S2,0
2 – couche d'assise	20	C20/25	S1,7
1 – couche d'assise	16	C16/20	S1,4

** Dans le cas d'une voirie béton, la couche de roulement est équivalente aux couches de base et de surface.*

Illustration 14 : Classification des bétons routiers

Commentaires : Pour les voies de Kossodo, le béton de ciment envisagé en couche de roulement est du BC5 et BC3 en couche de roulement. Nous avons préféré ces matériaux compte tenu de la quantité de trafic que nous jugions assez importante (> T3).

I.3. FORMULATION DU BETON ARME CONTINU

Afin de réduire le retrait hygrométrique du béton frais, il sera élaboré avec un rapport eau sur ciment E/C<0,45 [30]. Nous prévoirons un béton tenant compte des conditions environnementales alternativement humides et sèches (XD3) selon la norme EN 206-1. Les ciments les plus utilisés pour la confection des bétons routiers sont le CEM I, CEM II et le CEM III dosés entre 300 et 360 kg/m^3 de béton. Nous choisirons un ciment à prise normal CEM II /A Z 32,5 N pour sa capacité à garder le béton bien hydraté. La résistance visée est fc28=35MPa. Les granulats seront choisis en référence à la norme NF P 18 545 (code B pour Trafic > T3 et pour couche de roulement).

Déterminons la Compacité $C = \sqrt{\frac{fc_{28}}{G*\sigma_{28}}} = 0{,}42\ avec \begin{cases} G = 4{,}9 \\ \sigma_{28} = 32{,}5 + 8 \end{cases}$

Dosage en eau fictif $\frac{E'}{C} = \frac{\rho_e}{\rho_c} * \frac{1-C}{C} = \frac{1000}{3{,}2*1000} * \frac{1-0{,}42}{0{,}42} = 0{,}43$

Pour $\begin{cases} Dmax = 10mm\ (NF\ P\ 18\ 545) \\ Aff = 23\ cm\ (Beton\ plastique) \\ V_v = 12 \\ A = [0{,}2; 0{,}8\%];\ Beton\ adjuvanté\ (avec\ retardateur\ de\ prise) \\ C = 350\ kg/m^3 \end{cases}$

Nous obtenons E =198kg/m^3 selon la courbe 10 suivant la formulation de Féret correspondant au dosage eau sans air occlue ;

$$E' = E + \rho_e * V_v = 198 + 1000 * \left(\frac{12}{1000}\right) = 210kg/m^3$$

Dosage en ciment $\frac{E'}{C} = 0{,}43\ donc\ C = \frac{E'}{0{,}43} = \frac{210}{0{,}43} = 488{,}37\ kg/m^3$

Dosage adjuvant $\frac{A}{C} = 0{,}6\%\ donc\ A = 0{,}6\% * C = 0{,}6\% * 488{,}37 = 2{,}93kg/m^3$

Volume de la pâte m^3 de béton $V_p = \frac{m_C}{\rho_C} + \frac{m_e}{\rho_e} + \frac{m_A}{\rho_A} = \frac{488{,}37}{3200} + \frac{210}{1000} + \frac{2{,}93}{1700} = 0.36m^3$

Volume de granulats $V_g = 1m^3 - 0{,}36 = 0{,}64m^3$ (généralement comprise entre 0,6 et 0,75 de la masse du béton). Le squelette optimal contient 58% de granulats et 42% de sable

	Pour 1m^3	Pour la chaussée
CEM II/A Z 32,5 N	488,37 kg	4565868,8 kg
Gravier	1002,24 kg	9370142.2 kg
Sable	698,88 kg	6533968,9 kg
Eau	210 kg	1963332 kg
Retardateur de prise	2,93 kg	27393,15 kg

I.4. ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

1. Calcul de débit par la méthode rationnelle

$$Q_{10}[m^3/s] = \frac{1}{3{,}60} C * I * A$$

- C [-] : coefficient de ruissellement, il prend en compte plusieurs paramètres (topographie de la zone, le type de sol et couverture végétal). Il correspond au rapport entre le volume de pluie ruisselé et le volume de pluie tombé. Le coefficient de ruissellement est supposé constant tout au long d'une averse. Plus il est élevé, plus il traduit la capacité de à garder l'eau en surface (pas d'infiltration). D'après [31] sa valeur équivaudrait à :

Table 10.1 Run-off coefficient for the rational method

C_T (topography)		C_S (soils)		C_V (vegetation)	
Very flat (<1%)	0.03	Sand and gravel	0.04	Forest	0.04
Undulating (1–10%)	0.08	Sandy clays	0.08	Farmland	0.11
Hilly (10–20%)	0.16	Clay and loam	0.16	Grassland	0.21
Mountainous (>20%)	0.26	Sheet rock	0.26	No vegetation	0.28
Run-off coefficient $C = C_T + C_S + C_V$					

Illustration 15 : Valeurs du coefficient ruissellement

- I [mm/h] : intensité de l'averse à l'origine de la crue et déduite du modèle (at_c^{-b}). tc [h] est le temps de concentration du bassin versant pouvant être approximé avec la formule de Kirpich et représentant le temps que la goutte d'eau la plus éloignée met pour arriver à son exutoire. a et b sont des coefficients propres à une zone d'étude. Ils sont calculés à partir de courbe intensité-durée-fréquence.

  Les coefficients a et b obtenus pour la zone de Ouagadougou sont respectivement de 9,43 et 0,4994 pour un temps de concentration inférieur à 1h et de 42,78 et 0,1166 pour une valeur du temps de concentration supérieure à 1h selon les données mises à notre disposition par l'ANAM.

$$t_c = \left(\frac{0{,}87 * L^2}{1000 * P}\right)^{0{,}385} \quad \textbf{(24)}$$

Avec

$$L = 2 * \sqrt{A}$$

$$P = \frac{\Delta H}{\sqrt{A}}$$

- L [km] : Distance entre l'exutoire et le point le plus éloigné du bassin
- A [km^2] : surface du bassin
- P [m/m] : Pente longitudinale

2. Calcul de débit par la méthode de l'ORSTOM

$$Q_{10} = m * Qr_{10}$$

Avec

$$Qr_{10} = A * P_{10} * \alpha_{10} * \frac{S}{Tb_{10}}$$

La méthode de l'ORSTOM l'identification de la zone de (sahélienne ou tropicale) sèche ceci se fait grâce à un ajustement pluviométrique fait à travers différentes lois fréquentielles. La valeur de la pluviométrie moyenne annuelle permet d'identifier la zone et la valeur de la pluviométrie maximale journalière intervient dans le calcul du débit de ruissellement. Un échantillon pluviométrique de 45 ans (de 1980 à 2024) recueilli auprès de l'agence nationale de la météorologie du Burkina Faso fut ajusté avec différentes lois statistiques (Normal, Gumbel et LogNormal…). Les différentes lois sont comparées afin de valider les modèles les plus précis. Les résultats de la pluviométrie maximale journalière et moyenne annuelle retenue sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Période de retour (T)	Pluviométrie moyenne annuelle ajustée (loi LogNormal)		Pluviométrie journalière maximale ajustée avec la loi de Gumbel	
	Pluviométrie	Intervalle de confiance	Pluviométrie	Intervalle de confiance
100 ans	1110	1010-1210	121	101-142
50 ans	1060	975-1150	111	93,8-129
20 ans	996	924-1070	98,4	84,6-112
10 ans	940	880-1000	88,4	77,5-99,3
5 ans	876	828-924	77,9	69,8-86

Illustration 16 : Résultat de l'ajustement fréquentiel de la pluviométrie

D'après le manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés, les régions comportant de telles caractéristiques pluviométriques : moyenne annuelle entre 750 mm et 1200 mm, sont soumises à un climat tropical.

- S [km^2] : surface du bassin versant ;
- α : Coefficient de pointe correspondant au rapport entre le débit maximal ruisselé et le débit moyen, il avoisine la valeur de 2,6 pour tous les bassins ;
- Tb : Le temps de base est un paramètre utilisé pour désigner la durée totale pendant laquelle un bassin versant réagit à un événement pluvieux, correspondant à la période entre le début et la fin du ruissellement. Il est obtenu par la formule suivante :

- $Tb_{10} = a * S^{0.36} + b$ **(25)**
  - a et b sont des coefficients qui dépendent du régime de la zone et de l'indice de pente corrigé (a = 325 et b = 400) ;

- Kr10 : Le coefficient de ruissellement Kr10 est un paramètre hydrologique qui est utilisé pour estimer la fraction des précipitations qui se transforment en ruissellement. Il dépend essentiellement du type de sol, de sa couverture végétale et de la pente du bassin versant. Sa valeur est obtenue en extrapolant les valeurs de Kr 70 et Kr 100.

Caractéristiques			A	b	c
Coef Ruissellement	Infiltrabilité	Pente			
Kr70	RI	15	250	20	21,7
		7	200	20	18,5
		3	150	20	15
Coef Ruissellement	Infiltrabilité	Pente			
Kr100	RI	15	325	30	26
		7	240	30	22
		3	200	30	17

Illustration 17 : Coefficient pour la détermination du Kr (Source : FA054)

- A : coefficient d'abattement : c'est un coefficient correcteur qui reflète des pertes ou des diminutions dues à divers phénomènes naturels, tels que la nature du sol ou la végétation

$$A = 1 - \left[\frac{(161 - 0.042 * P_{an})}{1000} * \log(S)\right] \quad \textbf{(26)}$$

- m : coefficient de majoration, égal à 5% pour les bassins inférieurs à 100km^2 en zone tropicale sèche.

3. Calcul de débit par la méthode CIEH

$$Q_{10}[m^3/s] = a * S^s * Pan^p * Ig^i * {Kr_{10}}^k Dd^d$$

La méthode CIEH est basée sur les études menées sur de nombreux bassins versants en Afrique. Elle permet directement d'obtenir les débits décennaux en utilisant les équations adaptées au contexte de l'étude et la zone d'étude. Plus la corrélation (r^2) est forte, plus la méthode sera adaptée. Nous appuyant sur le tableau 11 du manuel des estimations crues et Apports, les équations de 39 à 45 peuvent être utilisées pour notre zone d'étude. Nous choisirons quand même de prendre en compte l'équation 39 et 40 proposant des valeurs de corrélation plus grandes (0,818 pour la 39 et 0,824 pour la 40)

Equation 39	Equation 40
$Q_{10} = 0.410 * S^{0.425} * Kr10^{0.923}$	$Q_{10} = 0.254 * S^{0.462} * Kr10^{0.976} * {I_g}^{0.101}$

4. Modèle retenu pour l'ajustement pluviométrique

Comparison criteria of the distributions

Return period : T= 10

Sample size : 45

WARNING ! The decision-support system (comparison criteria as described in the HYFRAN menu) is still being developped. It should therefore only be used as an indication.

Model	Nb param.	XT	P(Mi)	P(Mi | x)	BIC	AIC
Gumbel (Method of moments)	2	88.367	33.33	65.75	382.087	378.473
Lognormal (Maximum Likelihood)	2	87.066	33.33	34.06	383.402	379.789
Normal (Maximum Likelihood)	2	87.959	33.33	0.19	393.786	390.172

P(Mi) : A priori probability P(Mi | x) : A posteriori probability (Method of Schwarz) BIC : Bayesian information criterion AIC : Akaïke information criterion

Illustration 18 : Ajustement de la pluviométrie maximale journalière

Comparison criteria of the distributions

Return period : T= 10

Sample size : 45

WARNING ! The decision-support system (comparison criteria as described in the HYFRAN menu) is still being developped. It should therefore only be used as an indication.

Model	Nb param.	XT	P(Mi)	P(Mi | x)	BIC	AIC
Lognormal (Maximum Likelihood)	2	939.976	33.33	52.02	567.025	563.412
Normal (Maximum Likelihood)	2	933.871	33.33	33.54	567.903	564.289
Gumbel (Method of moments)	2	936.693	33.33	14.44	569.588	565.975

P(Mi) : A priori probability P(Mi | x) : A posteriori probability (Method of Schwarz) BIC : Bayesian information criterion AIC : Akaïke information criterion

Illustration 19 : Ajustement de la pluviométrie annuelle moyenne

Commentaires : Les pluviométries sont ajustées à l'aide de Hyfran Plus, les modèles statistiques retenus sont ceux qui présentent les valeurs du BIC et du AIC minimaux.

Illustration 20 : Calcul de débit pour le bassin versant n°1

Caractéristiques Bassin Versant n°1					
Reference et emplacement de l'ouvrage		ref	Coordonnées		
		OH1 (PK0+400)	X:666443.538	Y:1373927.572	
Surface et Périmetre	S [km2]	P[km]	Altitude	Alt(max) [m]	Alt(min) [min]
	1.17	5.73		303.82	284
Longueur total du reseau hydrographique [km]		3.43	Longueur du plus long cours d'eau [km]		1.54
Classification de Strahler n		3	Pente long moyenne [‰]		21.3
Indice de forme (Gravelus)		1.32	Densité de drainage		2.92
Longueur du rectangle equivalent [km]		2.37	Pente trans moyenne [‰]		9.47
Indice Global de pente (Ig)		0.84	Denivélé spécifique		0.91
Indice Global de pente corrigé (Ig_{corr})		5.16	dénivélé spécifique corr		5.57

Pluviométrie (ajustée avec Hyfran Plus)	
Module pluviométrique Moyen Annuel (Pan) [mm]	940
Module pluviométrique Maximal Journalier decennal (P10) [mm]	88.4
Module pluviométrique Maximal Journalier centenal (P100) [mm]	121

Debit calculé par la Methode Ratonnelle			
Coefficient de ruisselement (C=Ct+Cv+Cs)	Ct (Topographie)	0.08	0.52
	Cs (soils)	0.16	
	Cv (Végétaion)	0.28	
Intensité Moyenne de l'averse (I) [mm/h]	Coefficient de montana (a et b)		
	a		9.43
	b		0.4994
	Temps de concentration moyen obtenu par la formule de Kirpich		
	Tc [h]	$T_c = \left(\frac{0{,}87 * L^2}{1000 * I}\right)^{0{,}385}$	0.56
	I [mm/h]	$I = aT_c^{-b}$	12.59
Surface du bassin versant (A)	A (km)		1.17
Debit decennal Q10	Q10[m3/s]	$Q_{10} = \frac{1}{3{,}6} * C * I * A$	2.12

Debit calculé par la Methode d'ORSTROM (Zone tropicale Sèche)						
coefficient de ruissellement decennal et temps de base associés à l'indice de pente corrigé						
Ig	Kr 70%	Kr 100%	Kr 10%	tb (mn)	tb (s)	tb (h)
3	22.09	23.42	22.90	743.90	44633.91	12.40
7	27.95	29.70	29.02	485.90	29153.91	8.10
5.16	25.25	26.81	26.20	604.72	36283.02	10.08

Pluie Moyenne décennale (Pm10) [mm]	Coefficient d'abattement		
	A	$A = 1 - \left[\frac{(161 - 0{,}042 * Pan)}{1000} * \log(S)\right]$	0.99
	Pm10 [mm]	Pm10 [mm] = P10*A	87.66
débit de ruissellement décennal moyen (Qmr10) [m3/s]	Lame d'eau ruisselée decennale		
	Lr10 [mm]	Lr10 [mm] =Pm10*Kr10	22.97
	Volume d'eau ruisselé décennale		
	Vr [m3]	Vr [m3] = 10^3*Lr10*S	26877.18
	Qmr10 [m3/s]	Qmr10=Vr/tb	0.74
Débit maximal de ruissellement décennal (Qr10) [m3/s]	coefficent de Pointe (α)		2.6
	Qr10 [m3/s]	Qr10 = Qmr10*α	1.93
Débit par la methode d'Ostrom (Q'10) [m3/s]	coefficient pour permeabilité des terres (m)		1.05
	Q10 [m3/s]	Q10 = Qr10* m	2.03

Debit calculé par la Methode CIEH			
Equation N° 39 (Burkina Faso)	Q10 [m3/s]	$Q_{10} = 0{,}41 * S^{0{,}425} * {Kr_{10}}^{0{,}923}$	8.93
Equation N° 40 (Burkina Faso)	Q10 [m3/s]	$Q_{10} = 0{,}254 * S^{0{,}462} * Ig^{0{,}101} * {Kr_{10}}^{0{,}976}$	6.50
Debit par la Methode CIEH	Q10 [m3/s]		7.72

Débit Projet retenu			
Débit Projet	Debit moyen par la ORSTROM et RATIONNELLE		
	Q10 [m3/s]	[Q10 (Rationnel) +Q(10 Ostrom)]/2	2.07325
	f [-]	facteur muliplicateur avec HEC RAS	1.51
	Qp 10 [m3/s]	Q10*f	3.13

Illustration 21 : Calcul de débit pour le bassin versant n°2

Caractéristiques Bassin Versant n°2					
Reference et emplacement de l'ouvrage			ref	Coordonnées	
			BV2 (PK0+400)	X:665566.538	Y:1374818.286
Surface et Périmetre	S [km2]	P[km]	Altitude	Alt(max) [m]	Alt(min) [min]
	0.19	2.08		306.519	296.588
Longueur total du reseau hydrographique [km]		0.19	Longueur du plus long cours d'eau [km]		0.19
Classification de Strahler n		1	Pente long moyenne [‰]		59.64
Indice de forme (Gravelus)		1.34	Densité de drainage		1
Longueur du rectangle equivalent [km]		0.8	Pente trans moyenne [‰]		8.64
Indice Global de pente (Ig)		2.48	Denivélé spécifique		2.6
Indice Global de pente corrigé (Ig_{corr})		4.12	dénivélé spécifique corr		1.79
Pluviométrie (ajustée avec Hyfran Plus)					
Module pluviométrique Moyen Annuel (Pan) [mm]					940
Module pluviométrique Maximal Journalier decennal (P10) [mm]					88.4
Module pluviométrique Maximal Journalier centenal (P100) [mm]					121
Debit calculé par la Methode Ratonnelle					
Coefficient de ruisselement (C=Ct+Cv+Cs)			Ct (Topographie)	0.08	0.52
			Cs (soils)	0.16	
			Cv (Végétaion)	0.28	
Intensité Moyenne de l'averse (I) [mm/h]			Coefficient de montana (a et b)		
			a		9.43
			b		0.4994
			Temps de concentration moyen obtenu par la formule de Kirpich		
			Tc [h]	$T_c = \left(\frac{0{,}87 * L^2}{1000 * I}\right)^{0{,}385}$	0.26
			I [mm/h]	$I = aT_c^{-b}$	18.62
Surface du bassin versant (A)			A (km)		0.19
Debit decennal Q10			Q10[m3/s]	$Q_{10} = \frac{1}{3{,}6} * C * I * A$	0.51
Débit Projet retenu					
Débit Projet			Méthode ratonnelle retenue		
			f [-]	facteur muliplicateur avec HEC RAS	1.51
			Qp 10 [m3/s]	Q10*f	0.77

Illustration 22 : Calcul des débits pour le bassin versant n°3

Caractéristiques Bassin Versant n°3					
Reference et emplacement de l'ouvrage		ref	Coordonnées		
		BV3 (PK2+150)	X:665075.418	Y:1375317.085	
Surface et Périmetre	S [km2]	P[km]	Altitude	Alt(max) [m]	Alt(min) [min]
	0.89	4.94		303.82	284
Longueur total du reseau hydrographique [km]	3.45		Longueur du plus long cours d'eau [km]		1.46
Classification de Strahler n	2		Pente long moyenne [‰]		27.55
Indice de forme (Gravelus)	1.47		Densité de drainage		3.87
Longueur du rectangle equivalent [km]	2.03		Pente trans moyenne [‰]		30.27
Indice Global de pente (Ig)	0.98		Denivélé spécifique		0.92
Indice Global de pente corrigé (Ig_{corr})	7.53		dénivélé spécifique corr		7.11

Pluviométrie (ajustée avec Hyfran Plus)	
Module pluviométrique Moyen Annuel (Pan) [mm]	940
Module pluviométrique Maximal Journalier decennal (P10) [mm]	88.4
Module pluviométrique Maximal Journalier centenal (P100) [mm]	121

Debit calculé par la Methode Ratonnelle				
Coefficient de ruisselement (C=Ct+Cv+Cs)	Ct (Topographie)	0.08		
	Cs (soils)	0.16		0.52
	Cv (Végétaion)	0.28		
Intensité Moyenne de l'averse (I) [mm/h]	Coefficient de montana (a et b)			
	a			9.43
	b			0.4994
	Temps de concentration moyen obtenu par la formule de Kirpich			
	Tc [h]	$T_c = \left(\frac{0,87 * L^2}{1000 * I}\right)^{0,385}$		0.52
	I [mm/h]	$I = aT_c^{-b}$		12.98
Surface du bassin versant (A)	A (km)			0.89
Debit decennal Q10	Q10[m3/s]	$Q_{10} = \frac{1}{3,6} * C * I * A$		1.66

Debit calculé par la Methode d'ORSTROM (Zone tropicale Sèche)						
coefficient de ruissellement decennal et temps de base associés à l'indice de pente corrigé						
Ig	Kr 70%	Kr 100%	Kr 10%	tb (mn)	tb (s)	tb (h)
7.00	28.07	29.77	29.11	711.65	42698.85	11.86
15.00	33.67	36.52	35.42	453.65	27218.85	7.56
7.54	28.45	30.22	29.54	694.25	41655.25	10.08

Pluie Moyenne décennale (Pm10) [mm]	Coefficient d'abattement		
	A	$A = 1 - \left[\frac{(161 - 0,042 * Pan)}{1000} * \log(S)\right]$	0.99
	Pm10 [mm]	Pm10 [mm] = P10*A	88.29
débit de ruissellement décennal moyen (Qmr10) [m3/s]	Lame d'eau ruisselée decennale		
	Lr10 [mm]	Lr10 [mm] =Pm10*Kr10	26.27
	Volume d'eau ruisselé décennale		
	Vr [m3]	Vr [m3] = 10^3*Lr10*S	23382.94
	Qmr10 [m3/s]	Qmr10=Vr/tb	0.56
Débit maximal de ruissellement décennal (Qr10) [m3/s]	coefficent de Pointe (α)		2.6
	Qr10 [m3/s]	Qr10 = Qmr10*α	1.45
Débit par la methode d'Ostrom (Q'10) [m3/s]	coefficient pour permeabilité des terres (m)		1.05
	Q10 [m3/s]	Q10 = Qr10* m	1.53

Debit calculé par la Methode CIEH			
Equation N° 39 (Burkina Faso)	Q10 [m3/s]	$Q_{10} = 0,41 * S^{0,425} * {Kr_{10}}^{0,923}$	8.88
Equation N° 40 (Burkina Faso)	Q10 [m3/s]	$Q_{10} = 0,254 * S^{0,462} * Ig^{0,101} * {Kr_{10}}^{0,976}$	8.03
Debit par la Methode CIEH	Q10 [m3/s]		8.45

Débit Projet retenu			
Débit Projet	Debit moyen par la ORSTROM et RATIONNELLE		
	Q10 [m3/s]	[Q10 (Rationnel) +Q(10 Ostrom)]/2	1.59
	f [-]	facteur muliplicateur avec HEC RAS	1.51
	Qp 10 [m3/s]	Q10*f	2.39

d) Détermination des paramètres adimensionnels pour le calcul des dalots

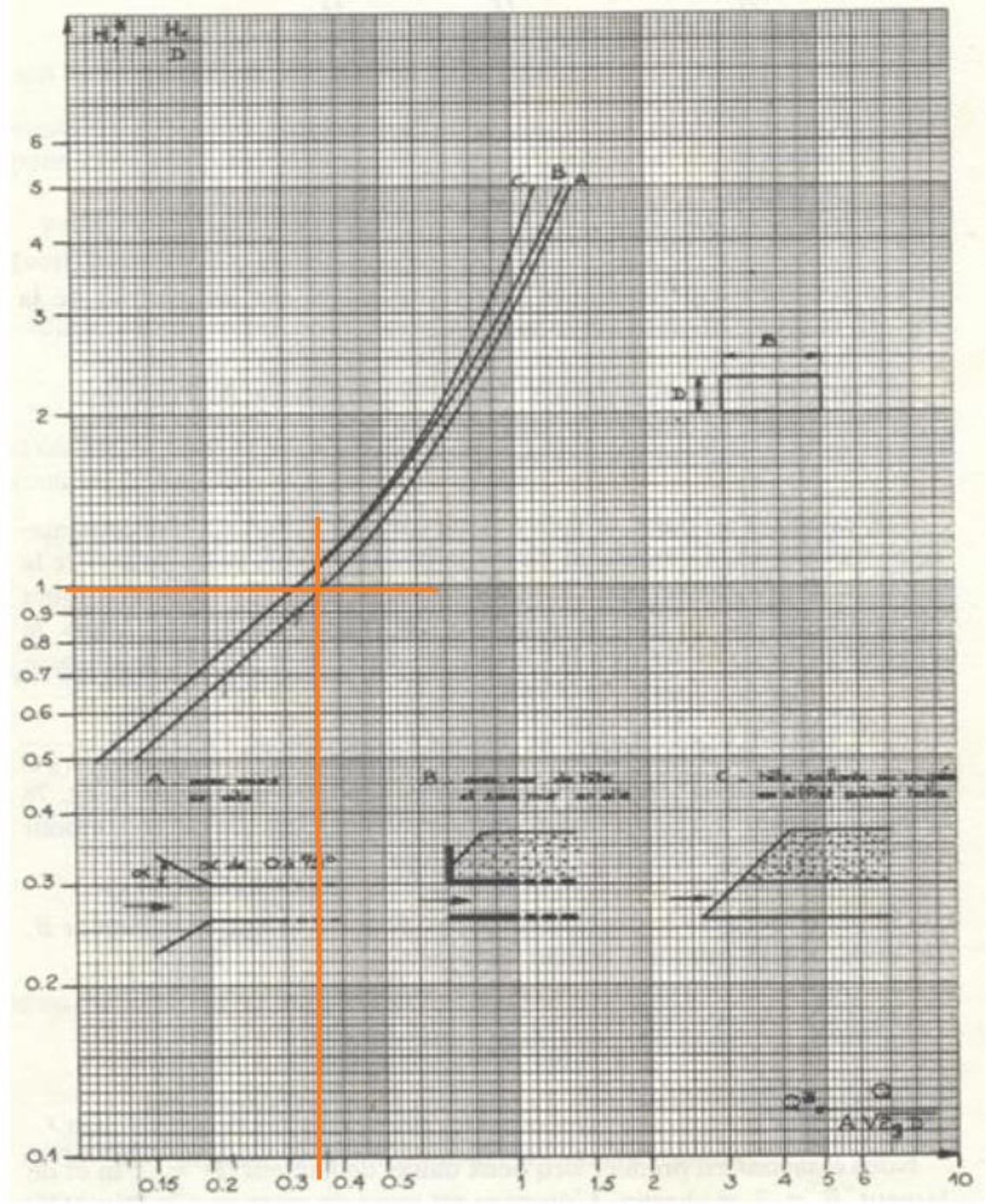


Illustration 23 : Abaque pour la détermination de la profondeur réduite H1*

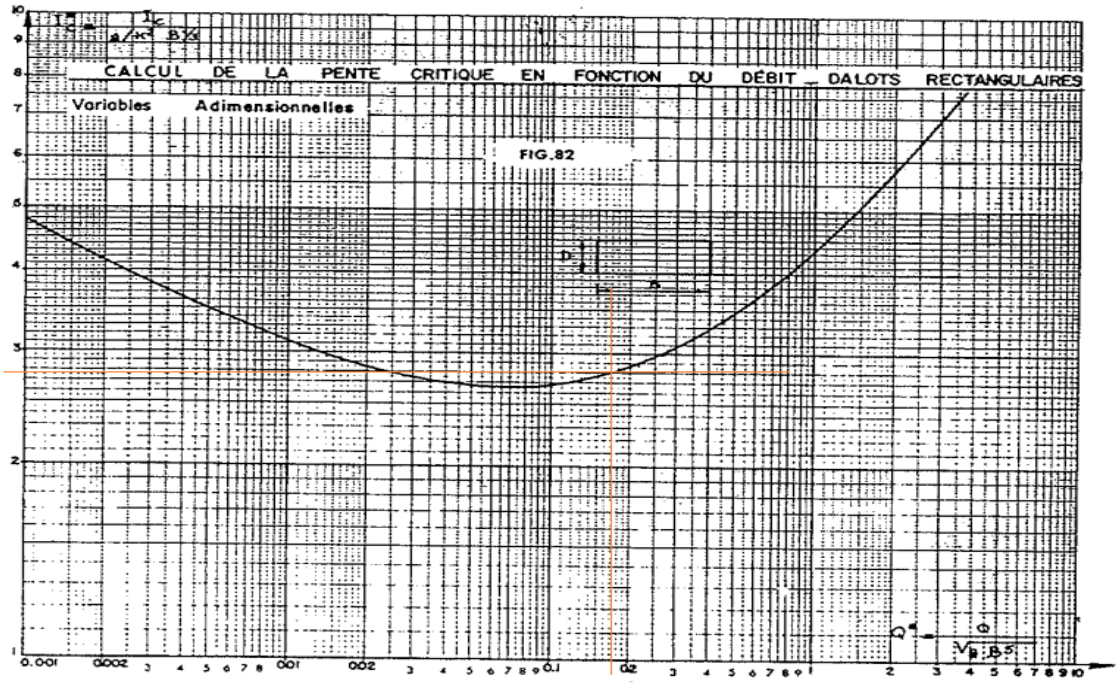


Illustration 24 : Abaque pour la détermination de la pente critique réduite Ic*

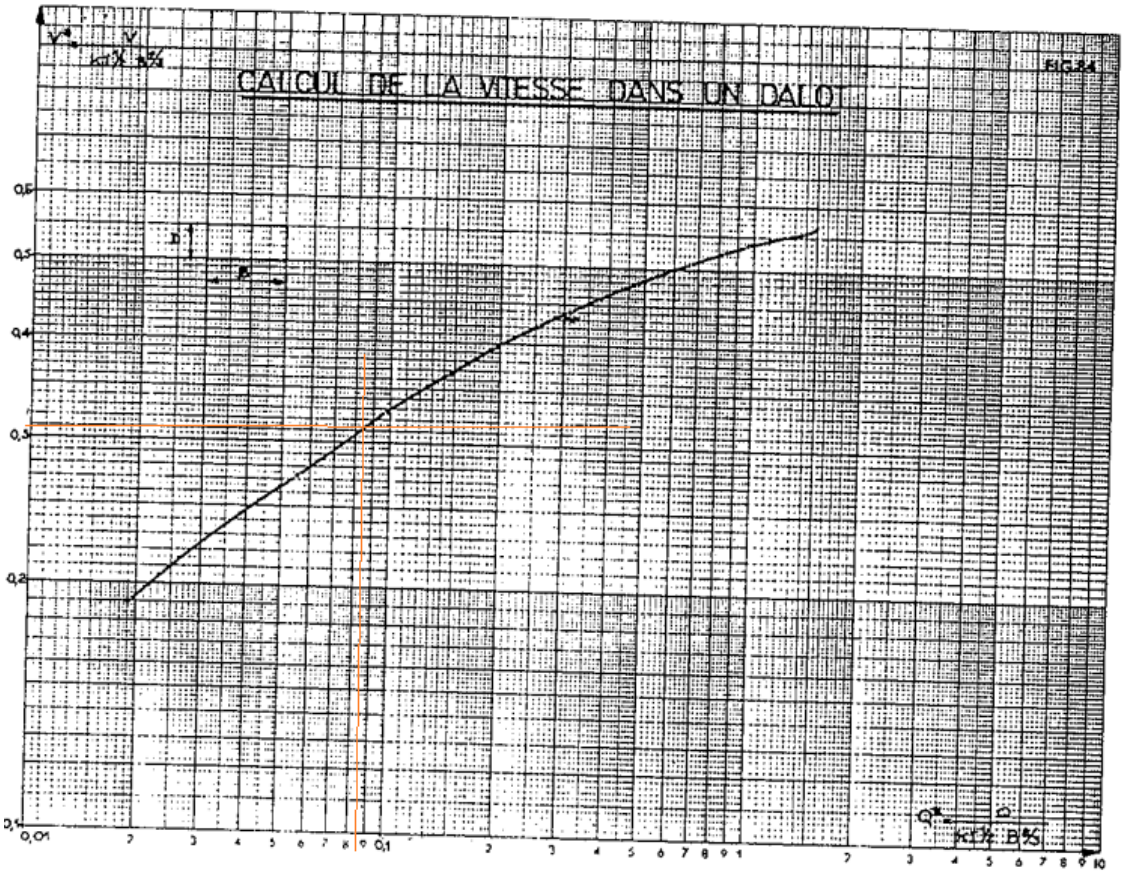


Illustration 25 : Abaque pour la détermination de la vitesse réduite V*

I.5. ETUDE STRUCTURALE

Désignation de la classe	Désignation de l'environnement	Exemples informatifs illustrant le choix des classes d'exposition
1. Aucun risque de corrosion ni d'attaque		
X0	Béton non armé et sans pièces métalliques noyées : toutes expositions sauf en cas de gel/dégel, d'abrasion et d'attaque chimique ; Béton armé ou avec des pièces métalliques noyées : sec	Béton à l'intérieur de bâtiments où le taux d'humidité de l'air ambiant est très faible
2. Corrosion induite par carbonisation		
XC1	Sec ou humide en permanence	Béton à l'intérieur de bâtiments où le taux d'humidité de l'air ambiant est faible Béton submergé en permanence dans de l'eau
XC2	Humide, rarement sec	Surfaces de béton soumises au contact à long terme de l'eau Un grand nombre de fondations
XC3	Humidité modérée	Béton à l'intérieur de bâtiments où le taux d'humidité de l'air ambiant est moyen ou élevé Béton extérieur abrité de la pluie
XC4	Alternativement humide et sec	Surfaces de béton soumises au contact de l'eau, mais n'entrant pas dans la classe d'exposition XC2
3. Corrosion induite par les chlorures		
XD1	Humidité modérée	Surfaces de béton exposées à des chlorures transportés par voie aérienne
XD2	Humide, rarement sec	Piscines Éléments en béton exposés à des eaux industrielles contenant des chlorures
XD3	Alternativement humide et sec	Éléments de ponts exposés à des projections contenant des chlorures Chaussées, dalles de parcs de stationnement de véhicules
4. Corrosion induite par les chlorures présents dans l'eau de mer		
XS1	Exposé à l'air véhiculant du sel marin, mais pas en contact direct avec l'eau de mer	Structures sur ou à proximité d'une côte
XS2	Immergé en permanence	Éléments de structures marines
XS3	Zones de marnage, zones soumises à des projections ou à des embruns	Éléments de structures marines
5. Attaque gel/dégel		
XF1	Saturation modérée en eau, sans agent de déverglaçage	Surfaces verticales de béton exposées à la pluie et au gel
XF2	Saturation modérée en eau, avec agents de déverglaçage	Surfaces verticales de béton des ouvrages routiers exposés au gel et à l'air véhiculant des agents de déverglaçage
XF3	Forte saturation en eau, sans agents de déverglaçage	Surfaces horizontales de béton exposées à la pluie et au gel
XF4	Forte saturation en eau, avec agents de déverglaçage ou eau de mer	Routes et tabliers de pont exposés aux agents de déverglaçage. Surfaces de béton verticales directement exposées aux projections d'agents de déverglaçage et au gel. Zones des structures marines soumises aux projections et exposées au gel
6. Attaques chimiques		
XA1	Environnement à faible agressivité chimique	Sols naturels et eau dans le sol
XA2	Environnement d'agressivité chimique modéré	Sols naturels et eau dans le sol
XA3	Environnement à forte agressivité chimique	Sols naturels et eau dans le sol

Illustration 26 : Classes d'exposition en fonction des conditions d'environnement conformément à l'EN 206-1

1. Calcul du caniveau

Rappel sur les hypothèses de calcul

- Le caniveau sera dimensionné sur le principe de la charge transmise par une roue isolée de 100 kN en référence au fascicule 61, titre II ;
- La fissuration est considérée préjudiciable, notre ouvrage est prévu pour être en contact avec de l'eau, ce qui peut compromettre sa durabilité ; le dimensionnement sera donc fait à l'ELS ;
- Les règles de calcul béton armé régissent du BAEL 91 modifié 99
- Charge permanente (G) : correspondant à la somme de ces différentes charges imposées en permanence sur l'ouvrage
- Charges d'exploitation (Q) : correspondant à la somme des charges fréquemment observées

Caractéristiques acier-béton et sol support

Béton

- Dosage béton usuel : 350kg/m^3
- Résistance à la compression du béton à 28 jours : $fc_{28} = 25\ MPa$
- Résistance à la traction du béton à 28 jours : $ft_{28} = 2{,}1\ MPa$:
- Coefficient de sécurité : $\gamma_b = 1{,}5$

Aciers

- Acier haute adhérence HA FeE 400, $f_e = 400\ MPa$;
- Résistance à la traction :$\bar{\sigma}_{st} = min\left\{\frac{2}{3}fe\ ; Max\left\{\frac{1}{2}fe\ ; 110\sqrt{\eta f_{tj}}\right\}\right\} = 201{,}63\ MPa$

Sol support

- Densité des terres : $\gamma_{sol} = 20\ kN/m^3$
- Coefficient de poussée de terre $K_a = 0{,}33$

a) Dallette (flexion simple)

♣ Descente de charge sur la dallette

- Les charges permanentes sont celles dues au poids propre de la dallette

$$P_d = e_d * \gamma_b * b\ avec \begin{cases} e_d = épaisseur\ de\ la\ dallette[m] \\ \gamma_b = poids\ volumique\ du\ béton\ [kN/m^3] \\ b = largeur\ de\ la\ dallette\ [m] \end{cases}$$

$$P_d = e_d * \gamma_b * b = 0{,}2 * 25 * 1{,}1 = 5{,}5\ [kN/m]$$

- Les charges d'exploitation sont provoquées par la surcharge routière Br

$$Br = 100\ kN$$

♣ Calcul des sollicitations

- Moment de flexion dû au poids de la dallette

$$M_{P_d} = P_d * \frac{b^2}{8}\ [kN.m]$$

$$M_{P_d} = 5{,}5 * \frac{1{,}1^2}{8} = 0{,}83\ [kN.m]$$

- Moment de flexion dû à la surcharge Br

$$M_{B_r} = B_r * \frac{b}{4}\ [kN.m]$$

$$M_{B_r} = 100 * \frac{1{,}1}{4} = 27{,}5\ [kN.m]$$

♣ Combinaisons des actions

- A l'état limite ultime (ELU)

$$M_u = 1{,}35\ M_{P_d} + 1{,}50 M_{B_r} = 1{,}35 * 0{,}83 + 1{,}50 * 27{,}5 = 42{,}37\ [kN.m]$$

- A l'état ultime de service (ELS)

$$M_{ser} = M_{P_d} + M_{B_r} = 0{,}83 + 27{,}5 = 28{,}33\ [kN.m]$$

♣ Détermination de la section d'acier à l'ELU

- Moment réduit du béton

$$\mu_u = \frac{M_u}{b_0 * d^2 * f_{bu}}\ avec \begin{cases} b_0 = 1\ m \\ d = 0{,}9 * h = 0{,}9 * 0{,}2\ m \end{cases}$$

$$\mu_u = \frac{0{,}001 * 42{,}37}{1 * 0{,}18^2 * 14{,}17} = 0{,}092\ \in\ [0; 0{,}186]$$

On a $\mu_u < \mu_{ul}$, pas de besoin d'aciers comprimés requis (zone de pivot A).

- Bras de levier

$$Z_u = d(1 - 0{,}4\alpha_u)\ avec\ \alpha_u = 1{,}25 * \left(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}\right)$$

$$\alpha_u = 1{,}25 * (1 - \sqrt{1 - 2 * 0{,}092} = 0{,}13$$

$$Z_u = (0{,}9 * 0{,}2)(1 - 0{,}4 * 0{,}13) = 0{,}17$$

- Section d'acier à l'ELU

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u * f_{su}} \ [cm^2]$$

$$A_{st} = \frac{42{,}37 * 10}{0{,}17 * 347{,}83} = 7{,}16 \ [cm^2]$$

♣ Détermination de la section d'acier à l'ELS

- Résistance du béton à l'ELS

$$\bar{\sigma}_{bc} = 0{,}6 * fc_{28} = 0{,}6 * 25 = 15 \ MPa$$

- Moment résistant du béton

$$\alpha_{ser} = \frac{n * \bar{\sigma}_{bc}}{n * \bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 * 15}{15 * 15 + 201{,}63} = 0{,}53$$

$$M_{serb} \ [MN.m] = \frac{1}{2} b_0 * d^2 * \bar{\sigma}_{bc} * \alpha_{ser} \left(1 - \frac{1}{3} \bar{\alpha}_{ser}\right)$$

$$M_{serb} = \frac{1}{2} * 1 * (0{,}9 * 0{,}2)^2 * 15 * 0{,}53 \left(1 - \frac{1}{3} * 0{,}53\right) = 0{,}11 [MN.m]$$

Nous avons, $M_{ser} = 0{,}02833 \ [MN.m] \leq M_{serb} = 0{,}11 [MN.m]$, dons pas de besoin d'acier comprimé.

- Position de l'acier neutre par rapport à l'axe neutre

$$y_{ser} = \alpha_{ser} * d = 0{,}53 * 0{,}18 = 0{,}10 \ m$$

$$z_{ser} = d * \left(1 - \frac{1}{3} * \alpha_{ser}\right) = 0{,}18 * \left(1 - \frac{1}{3} * 0{,}53\right) = 0{,}15 \ m$$

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{z_{ser} * \bar{\sigma}_{st}} [cm^2]$$

$$A_{st} = \frac{28{,}33 * 10}{0{,}15 * 201{,}63} = 9{,}36 \ [cm^2]$$

- Section d'acier minimale (condition de non-fragilité)

$$A_{st} \geq A_{stmin} \ ? \ avec \ A_{stmin} = \frac{0{,}23 * b_0 * d * f_{tj}}{f_e}$$

$$A_{stmin} = \frac{0{,}23 * 1 * (0{,}9 * 0{,}2) * 2{,}1}{400} = 2{,}17 [cm^2]$$

$$A_s \geq A_{stmin} \ , Condition \ de \ non \ fragilité \ vérifiée$$

Les deux propositions faites à l'ELS et L'ELU sont structurellement viables, nous choisirons quand même de travailler avec les sections d'aciers obtenues à L'ELS qui prend en compte l'aspect environnemental.

$$A_s = max(A_{st}; A_{stmin}) = 9{,}36\ [cm^2]$$

Notre choix sera 12 HA 10 totalisant une section de 9,42 cm², donc 6 HA 10 par nappe

- Espacement entre aciers principaux

$$st = \frac{(b_0 - (1+n) + (enr * 2))}{n-1}$$

$$st = \frac{(100 - ((1+6) + (3*2)))}{6-1} = 17{,}4\ cm$$

Nous choisirons un espacement de 17 cm.

- Acier de répartition

$$A_{rp} = \frac{A_{st}}{4}\ [cm^2]$$

$$A_{rp} = \frac{9{,}36}{4} = 2{,}34\ [cm^2]$$

Nous choisirons 6 HA 8 totalisant une section de 3,02 cm² espacés de 20 cm

b) Piédroits (Flexion composée avec effort de compression)

♣ Descente de charge sur un piédroit

- Les piédroits sont soumis en permanence à leur propre poids, à celui transmis par la dallette et à la poussée de terre.

  Poids de la dallette sur le piédroit

$$P_{dp} = \frac{P_d}{2} = \frac{5{,}5}{2} = 2{,}75[kN]$$

  Poids propre du piédroit

$$P_{pd} = \gamma_b * e_{pd} * h_{pd}\ [kN]\ avec \begin{cases} e_{pd} = \text{épaisseur piédroit}[m] \\ \gamma_b = poids\ volumique\ du\ béton\ [kN/m^3] \\ h_{pd} = hauteur\ du\ piédroit\ [m] \end{cases}$$

$$P_{pd} = 25 * 0{,}15 * 0{,}8 = 3\ [kN]$$

Poussée de terre

$$P_t = \frac{1}{2} * k_a * \gamma_{sol} * {h_r}^2 \ [kN] \quad avec \begin{cases} k_a = coefficient\ de\ poussée\ terre \\ \gamma_{sol} = poids\ volumique\ du\ sol\ [kN/m^3] \\ h_r = hauteur\ remblai\ [m] \end{cases}$$

$$P_t = \frac{1}{2} * 0{,}33 * 20 * (0{,}95 + 0{,}2)^2 = 4{,}36\ [kN]$$

- Les charges d'exploitation sont provoquées par la surcharge routière Br

$$B_{rp} = \frac{B_r}{2}\ [kN]$$

$$B_{rp} = \frac{100}{2} = 50\ [kN]$$

♣ Calcul des sollicitations à l'ELS

- Effort normal

$$N_{ser} = \sum P + \sum Q$$

$$N_{ser} = P_{dp} + P_{pd} + P_t + B_{rp} = 2{,}75 + 3 + 4{,}36 + 50 = 60{,}11[kN]$$

- Moment dû à la poussée de terre

$$M_{ser} = \frac{1}{3} * P_t * h_r = 1{,}67\ [kN.m]$$

♣ L'excentricité de premier ordre

$$e_1 = \frac{M_{ser}}{N_{ser}}\ [m]$$

$$e_1 = \frac{1{,}67}{60{,}11} = 0{,}028\ [m]$$

Le principe de calcul pour calculer les sections d'acier partiellement comprimé est le même à l'état ultime de service

♣ L'excentricité du second ordre (effets additionnels)

$$e_a = \max\left(2cm; \frac{L}{250}\right);$$

$$e_a = \max\left(2cm; \frac{80}{250}\right) = 2cm$$

♣ L'excentricité du troisième ordre

$$e_2 = \frac{3 * {L_f}^2}{10000h}(2 + \alpha\emptyset)\ ave\ \begin{cases} \alpha = \dfrac{M_g}{M_g + M_q} = \dfrac{0{,}78}{0{,}78 + 1{,}053} = 0{,}43 \\ L_f = 2L_0\ (encastré\ d'un\ coté) \\ \theta = 2 \end{cases}$$

$$e_2 = \frac{3 * 1{,}6^2}{10000 * 0{,}8}(2 + 0{,}43 * 2) = 0{,}03$$

- ♣ L'excentricité

$$e = e_1 + e_2 + e_a = 0{,}028 + 0{,}02 + 0{,}03 = 0{,}078$$

Il faudra vérifier si la section est entièrement ou partiellement comprimée

- Si $e < \frac{h}{6}$ La section est entièrement comprimée ;
- Si $e > \frac{h}{6}$ La section est partiellement comprimée.

$$\frac{h}{6} = \frac{0{,}15}{6} = 0{,}025\ [m]$$

La section est donc partiellement comprimée 0,078 > 0,025

- ♣ Détermination du moment fictif

$$M_{ser_{fictif}} = M_{ser} + N_{ser} * \left(d - \frac{h}{2}\right)$$

$$M_{ser_{fictif}} = 1{,}67 + 60{,}11 * \left(0{,}135 - \frac{0{,}15}{2}\right) = 5{,}28\ [kN.m]$$

- ♣ Détermination des sections d'aciers
  - Moment réduit du béton

$$M_{serb}\ [MN.m] = \frac{1}{2} b_0 * d^2 * \bar{\sigma}_{bc} * \alpha_{ser}\left(1 - \frac{1}{3}\bar{\alpha}_{ser}\right)$$

$$M_{serb} = \tfrac{1}{2} * 1 * 0{,}135^2 * 15 * 0{,}53 * \left(1 - \tfrac{1}{3} * 0{,}53\right) = 0{,}060[MN.m]$$

On a Mser fictif = 0,0052 MN.m ≤ Mserb, donc pas besoin d'aciers comprimés

$$z_{ser} = d * \left(1 - \frac{1}{3} * \alpha_{ser}\right) = 0{,}135 * \left(1 - \frac{1}{3} * 0{,}53\right) = 0{,}12\ m$$

  - Section d'acier

$$A_s = A_{s_{fictif}} - \frac{N_{ser}}{\bar{\sigma}_{st}}$$

$$A_s = \left(\frac{29,85}{0,12 * 201,63} - \frac{60,11}{201,63}\right) * 10 = 9,32\ cm^2$$

Notre choix sera 12 HA 10 totalisant une section de 9,42 cm², donc 6 HA 10 par nappe. L'espacement prévu sur la nappe d'acier est de 17 cm.

- Section d'acier minimale (condition de non-fragilité)

$$A_{st} \geq A_{stmin}\ ?\ avec\ A_{stmin} = \frac{0,23 * b_0 * d * f_{tj}}{f_e}$$

$$A_{stmin} = \frac{0,23 * 1 * (0,9 * 0,15) * 2,1}{400} = 1,63[cm^2]$$

$$A_s \geq A_{stmin} = 1,63cm^2\ Condition\ de\ non\ fragilité\ vérifiée$$

- Aciers de répartition

$$A_{rp} = \frac{A_s}{4}\ [cm^2]$$

$$A_{rp} = \frac{8,64}{4} = 2,16\ [cm^2]$$

Nous choisirons 6 HA 8 totalisant une section de 3,02 cm² espacés de 15 cm

c) Radier (flexion simple)

♣ Descente de charge

- Les charges permanentes sont celles dues au poids propre de la dallette, à la charge exercée par les piédroits et au poids propre du radier

Poids propre de la dallette exercé sur le radier

$$P_{dr} = e_d * \gamma_b * b\ avec \begin{cases} e_d = épaisseur\ de\ la\ dallette[m] \\ \gamma_b = poids\ volumique\ du\ béton\ [kN/m^3] \\ b = largeur\ de\ la\ dallette\ [m] \end{cases}$$

$$P_{dr} = e_d * \gamma_b * b = 0,2 * 25 * 1,1 = 5,5\ [kN]$$

Poids propre des piédroits

$$P_{pd} = \text{nbre} * \gamma_b * e_{pd} * h_{pd}\ [kN]\ avec \begin{cases} e_{pd} = \text{épaisseur piédroit}[m] \\ \gamma_b = poids\ volumique\ du\ béton\ [kN/m^3] \\ h_{pd} = hauteur\ du\ piédroit\ [m] \end{cases}$$

$$P_{pd} = 2 * 25 * 0,15 * 0,8 = 6\ [kN]$$

Poids propre du radier

$$P_r = e_r * \gamma_b * b_r \; avec \begin{cases} e_d = épaisseur\ du\ radier[m] \\ \gamma_b = poids\ volumique\ du\ béton\ [kN/m^3] \\ b_r = largeur\ du\ radier\ [m] \end{cases}$$

$$P_{dr} = e_r * \gamma_b * b_r = 0{,}15 * 25 * (0{,}8 + 0{,}15 + 0{,}15) = 4{,}125\ [kN]$$

- Les charges d'exploitation sont provoquées par la surcharge routière Br et l'eau

  Surcharge Br sur le radier

$$Br_r = B_r\ [kN/m]$$

$$Br_r = 100[kN/m]$$

Poids de l'eau

$$P_e = y_n * \gamma_e * \mathrm{b}\ avec \begin{cases} y_n = \text{profondeur normale } [m] \\ \gamma_e = poids\ volumique\ de\ l'eau\ [kN/m^3] \\ \mathrm{b} = largeur\ au\ mirroir\ [m] \end{cases}$$

$$P_e = y_n * \gamma_e * \mathrm{b} = 0{,}8 * 10 * 0{,}80 = 6{,}4\ [kN]$$

♣ Combinaisons des actions à l'ELS

- L'effort normal

$$R = P_{dr} + P_{pd} + P_r + Br_r + P_e = 5{,}5 + 6 + 4{,}125 + 100 + 6{,}4 = 122{,}025\ [kN]$$

♣ Détermination de la section d'acier à l'ELS

- Calcul du moment fléchissant

$$M_{ser} = \frac{G * L^2}{8} + \frac{Q * L}{4} = \frac{15{,}625 * 1{,}1^2}{8} + \frac{106{,}4 * 1{,}1}{4} = 31{,}36\ [kN.m]$$

- Moment résistant

$$M_{serb}\ [MN.m] = \frac{1}{2} b_0 * d^2 * \bar{\sigma}_{bc} * \alpha_{ser} \left(1 - \frac{1}{3}\bar{\alpha}_{ser}\right)$$

$$M_{serb} = \frac{1}{2} * 1 * (0{,}9 * 0{,}15)^2 * 15 * 0{,}53 \left(1 - \frac{1}{3} * 0{,}53\right) = 0{,}060\ [MN.m]$$

Nous avons, $M_{ser} = 0{,}03136\ [MN.m] \leq M_{serb} = 0{,}060\ [MN.m]$, dons pas de besoin d'acier comprimé.

- Position de l'acier neutre par rapport à l'axe neutre

$$y_{ser} = \alpha_{ser} * d = 0{,}53 * 0{,}135 = 0{,}08\ m$$

$$z_{ser} = d * \left(1 - \frac{1}{3} * \alpha_{ser}\right) = 0{,}135 * \left(1 - \frac{1}{3} * 0{,}53\right) = 0{,}12\ m$$

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{z_{ser} * \bar{\sigma}_{st}} [cm^2]$$

$$A_{st} = \frac{31{,}36 * 10}{0{,}12 * 201{,}63} = 13{,}06\ [cm^2]$$

- Section d'acier minimale (condition de non-fragilité)

$$A_{st} \geq A_{stmin}\ ?\ avec\ A_{stmin} = \frac{0{,}23 * b_0 * d * f_{tj}}{f_e}$$

$$A_{stmin} = \frac{0{,}23 * 1 * (0{,}9 * 0{,}15) * 2{,}1}{400} = 1{,}63 [cm^2]$$

Condition de non-fragilité vérifiée, nous choisirons 12 HA 12 espacés de 17 cm totalisant une section de 13,57 cm²

- Acier de répartition

$$A_{rp} = \frac{A_s}{3}\ [cm^2]$$

$$A_{rp} = \frac{13{,}06}{4} = 3{,}27\ [cm^2]$$

Nous choisirons 6 HA 10 totalisant une section de 4,71 cm² espacés de 20 cm

2. Calcul du dalot

- La fissuration est considérée préjudiciable, notre ouvrage est prévu pour être en contact avec de l'eau ce qui peut compromettre sa durabilité ; le dimensionnement sera donc fait à l'ELS ;
- Les chargements à considérer sont pris selon les prescriptions du fascicule 61 Titre II, il s'agira notamment des systèmes A et B ;
- Les règles de calcul béton armé régissent du BAEL 91 modifié 99.

Caractéristiques acier-béton et sol support

Béton

- Dosage béton usuel : 350kg/m^3 ;
- Résistance à la compression du béton à 28 jours : $fc_{28} = 25\ MPa$;
- Résistance à la traction du béton à 28 jours : $ft_{28} = 2{,}1\ MPa$;
- Coefficient de sécurité : $\gamma_b = 1{,}5$.

Aciers

- Acier haute adhérence HA FeE 400, $f_e = 400\ MPa$;
- Résistance à la traction :$\bar{\sigma}_{st} = min\left\{\frac{2}{3}fe\ ; Max\left\{\frac{1}{2}fe\ ; 110\sqrt{\eta f_{tj}}\right\}\right\} = 201{,}63\ MPa.$

Sol support

- Densité des terres : $\gamma_{sol} = 20\ \ kN/m^3$
- Coefficient de poussée de terre $K_a = 0{,}33$
- Surcharge de remblai : γ varie en fonction du matériau (vêtement, assise…)
- Cohésion du sol : c = 0

Calcul des sollicitations

a) Actions permanentes

♣ Sur le tablier

Le tablier est soumis à son poids propre, au poids du remblai, de la couche d'étanchéité et des guides roues

- Poids propre du tablier

$$P_{p_{tablier}}\ [kN/ml] = e_d * \gamma_b * B\ avec \begin{cases} e_d = épaisseur\ de\ la\ dalle [m] \\ \gamma_b = poids\ volumique\ du\ béton\ [kN/m^3] \\ B = Portée\ de\ la\ bande\ [m] \end{cases}$$

$$P_{p_{tablier}} = e_d * \gamma_b * B = 0{,}20 * 25 * 1 = 5\ [kN/ml]$$

- Poids du remblai (revêtement en BAC)

$$P_{r_{BAC}}\ [kN/ml] = e_{r\ (BAC)} * \gamma_b * B\ avec \begin{cases} e_{r\ (BAC)} = épaisseur\ du\ révetement\ [m] \\ \gamma_b = poids\ volumique\ du\ béton\ [kN/m^3] \\ B = Portée\ de\ la\ bande\ [m] \end{cases}$$

$$P_{r_{BAC}}\ [kN/ml] = e_{r\ (BAC)} * \gamma_b * B = 0{,}21 * 25 * 1 = 5{,}25\ [kN/ml]$$

- Poids du remblai (Assise en béton maigre)

$$P_{r_{Bc3}}\ [kN/ml] = e_{r\ (BC3)} * \gamma_b * B\ avec \begin{cases} e_{r\ (BC3)} = épaisseur\ couche\ d'assise\ [m] \\ \gamma_b = poids\ volumique\ du\ béton\ frais\ [kN/m^3] \\ B = Portée\ de\ la\ bande\ [m] \end{cases}$$

$$P_{r_{BC3}}\ [kN/ml] = e_d * \gamma_b * B = 0{,}14 * 26 * 1 = 3{,}64\ [kN/ml]$$

- Poids propre de la couche d'étanchéité

$$P_{p_{étanch}}\ [kN/ml] = e_e * \gamma_e * B\ avec \begin{cases} e_e = épaisseur\ couche\ d'étancheité [m] \\ \gamma_e = poids\ volumique\ du\ béton\ [kN/m^3] \\ B = Portée\ de\ la\ bande\ [m] \end{cases}$$

$$P_{p_{étanch}}\ [kN/ml] = e_e * \gamma_e * b = 0{,}03 * 24 * 1 = 0{,}72\ [kN/ml]$$

- Poids propre des guides roues

$$P_{p_{gr}}\ [kN/ml] = \frac{e_{gr} * h_{gr} * l_t * \gamma_b}{l_c + 2 * e_{gr}}\ avec \begin{cases} e_{gr} = épaisseur\ du\ garde\ roue\ [m] \\ h_{gr} = hauteur\ du\ garde\ roue\ [m] \end{cases}$$

$$P_{p_{gr}}\ [kN/ml] = \frac{0{,}2 * 0{,}6 * 4{,}6 * 25}{9{,}5 * 2 * 0{,}2} = 3{,}63\ [kN/ml]$$

$$G_1 = \sum G_{i/_{tablier}}$$

$$G_1 = 5 + 5{,}25 + 3{,}64 + 0{,}72 + 3{,}63 = 18{,}24\ [kN/ml]$$

♣ Piédroits

- Poussée de terre au niveau du tablier

$$P_3 = k_a * \gamma_{sol} * h_{r1}\ avec \begin{cases} h_{r1} = hauteur\ de\ remblai\ pour\ P3 \\ k_a = Coefficient\ de\ pussée\ de\ terre \\ \gamma_{sol} = poids\ volumique\ du\ sol \end{cases}$$

$$P_3 = k_a * \gamma_{sol} * h_{r1} = 0{,}33 * 20 * (0{,}03 + 0{,}21 + 0{,}14 + 0{,}2) = 3{,}168\ [kN/ml]$$

- Poussée de terre au niveau du radier

$$P_3 = k_a * \gamma_{sol} * h_{r1}\ avec \begin{cases} h_{r2} = hauteur\ de\ remblai\ pour\ P \\ k_a = Coefficient\ de\ pussée\ de\ terre \\ \gamma_{sol} = poids\ volumique\ du\ sol \end{cases}$$

$$P_3 = k_a * \gamma_{sol} * h_{r2} = 0{,}33 * 20 * (0{,}58 + 1) = 11{,}08\ [kN/ml]$$

♣ Radier

- Poids propre des piédroits

$$P_{pd} = \frac{(e_{pd} * h_{pd} * B * nbr_{pd} * \gamma_b)}{(nbr_{ouver} * l_{hydr} + nbr_{pd} * e_{pd})}\ avec \begin{cases} e_{pd} = epaisseur\ piedroit \\ h_{pd} = hauteur\ piedroit \\ nbr_{pd} = nombre\ de\ piedroits \\ l_{hydr} = largeur\ hydraulique \end{cases}$$

$$P_{pd} = \frac{(0{,}20 * 1 * 1 * 3 * 25)}{(2 * 2 + 3 * 0{,}2)} = 3{,}26\ [kN/ml]$$

- Poids propre du radier

$$P_{p_{radier}}\ [kN/ml] = e_d * \gamma_b * B\ avec \begin{cases} e_d = épaisseur\ de\ la\ dalle[m] \\ \gamma_b = poids\ volumique\ du\ béton\ [kN/m^3] \\ B = Portée\ de\ la\ bande\ [m] \end{cases}$$

$$P_{p_{radier}} = e_d * \gamma_b * B = 0{,}20 * 25 * 1 = 5\ [kN/ml]$$

$$G_2 = \sum G_{i/_{radier}}$$

$$G_2 = G_1 + P_{p_{radier}} + P_{pd} = 18{,}24 + 5 + 3{,}26 = 26{,}5\ [kN/ml]$$

b) Charges variables

♣ Système A

Le système A (l) est applicable pour des ponts dont la portée n'excède pas 200 m. Il suppose que la charge engendrée par le passage des véhicules sera uniformément répartie, il dépend en effet de la longueur chargée. Un coefficient de dégressivité transversale prend en compte le type de pont ainsi que le nombre de voies chargées.

La densité de charge effective est obtenue à travers la formule :

$$q(L) = sup\{a_1 * A(L); 4 - 0{,}002L\}\ avec \begin{cases} a_1 : f(classe\ \ pont; nbre\ de\ voies) \\ L : max(L_r; Portée\ travée) \\ A(L) : 2{,}3 + \dfrac{360}{(L+12)} \end{cases}$$

$$q(L) = sup\left\{0{,}9 * 2{,}3 + \frac{360}{(9{,}5+12)}; 4 - 0{,}002 * 9{,}5\right\} = 18{,}81[kN/m^2]$$

Ainsi, la surcharge liée au système A sera déterminée à travers formule :

$$Q_A[kN/m^2] = \gamma_q * a_2 * q(L)\ avec \begin{cases} \gamma_q = 1{,}2 \text{ à } l'ELS\ et\ 1{,}61 \text{ à } l'ELU \\ a_2 = \dfrac{(L_r/3)}{v_0} \\ v_0\ est\ fonction\ de\ la\ classe\ du\ pont \end{cases}$$

$$Q_A = 1{,}2 * \frac{(9{,}5/3)}{3{,}5} * 18{,}81 = 20{,}42\ [kN/m^2]$$

- ♣ Système B

Le système B est composé de plusieurs sous-systèmes Bc, Bt, Br se distinguant les uns des autres par la configuration du chargement et le type de charge et d'intensité transmises par les camions.

La charge représentant le cas le plus défavorable est considérée dans la suite des calculs. Son expression est commune pour les sous-systèmes Bc et Bt et est sous la forme :

$$Q = \gamma_Q * \delta * b_i * B$$

Avec $b_i = b_c;\ b_t$

δ Coefficient de majoration dynamique est le maximum des coefficients obtenu en fonction du sous-système

$$\delta = 1 + \frac{0{,}4}{1+0{,}2L} + \frac{0{,}6}{1+4*\frac{G}{S}}\ avec \begin{cases} G = Poids\ total\ d'une\ section\ de\ longeur\ L \\ S = Poids\ total\ des\ essieux\ du\ système\ considéré \end{cases}$$

$$\delta = \max\left(\delta_{b_c}; \delta_{b_t}\right)$$

- Sous-système Bc

Une file de deux camions identiques de 30 tonnes est au maximum disposée suivant le sens longitudinal de la voie. Cette disposition sera faite sur le nombre de voies de

circulation que la route comprend. Le sous-système bc est affecté d'un coefficient de dégressivité qui est fonction de la classe du pont et du nombre de voies chargées.

Les caractéristiques du chargement sont présentées ci-dessous **:**

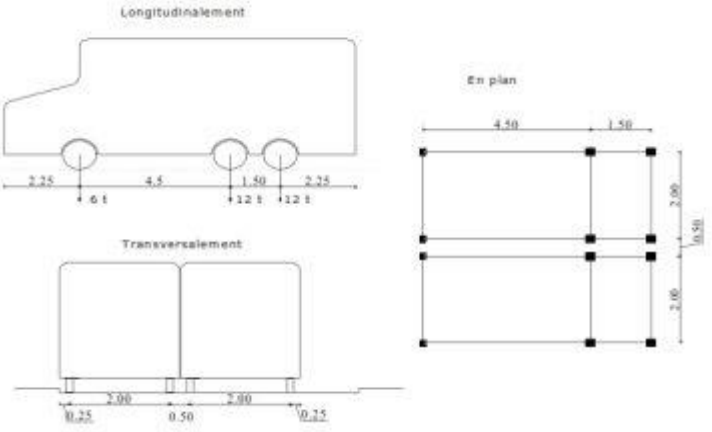


Illustration 27 : Caractéristiques du Sous-système Bc

Le cas le plus contraignant consiste à placer les deux essieux arrière d'un camion sur le sens longitudinal et disposer trois camions sur le sens transversal de notre voie.

La charge Bc engendrée par le sous-système sera :

$$B_c = \frac{Poids\ des\ essieux}{Surface\ d'encombrement}$$

$$B_c = \frac{120 * 6}{(7 + 0{,}25) * (1{,}5 + 0.25)} = 56.74[kN/m^2]$$

Le coefficient de pondération pour le système est $b_c(I;3) = 0{,}95$

δ_{b_c} Coefficient de majoration dynamique pour le sous-système Bc

$$\delta_{b_c} = 1 + \frac{0{,}4}{1 + 0{,}2 * 9{,}5} + \frac{0{,}6}{1 + 4 * \frac{(11 * 0{,}55 * 25 + 24 * 0{,}03 * 11)}{120 * 6}} = 1{,}46$$

- Sous-système Bt

Le sous-système bt a été élaboré pour les ponts de première et deuxième classe, il suppose un convoi de deux véhicules à deux tandems de 16 tonnes chacun.

La méthode de calcul est identique pour les deux systèmes ;

Les caractéristiques du chargement sont présentées ci-dessous :

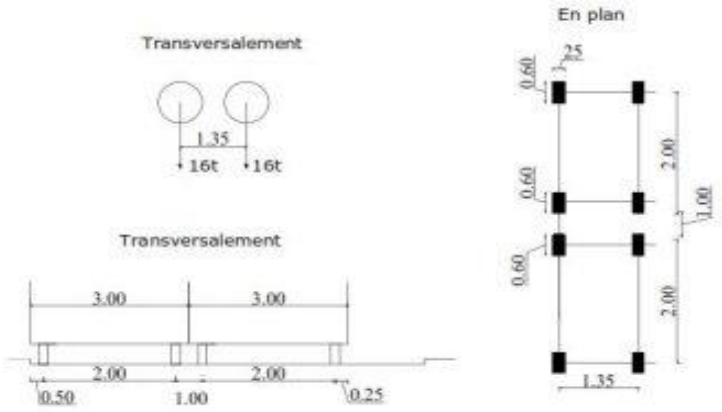


Illustration 28 : Caractéristiques du Sous-système B_t

$$B_t = \frac{Poids\ des\ essieux}{Surface\ d'encombrement}$$

$$B_t = \frac{160 * 4}{(5 + 0{,}60) * (1{,}35 + 0.25)} = 71{,}42[kN/m^2]$$

Le coefficient de pondération pour le système $b_t = 1$ pour les ponts de classe I et $0{,}95$ pour les ponts de classe II

δ_{b_t} Coefficient de majoration dynamique pour le sous-système Bt

$$\delta_{b_t} = 1 + \frac{0{,}4}{1 + 0{,}2 * 9{,}5} + \frac{0{,}6}{1 + 4 * \frac{(11 * 0{,}55 * 25 + 24 * 0{,}03 * 11)}{160 * 4}} = 1{,}43$$

Nous aurons, $Q_B = \max(Q_{B_c}; Q_{B_t})$, la valeur sera déterminée à l'ELS

$$Q_{B_c} = 1{,}2 * 1{,}46 * 0{,}95 * 56{,}74 = 94{,}43\ [kN/m^2]$$

$$Q_{B_t} = 1{,}2 * 1{,}46 * 1 * 71{,}42 = 125{,}12\ [kN/m^2]$$

La valeur retenue est $Q_B = 125{,}12\ [kN/m^2]$

c) Combinaisons de charge

La combinaison retenue pour le dimensionnement du dalot est l'ELS pour le respect des aspects de durabilité et du fait que notre ouvrage sera en majeur partie du temps en contact avec l'eau. Nous aurons alors les charges suivantes :

Charge sur le tablier	$P'_{1_{tablier}} = G_1 + Q$	143,36
Charge sur le radier	$P'_{2_{radier}} = G_2 + Q$	169.86
Charge sur le haut du piédroit	$P'_{3_{tablier}} = P_3 + \gamma_q * k_a * q$	7,13
Charge sur le bas du piédroit	$P'_{4_{radier}} = P_4 + \gamma_q * k_a * q$	15,04

Illustration 29 : Valeurs de la combinaison de charge

Calcul des sections d'acier

a) Tablier et Radier (flexion simple)

Le tablier et le radier sont essentiellement dimensionnés en flexion simple. L'annexe présente une synthèse de résultats de calcul des différents appuis et travées à l'ELS. Le tablier sera calculé sous la base de fissurations préjudiciables et le tablier en FTP.

	Désignation	**Formule**	**Résultats**		
			Appuis rives	**Appui inter**	**Travées**
Tablier	Moment fléchissant (Mser)	-	57,8	57,8	28,9
	Moment résistant du béton	$M_{serb}\ [MN.m] = \frac{1}{2} b_0 * d^2 * \bar{\sigma}_{bc} * \alpha_{ser} \left(1 - \frac{1}{3}\bar{\alpha}_{ser}\right)$	0,11	0,11	0,11
	Vérification de la présence d'aciers comprimés	Comparaison entre Mser et Mserb	Mser ≤ Mserb. Donc Ast≠0, Asc=0.		
	Calcul des sections d'acier	$A_{st}[cm^2] = \frac{M_{ser}}{z_{ser} * \bar{\sigma}_{st}}$	19,11	19,11	9.55
	Acier minimal	$A_{stmin}[cm^2] = \frac{0{,}23 * b_0 * d * f_{tj}}{f_e}$	2,17	2,17	2,17
	Choix des aciers par nappe		7HA14	7HA14	7HA10
	Espacement	$st[\text{cm}] = \frac{(b_0 - (1+n) + (enr * 2))}{n-1}$	16	16	16
Radier	Moment fléchissant (Mser)	-	42,6	66,4	37,6
	Moment résistant du béton	$M_{serb}\ [MN.m] = \frac{1}{2} b_0 * d^2 * \bar{\sigma}_{bc} * \alpha_{ser} \left(1 - \frac{1}{3}\bar{\alpha}_{ser}\right)$	0,11	0,11	0,11
	Vérification de la présence d'aciers comprimés	Comparaison entre Mser et Mserb	Mser ≤ Mserb. Donc Ast≠0, Asc=0.		
	Calcul des sections d'acier	$A_{st}[cm^2] = \frac{M_{ser}}{z_{ser} * \bar{\sigma}_{st}}$	18,21	28,23	15.94
	Acier minimal	$A_{stmin}[cm^2] = \frac{0{,}23 * b_0 * d * f_{tj}}{f_e}$	2,17	2,17	2,17
	Choix des aciers par nappe		6HA14	8HA16	6HA14
	Espacement	$st[\text{cm}] = \frac{(b_0 - (1+n) + (enr * 2))}{n-1}$	17	12	17

Illustration 30 : Détermination des sections d'aciers du tablier et du radier

b) Piédroits (compression simple et flexion composée avec effort de compression)

Les piédroits de rive sont dimensionnés en flexion composée avec effort de compression induit par leur propre poids quant au piédroit intermédiaire il est assimilé à un poteau reposant sur son poids propre ; la section d'acier est obtenue sous la base d'une compression simple. La méthode utilisée pour le calcul du piédroit intermédiaire est présentée ci-dessous. Les récapitulatifs des calculs sont présentés en **Illustration 31** pour les piédroits extérieurs et en **Illustration 32** pour le piédroit intérieur.

♣ Piédroit intermédiaire (compression simple)

- Détermination de la section réduite

$$B_r = \big((a - 0{,}02) * (b - 0{,}02)\big) \; avec \begin{cases} a = \; largeur\; du\; poteau \\ b = portée \end{cases}$$

$$B_r = \big((0{,}2 - 0{,}02) * (1 - 0{,}02)\big) = 0{,}18m^2$$

- Longueur de flambement

$L_f = 0{,}5L_0$ Pour les poteaux encastrés des deux cotés

$$L_f = L_0 * 0{,}5 = 1 * 0{,}5 = 0{,}5m$$

- Moment quadratique (section rectangulaire)

$$i = \frac{a}{\sqrt{12}} = \frac{0{,}2}{\sqrt{12}} = 0{,}06$$

- Elancement

$$\lambda = 3{,}5 * \frac{L_f}{a} = 3{,}5 * \frac{0{,}5}{0{,}2} = 8{,}75 < 50$$

- Coefficient d'élancement mécanique

$$\alpha = \frac{0{,}85}{1 + 0{,}2\left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} = \frac{0{,}85}{1 + 0{,}2\left(\frac{8{,}75}{35}\right)^2} = 0{,}84$$

La valeur de α est divisée par 1,10 lorsque l'application des charges se fait après 90 jours. Donc $\alpha = 0{,}77$

- Détermination des aciers longitudinaux

$$A_{sc} = \left(\frac{N_{ser}}{\alpha} - \frac{B_r * fc_{28}}{0{,}9\gamma_b}\right)\left(\frac{1}{\frac{f_e}{\gamma_s}}\right)$$

$$A_{sc} = \left(\frac{0.0351}{0{,}77} - \frac{0{,}18 * 25}{0{,}9 * 1{,}5}\right)\left(\frac{1}{\frac{400}{1{,}15}}\right) = -0{,}009$$

Le béton est surabondant, la section d'acier minimale suffit

- Section d'acier minimale

$$A_{min} = \max\begin{cases} 4 * u \\ \frac{0{,}2B}{100} \end{cases} = \max\begin{cases} 4 * 2 * (0{,}2 + 1) = 10{,}6 \\ \frac{0{,}2B}{100} = \frac{0{,}2 * 20 * 100}{100} = 4 \end{cases}$$

$$A_{min}[cm^2] = 10{,}6$$

Nous choisirons 8 HA 14 totalisant une section de 12,36 cm² espacés de 13 cm comme acier principaux

	Désignation	Formule	Résultats
Piédroit intermédiaire	Effort normal	-	0,0351
	Section réduite	$B_r = ((a - 0{,}02) * (b - 0{,}02))$	0,18 m²
	Elancement	$\lambda = 3{,}5 * \frac{L_f}{a}$	8,75 < 50
	Coefficient d'élancement mécanique	$\alpha = \frac{0{,}85}{1 + 0{,}2\left(\frac{\lambda}{35}\right)^2}$	0,77
		Le coefficient est multiplié par un facteur correctif (1,10 pour 90 jours d'application)	
	Section d'aciers longitudinaux Espacement	$A_{sc} = \left(\frac{N_{ser}}{\alpha} - \frac{B_r * fc_{28}}{0{,}9\gamma_b}\right)\left(\frac{1}{\frac{f_e}{\gamma_s}}\right)$	-0,009
		Le béton est surabondant, la section d'acier minimale suffit	
	Section d'acier minimale	$A_{min} = \max\begin{cases} 4 * u \\ \frac{0{,}2B}{100} \end{cases}$	10,6 cm²
	Choix des aciers par nappe		5 HA 12
	Espacement	$st[\text{cm}] = \frac{(b_0 - (1 + n) + (enr * 2))}{n - 1}$	13 cm
	Acier de répartition	$A_{rp} = \frac{A_{st}}{4}$	5 HA 10

Illustration 31 : Détermination des sections d'aciers du piédroit intermédiaire

♣ Piédroits de rive (flexion composée avec effort de compression)

	Désignation	Formule	Résultats
Piédroits de rive	Effort normal Nser	-	154, 4KN
	Moment fléchissant Mser	-	24,6 kN.m
	Excentricité	$e = e_1 + e_a + e_2$	0,18 m
		La valeur de l'excentricité est supérieure à $\frac{h}{6} = 0{,}025$ donc la section est partiellement comprimée	
	Détermination du moment fictif	$M_{ser_{fictif}} = M_{ser} + N_{ser} * \left(d - \frac{h}{2}\right)$	36,95 KN.m
	Moment réduit du béton	$M_{serb}\ [MN.m] = \frac{1}{2} b_0 * d^2 * \bar{\sigma}_{bc} * \alpha_{ser} \left(1 - \frac{1}{3}\bar{\alpha}_{ser}\right)$	0,11 MN.m
		$M_{ser_{fictif}} = 0{,}034[MN.m] \leq M_{serb}$, il n'y a pas besoin d'aciers comprimés	
	Position de l'axe neutre	$z_{ser} = d * \left(1 - \frac{1}{3} * \alpha_{ser}\right) =$	0,15 m
	Section d'aciers fictif	$A_{st} = \frac{M_{ser}}{z_{ser} * \bar{\sigma}_{st}} [cm^2]$	8,15 cm²
	Section réelle d'acier	$A_s = A_{s_{fictif}} - \frac{N_{ser}}{\bar{\sigma}_{st}}$	7,74 cm²
	Choix des aciers par nappe		5 HA 10
	Espacement	$st[\text{cm}] = \frac{(b_0 - (1+n) + (enr * 2))}{n-1}$	25
	Acier de répartition	$A_{rp} = \frac{A_{st}}{4}$	5 HA 8

Illustration 32 : Détermination des sections d'aciers des piédroits de rive

Calcul des murs en ailes

Ils sont calculés comme des murs de soutènement destinés à reprendre les charges de remblai. Le mur de soutènement est généralement calculé sur 1 m de longueur. Un prédimensionnement est obligatoire afin de déterminer les dimensions des différents éléments du mur ainsi que les sections d'aciers.

a) Prédimensionnement

♣ Epaisseur du voile et de la semelle

$$e_0 = \frac{H}{12} = \frac{1{,}75}{12} = 0{,}145\ cm.$$

L'épaisseur sera considérée constante sur toute la hauteur du voile et de la semelle, nous allons considérer une épaisseur de 20 cm pour la tête de mur et du mur à la base généralement considérée pour les hauteurs inférieures à 6m ; pour la semelle elle est majorée de 15%, car elle ne remplit pas toujours les conditions de stabilité externe.

- ♣ Largeur du patin

La largeur du patin est comprise entre $\frac{H}{8} et \frac{H}{5}$ Nous aurons $a = 40\ cm$

- ♣ Largeur de la semelle

$$B = 0{,}20 + 0{,}45H = 0{,}20 + 0{,}45 * 2 = 110\ cm$$

- ♣ Largeur du talon

$$b = B - (a + e_0) = 50\ cm$$

b) Calcul des sollicitations

En dehors de toute action d'eau considérée favorable au mur de soutènement, différentes forces agissent sur lui. Les sollicitations sont liées à :

- ♣ Poids propre du mur

$$G_0[kN] = P_{p_{semelle}} + P_{voile}$$

$$G_0 = (0{,}20 * 1{,}10 * 25 * 1)(1{,}30 * 0{,}20 * 25 * 1) = 12\ [kN]$$

- ♣ Poids du remblai amont

$$G_1 = \gamma_{sol} * (H_r - e_0) * b = (20 * (1{,}75 - 0{,}20) * 0{,}5) = 15{,}5[kN]$$

- ♣ Poids propre à l'aval (considéré comme celui des gabions)

$$G_2 = \gamma_g * H_g * a *= (20 * 0{,}4 * 1) = 8[kN]$$

- ♣ Charge d'exploitation

$$Q = 10 * 0{,}2 * 1 = 2[kN]$$

- ♣ Poussée de terre due au remblai l'amont

$$P_G[kN] = k_a * \gamma_{sol} * (H - e_0)$$

$$P_G = 0{,}33 * 20 * (1{,}75 - 0{,}2) = 10{,}23[kN]$$

♣ Poussée de terre due à la charge d'exploitation sur le remblai amont

$$P_Q[kN] = k_a * q = 10 * 0{,}33 = 3{,}3[kN]$$

Le tableau ci-dessous résume les différentes valeurs des résultantes et des moments associés obtenus. Notons que le point A est situé à l'extrémité basse du patin.

Forces verticales [kN]		**Moments**	
Désignation	**Valeurs [kN]**	**Bras de levier [m]**	**Valeurs [kN.m]**
$G_{0'}$ (semelle)	5,5	0,55	3,025
$G_{0''}$ (voile)	6,5	0,5	3.25
G_1	15,5	0,85	13,175
G_2	8	0,2	1,6
Q	2	0.3	0,6
Résultante des forces verticales	37,5	**Moments engendrés par les forces verticales**	21,65
Forces horizontales [kN]		**Moments**	
P_G	10,23		
FG	8,95	0,59	5,28
P_Q	3.3		
FQ	2,9	0,875	2,53
Résultante des forces horizontales	10,85	**Moments engendrés par les forces horizontales**	7,82

c) Vérification de la stabilité du mur

Avant de calculer les différentes parties du mur, nous allons vérifier sa stabilité externe vis-à-vis de l'instabilité pouvant être induite par les différents efforts et ainsi éviter la ruine.

♣ Critère de résistance au renversement

Pour que le critère soit respecté, il faut que :

$$coefficient\ de\ sécurité\ au\ renversement = \frac{\sum Moments\ stabilisants}{\sum moments\ destabilisants} \geq 1{,}5$$

Les forces contribuant à stabiliser le mur sont essentiellement son poids propre les éléments de butée et le poids des terres exercées sur les éléments de la semelle. Les éléments déstabilisants sont quant à eux composés de la poussée de terre et de l'action de l'eau retenue dans les terres en amont.

$$coefficient\ de\ sécurité\ au\ renversement = \frac{21{,}65}{7{,}82} = 2{,}76 \geq 1{,}5$$

Le mur est donc stable au renversement

♣ Critère de résistance au glissement

Il sera question de comparer la force (T) sollicitant le glissement mur par rapport à celle (Fr) qui résiste au glissement de ce dernier. (T) représente la somme de toutes les forces horizontales qui s'appliquent sur le mur donc la composante horizontale de la résultante des forces et N la somme de toutes les forces verticales. Les forces conserveront leurs signes. On a donc :

$$\frac{F_r}{T} \geq 2\ avec\ F_r = (ab + N * \tan\delta) \begin{cases} a = adhérance\ (cohésion)\ sol \\ B = longueur\ semelle \\ \tan\delta\ (coefficient\ de\ frottement) \cong \frac{2}{3}\varphi \\ \varphi = angle\ de\ frottement\ interne\ du\ matériau \end{cases}$$

$$\frac{37{,}5 * \tan(\frac{2}{3} * 45°)}{10{,}85} \geq 2$$

Le non-glissement du mur en aile est vérifié

♣ Critère de résistance au poinçonnement

Il faudra vérifier que le sol a la capacité d'absorber les pressions que pourrait engendre le mur sous l'action des différentes charges. Cela permettra d'éviter l'enfoncement du mur.

La contrainte de référence résultant de l'ensemble des forces appliquées au mur doit être inférieure à la contrainte de service.

$$\sigma_{ref} \leq \sigma_{ser} = q_{ser} * e^{-\delta R}$$

- Détermination de la contrainte de référence

Calculons l'excentricité e_A

$$e_A = \frac{\sum M/_A}{R_v} = \frac{21{,}65 + 7{,}82}{37{,}5} = 0{,}785 \text{ m}$$

Calculons B/3

$$B/_3 = \frac{1{,}10}{3} = 0{,}37\ m$$

On a e_A > B/3, le diagramme est trapézoïdal (centre de pression situé dans le noyau central), la contrainte de référence est donnée par la formule :

$$\sigma_{ref}[kN/m^2] = \frac{5 * R_v}{2 * B}\left(1 - 1{,}2 * \frac{e_A}{B}\right)$$

$$\sigma_{ref} = \frac{5 * 29{,}47}{2 * 1{,}10}\left(1 - 1{,}2 * \frac{0{,}785}{1{,}10}\right) = 9{,}62[kN/m^2]$$

- Détermination de la contrainte de service

$$\sigma_{ser} = q_{ser} * e^{-\delta R}$$

$$\delta R = \tan^{-1}\left(\frac{R_h}{R_v}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{10{,}85}{37{,}5}\right) = 0{,}281 rad$$

$$\sigma_{ser} = 0{,}2 * e^{-0{,}281} = 0{,}151\ MPa = 151[kN/m^2]$$

$$\sigma_{ref} \leq \sigma_{ser}$$

La condition de non-poinçonnement du mur est vérifiée

d) Calcul de la semelle

♣ Section d'acier dans le patin

Le calcul des sections d'acier dans le patin est fait en tenant compte de la section critique S2 délimitant l'encastrement du patin sur le voile.

- Moment dans la section s2 du patin

$$M_{s2} = \frac{\sigma_{ref} * a * a}{2} = \frac{9{,}62 * 0{,}4^2}{2} = 0{,}78\ [kN.m]$$

- Moment résistant du béton

$$M_{serb}\ [MN.m] = \frac{1}{2} b_0 * d^2 * \bar{\sigma}_{bc} * \alpha_{ser} \left(1 - \frac{1}{3}\bar{\alpha}_{ser}\right)$$

$$M_{serb} = \frac{1}{2} * 1 * (0{,}9 * 0{,}20)^2 * 15 * 0{,}53 \left(1 - \frac{1}{3} * 0{,}53\right) = 0{,}11\ [MN.m]$$

Ms2< Mserb pas d'acier comprimé

- Section d'aciers

$$A_{st/_{S2}} = \frac{M_{s2}}{z_{ser} * \bar{\sigma}_{st}} = \frac{0{,}78 * 10}{(0{,}2 * 0{,}9) * \left(1 - \frac{0{,}53}{3}\right) * 201{,}63} = 0{,}257[cm^2] \leq Asmin$$

$$A_{st/_{S2}} = Asmin = 2{,}17\ cm^2$$

Nous choisirons des HA10 espacés de 20 cm

♣ Section d'acier dans le talon

Le calcul des sections d'acier dans le patin est fait en tenant compte de la section critique S3 délimitant l'encastrement du talon sur le voile.

- Moment dans la section S3 du talon

$$M_{s3} = \frac{(P_{pt} + q) * b * b}{2} - \frac{\sigma_{ref} * b'^2}{2} \quad avec\ b' = 2e_A - a - e_0 = 0{,}97\ m$$

$$M_{s3} = \frac{(20 * (1{,}75 - 0{,}2) + 10) * 0{,}5 * 0{,}5}{2} - \frac{9{,}62 * 0{,}97^2}{2} = 0{,}59[kN.m]$$

Ms3 < Mserb pas d'acier comprimé

$$A_{st/_{S3}} = \frac{M_{s3}}{z_{ser} * \bar{\sigma}_{st}} = \frac{0{,}59 * 10}{(0{,}2 * 0{,}9) * \left(1 - \frac{0{,}53}{3}\right) * 201{,}63} = 0{,}197[cm^2] \leq Asmin$$

Nous choisirons des HA10 espacés de 20 cm

e) Calcul du voile

Les charges exercées sur le voile sont liées à son poids propre et aux éléments de surcharge et de remblai de terre. Elles sont calculées à différentes hauteurs du voile avec

Le calcul des sections d'acier dans le voile est fait en tenant compte de la section critique S1 délimitant l'encastrement du voile sur la semelle et à différentes hauteurs du voile définies par les sections S4, S5 et S6.

- ♣ Détermination des charges

Section	S1 = h = 1,20	S6 = h/3	S5 = h/2	S4 = (2/3)h
N (P.P)	6	2	3	4
V (Poids terres)	4,75	0,528	1,18	2,11
Mh	2	0,1	0,24	0,57
V (surcharge)	3,96	1,32	1,98	2,64
Mg	2,38	0,264	0,594	1,06

- ♣ Détermination des excentricités

$$e_{ser} = \frac{Mser}{Nser}$$

$$e_{ser\ (s1)} = \frac{Mser}{Nser} = \frac{4{,}38}{6} = 0{,}73\ m$$

$$e_{ser\ (s6)} = \frac{Mser}{Nser} = \frac{0{,}364}{2} = 0{,}18\ m$$

$$e_{ser\ (s5)} = \frac{Mser}{Nser} = \frac{0{,}834}{3} = 0{,}278\ m$$

$$e_{ser\ (s4)} = \frac{Mser}{Nser} = \frac{1{,}63}{6} = 0{,}407\ m$$

Il faudra vérifier si la section est entièrement ou partiellement comprimée

- Si $e < \frac{h}{6}$ la section est entièrement comprimée ;
- Si $e > \frac{h}{6}$ la section est partiellement comprimée.

$$e = \frac{h}{6} = \frac{0{,}20}{6} = 0{,}033\ m$$

- ♣ Section d'acier dans le voile

- Si eser > 4h le calcul se fait en flexion simple ;
- Si eser < 4h le calcul se fait en flexion composée.

Dans notre cas le calcul se fait en flexion composée dans les différentes sections

- Détermination du moment fictif

$$M_{ser_{fictif}}[kN.m] = N_{ser} * \left[e_{ser} + \left(d - \frac{h}{2}\right)\right]$$

$$M_{ser_{fictif}}(\text{S1}) = 6 * [0{,}73 + (0{,}18 - 0{,}6)] = 1{,}86 < Mserb$$

$$M_{ser_{fictif}}(\text{S4}) = 4 * [0{,}407 + (0{,}18 - 0{,}4)] = 0{,}74 < Mserb$$

$$M_{ser_{fictif}}(\text{S5}) = 3 * [0{,}278 + (0{,}18 - 0{,}6)] = 0{,}474 < Mserb$$

$$M_{ser_{fictif}}(\text{S6}) = 2 * [0{,}18 + (0{,}18 - 0{,}2)] = 0{,}26 < Mserb$$

- Section d'acier

$$A_{st/_{S1}} = \frac{M_{s1}}{z_{ser} * \bar{\sigma}_{st}} = \frac{4{,}38 * 10}{(0{,}2 * 0{,}9) * \left(1 - \frac{0{,}53}{3}\right) * 201{,}63} = 1{,}46[cm^2] \leq Asmin$$

Nous prendrons des HA 10 pour toutes les sections critiques.

ANNEXE II : IMPACT ENVIRONNEMENTAL

		Composantes environnementales											
		Milieu physique				Milieu biologique		Milieu sociologique et économique					
Phases du projet		Sol	Air	Eau (surface)	Eau (souterraine)	Faune	Flore	Domaine éducatif	Santé	Cadre de vie	Démographie	Sécurité	Rentabilité
Préparation et construction	Etude préliminaire sur terrain	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Installation du chantier	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Terrassement	□	□	□	—	□	□	□	□	□	—	□	□
	Réalisation de travaux	□	□	□	—	□	□	□	□	□	—	□	□
Exploitation	Assainissement	■	■	■	—	■	■	■	■	■	■	■	■
	Sécurité routière	■	■	■	—	■	■	■	■	■	■	■	■
	Transport	■	■	■	—	■	■	■	■	■	■	■	■
	Caractère de l'impact : ■ Positif □ Négatif — Neutre												

Illustration 33 : Identification des impacts à travers la matrice de Léopold

Milieu récepteur	Type d'impact	Phase de projet	Intensité	Portée	Durée	Importance absolue
Paysage (relief et sols)	Dégradation du sol (érosion, excavation)	Travaux	Forte	Locale	Moyen terme	Moyen
	Déversement d'hydrocarbure	Travaux et exploitation	Moyenne	Locale	Moyen terme	Moyen
Qualité des ressources	Pollution de l'eau (déchets solides, liquides)	Travaux	Faible	Locale	Moyen terme	Moyen
	Pollution de l'air (CO_2, NO_2, poussière…)	Travaux	Forte	Régionale	Moyen terme	Majeur
	Nuisance sonore	Travaux	Forte	Locale	Moyen terme	Moyen
Faune et flore	Disparition d'espèces végétales et animales	Travaux	Faible	Locale	Court terme	Mineur
	Abattage d'arbres	Travaux	Moyenne	Locale	Court terme	Mineur
Sécurité et santé	Accident de travail	Travaux	Faible	Locale	Court terme	Mineur
	Réduction de poussière	Exploitation	Forte	Locale	Long terme	Majeur
Transport	Routes aménagées	Exploitation	Forte	Locale	Long terme	Majeur
	Sécurité routière	Exploitation	Forte	Locale	Long terme	Majeur
	Circulation fluide	Exploitation	Forte	Locale	Long terme	Majeur
	Zone assainie	Exploitation	Forte	Locale	Long terme	Majeur
Travail et éducation	Création d'emplois et d'entreprises	Exploitation	Moyenne	Régionale	Moyen terme	Moyen
	Facilitation d'accès à l'Université	Exploitation	Forte	Locale	Long terme	Majeur
Démographie	Perte parcellaire	Exploitation	Moyenne	Locale	Court terme	Mineur
	Modernisation de la zone	Exploitation	Forte	Locale	Long terme	Majeur
	Déplacement des populations	Travaux et exploitation	Faible	Locale	Court terme	Mineur
Economie	Valorisation de la zone	Exploitation	Forte	Locale	Long terme	Majeur
	Création de revenus	Exploitation	Forte	Locale	Long terme	Majeur
	Investissements supplémentaires	Exploitation	Forte	Locale	Long terme	Majeur

Illustration 34 : Evaluation des impacts à travers la matrice de Fecteau

		Activités	Cause des dommages	Personnes exposées	Risques identifiés	Fréquence	Gravité	Probabilité	Niveau de criticité	Mesures préventives
Phase de projet	Construction	Installation du chantier	Manipulation des engins, travaux manuels, exposition aux facteurs climatiques.	Manœuvres, Personnes riveraines.	Blessures Maladies Mort	**1**	**2**	**2**	**4**	Recrutement de personnes formées et qualifiées, utilisation d'équipement de protection, mise en place d'un périmètre de sécurité et d'accès restreint, présence d'équipes médicales équipées.
		Recrutement	Contrôle difficile et augmentation de la population	Riverains, manœuvres	Propagation des (IST, VIH…), bagarres, mort	**3**	**3**	**3**	**27**	Campagnes de sensibilisations, dépistages et distributions de préservatifs, sécuriser la zone lors des recrutements.
		Stockage des matériaux	Chute et transport des matériaux, mauvaise manipulation	Manœuvres, contrôleurs	Blessures, Mort	**2**	**3**	**2**	**12**	Utilisation des équipements de protection, contrôle des procédures à suivre, présence d'équipe médicale d'urgence.
		Terrassement	Manipulation des engins, Travaux manuels, Exposition aux facteurs climatiques.	Manœuvres, Topographes employés de la zone, passants.	Blessures Incendie Brulures Maladies Mort	**1**	**3**	**2**	**6**	Recrutement de personnes formées et qualifiées, utilisation d'équipement de protection, mise en place d'un périmètre de sécurité, balisage de la zone, présence d'équipes médicales équipées, mettre en place une politique d'hygiène.
		Réalisation des travaux	Manipulation des engins, Travaux manuels, Exposition aux facteurs climatiques et aux matières premières	Manœuvres, employés de la zone, passants, riverains	Blessures Incendies Brulures Maladies Noyade	**2**	**3**	**3**	**18**	Recrutement de personnes formées et qualifiées, utilisation d'équipement de protection, mise en place d'un périmètre de sécurité, balisage de la zone, présence d'équipes médicales équipées, mettre en place une politique d'hygiène.

	Exploitation	Transport	Non-respect des limites de vitesse, de la signalisation …	Employés de la zone, passants, riverains	Accidents, blessures, Mort	**2**	**3**	**2**	**12**	Organiser des campagnes de sensibilisation sur les dangers, équiper les routes de feux tricolores, de ralentisseurs et de panneaux de signalisation.
		Assainissement	Franchissement des ouvrages hydrauliques	Employés de la zone, passants, riverains	Accidents, maladies blessures, Mort	**1**	**3**	**2**	**6**	Utiliser des dispositifs de sécurité pour les grands ouvrages utilisation de panneaux de signalisation, sensibiliser les populations sur les aspects hygiéniques.
		Electricité	Manipulation des candélabres et des lignes sous tension	Manœuvres, riverains	Électrocutassions , blessures, mort	**1**	**3**	**2**	**6**	Utilisation d'équipement de protection lors des travaux, barrières de sécurité, extincteurs ;
		Entretien de la route et des ouvrages connexes	Equipements servant aux travaux de maintenance, exposition aux matières premières	Maintenanciers population riveraine, passant	Blessures, Mort	**1**	**3**	**2**	**6**	Former le personnel aux bonnes conduites à suivre lors des travaux, utiliser les matériaux de protection, définir une zone d'accès limité
		♣ Fréquence : (1) faible (2) Moyen (3) Forte ♣ Gravité : (1) Pas grave (2) Grave (3) Très grave ♣ Probabilité : (1) Jamais (2) Parfois (3) Toujours								

Illustration 35 : Synthèse du plan de gestion de risques (PGR)

Composante environnementale	Disposition à prendre	Mesures d'atténuation et de bonification
Milieu physique	♣ Pour une bonne qualité de l'air	♣ Arrosage régulier et complet de la plateforme pour réduire le taux de particules fines et entretien régulier des engins
	♣ Pour réduire les émissions sonores	♣ Fixer les heures de travaux en tenant compte des habitudes citoyennes
	♣ Pour la protection des eaux de surface	♣ Sensibilisation sur les règles de conduites et de pratiques à tenir pour éviter la contamination des eaux de surface
	♣ Protection du sol	♣ Système d'assainissement adéquat,
Milieu biologique	♣ Protéger la faune et la flore	♣ Bonifier par la plantation d'arbres pour chaque plant cassé ♣ Créer des parcs aux alentours pour permettre la migration et la reproduction des espèces qu'on ne retrouve plus
Milieu socio-économique	♣ Pour compenser les activités bien affectées	♣ Les personnes dont les secteurs d'activités seront affectés devront être dédommagées avant toute procédure de libération de l'emprise de la route ♣ Indemniser les personnes ayant perdu les biens parcellaires à la hauteur de leur perte ♣ L'aspect social devra prendre en compte la rénovation de certaines infrastructures publiques (salle de classe, toilette publique…)
	♣ Garantir la sécurité et la santé	♣ Sensibiliser les populations contre les IST/ SIDA et infections respiratoires, le paludisme … ♣ Distribution de préservatif pour éviter les grosses non désirées et les maladies ♣ Port de cache-nez et d'EPI permanent pour les travailleurs
	♣ La création d'emploi	♣ Recrutement du personnel local ♣ Intégration des femmes dans les postes à responsabilité

Illustration 36 : Synthèse du plan de Gestion environnemental et social (PGES) :

ANNEXE III : ESTIMATION FINANCIERE DETAILLEE DU PROJET

Illustration 37 : Devis estimatif du coût global de réalisation de la VP4

ESTIMATION TARIFAIRE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA VOIE PRINCIPALE D'ACCES A LA ZONE INDUSTRIELLE DE KOSSODO (VP4) OUAGADOUGOU/ BURKINA FASO					
N° Prix	Désignation	U	Qté	Prix unitaire	Prix total
000	INSTALLATION GENERALE DU CHANTIER				
001	Installation / Amenée et repli de matériel	ft	1	50 000 000	50 000 000
002	Elaboration du dossier de récolement	ft	1	25 000 000	25 000 000
003	Elaboration du plan d'assurance-qualité	ft	1	15 000 000	15 000 000
004	Elaboration du PGES	ft	1	15 000 000	15 000 000
005	Elaboration du dossier d'exécution	ft	1	25 000 000	25 000 000
	Sous-total 000				130 000 000
100	TRAVAUX PREPARATOIRES				
101	Installation / Amenée et repli de matériel	U	20	38 350	767 000
102	Création de déviation	km	1	2 000 000	2 000 000
105	Débroussaillage de l'emprise	m^2	18080	300	5 424 000
108	Démolition d'ouvrage en béton armé	m^3	8.4	49 000	411 600

114	Entretien mensuel des déviations	Km/mois	12	1 083 350	13 000 200
	Sous-total 100				21 602 800
200	TERRASSEMENT				
204	Purge et remplacement des matériaux de mauvaise qualité	m^3	17402	15 500	269 731 000
206	Mise en forme, réglage, compactage	m^2	64636	450	29 086 200
	Sous-total 200				298 817 200
300	CHAUSSEE ET REVETEMENT				
301	Fourniture et mise en œuvre de la couche de roulement en BAC	ft	1	3 145 094 211	3 145 094 211
313	Fourniture et mise en œuvre de géotextile	m^2	49720	4 000	198 880 000
314	Fourniture et mise en œuvre de la couche d'assise en BC3	ft	1	822 729 600	822 729 600
344	Fourniture et pose de bordure T2	ml	6780	21 100	143 058 000
	Sous-total 300				4 309 761 811
400	ASSAINISSEMENT				
406	Béton de propreté	m^3	135.6	77 500	10 509 000
413	Caniveau en béton armé de section hydraulique 80 x 80 cm	ml	2260	223 592	505 317 920

414	Dallettes en béton armé pour caniveau de section hydraulique 80 x 80 cm	ml	2260	69 068	156 093 680
477	Dalot (2 X 2 X 1)	ft	1	26 487 200	26 487 200
	Sous-total 400				698 407 800
600	ENVIRONNEMENT				
601	Aménagement d'espace vert	ft	1	10 000 000	10 000 000
602	Information, éducation, communication	ft	1	20 000 000	20 000 000
604	Plantation d'arbres, protection et entretien	U	60	9 000	540 000
605	Réalisation de forage positifs à motricité humaine	U	1	5 500 000	5 500 000
606	Remise en état des zones d'emprunts de matériaux, carrières et aires de stockage	ft	1	6 750 000	6 750 000
477	Sensibiliser contre les IST, VIH/ SIDA, l'hygiène et la sécurité routière	U	1	20 000 000	20 000 000
	Sous-total 600				62 790 000
	TOTAL DES TRAVAUX HT				**5 521 379 611**

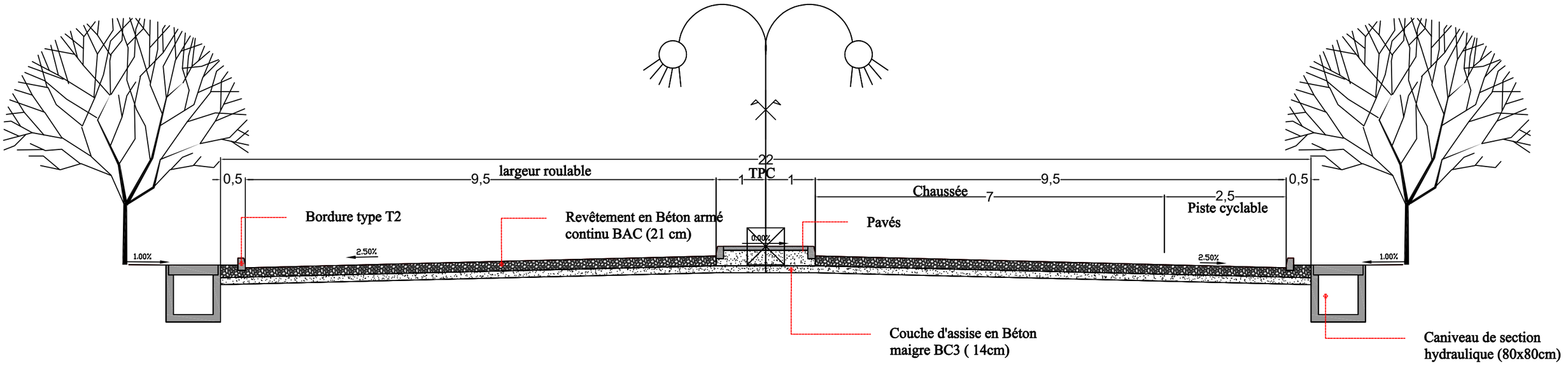
ANNEXE IV : PLANS D'EXECUTION

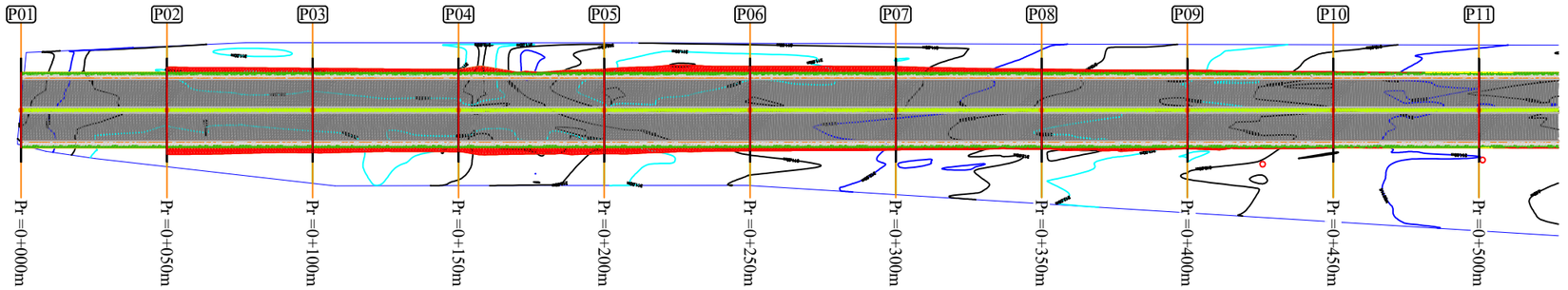
Profil en travers type et tracé combiné

Plan de caniveau : (80 x 80 cm)

Plan dalot : (2 x 2 x 1)

Profil en travers type VP4 Kossodo





Echelle en X : 1/2000

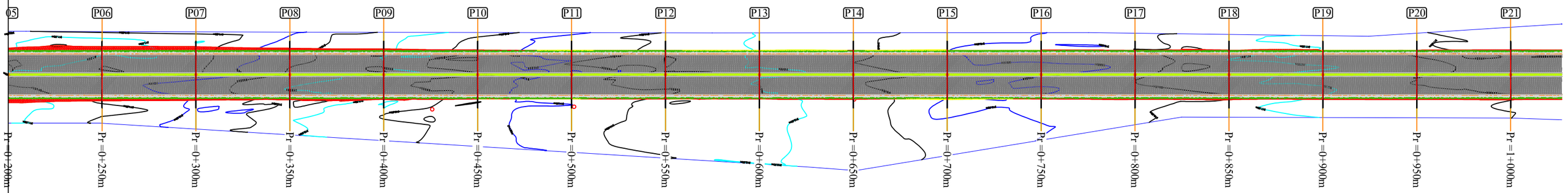
Echelle en Y : 1/200

Profil déssiné par: MOUSSA A.A Souleymane

Plan de Comparaison (PC): 305.00 m

Numéro de profils en travers	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11
Altitudes TN	312.57	311.22	311.17	311.42	311.51	311.48	311.44	312.57	312.76	313.41	314.08
	0+000	0+050	0+100	0+150	0+200	0+250	0+300	0+350	0+400	0+450	0+500
Altitudes Projet	313.00	312.68	312.45	312.36	312.23	312.34	312.42	312.63	312.82	312.94	313.07	313.35	313.78	314.20	314.48	314.62	314.76
Ecarts Projet - TN	0.43	1.46	1.31	1.19	0.80	0.83	0.96	1.15	1.28	1.49	1.23	0.78	1.02	0.79	0.56	0.54	0.53
Abcisses	0+000	0+050	0+085	0+100	0+150	0+200	0+215	0+250	0+282	0+300	0+318	0+350	0+400	0+450	0+482	0+500	0+518
Distances partielles		50.00	34.89	15.11	50.00	50.00	15.11	34.89	32.46	17.54	17.54	32.46	50.00	50.00	32.41	17.59	17.59
Pentes et rampes		PENTE L = 84.89 m P = -0.65 %		RP = 10420.28 L = 130.21			RAMPE L = 67.35 m P = 0.60 %		RP = 14032.03 L = 35.08		RAMPE L = 164.87 m P = 0.85 %				RP = -35186.18 L = 35.19		
Alignements droits et courbes																	
Dévers Gauche	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Dévers Droit	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50
Graphique des dévers	2.50 % 0.00 % -2.50 %																

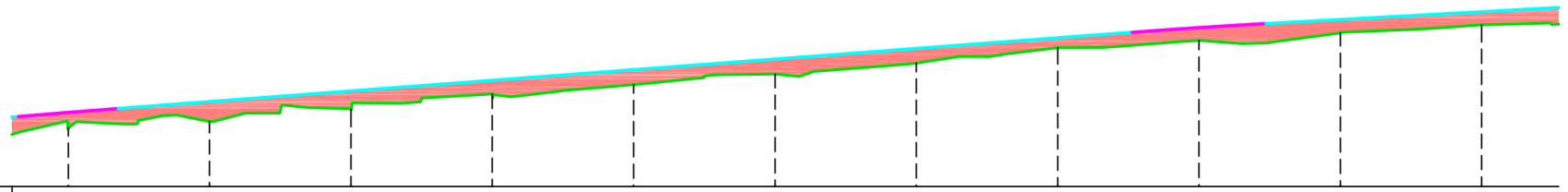
Date : 26/03/2026



Echelle en X : 1/2000

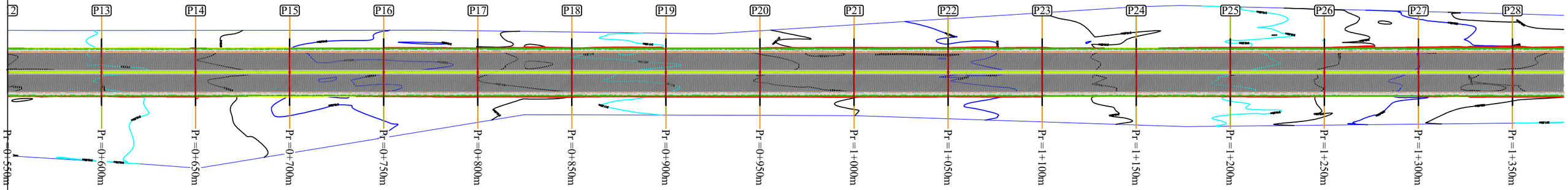
Echelle en Y : 1/200

Profil déssiné par: MOUSSA A.A Souleymane



Plan de Comparaison (PC): 302.00 m

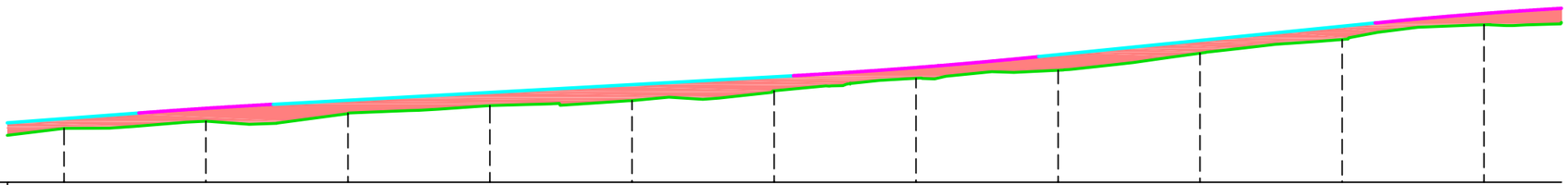
| | | |



Echelle en X : 1/2000

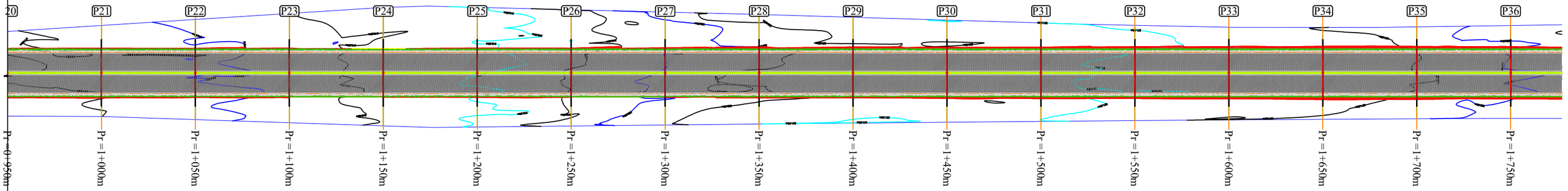
Echelle en Y : 1/200

Profil déssiné par: MOUSSA A.A Souleymane



Plan de Comparaison (PC): 305.00 m

| | | |



Echelle en X : 1/2000

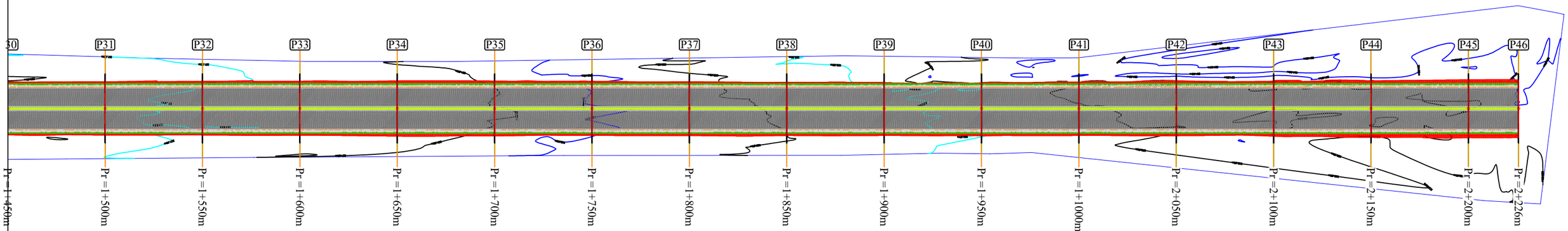
Echelle en Y : 1/200

Profil déssiné par: MOUSSA A.A Souleymane



Plan de Comparaison (PC): 308.00 m

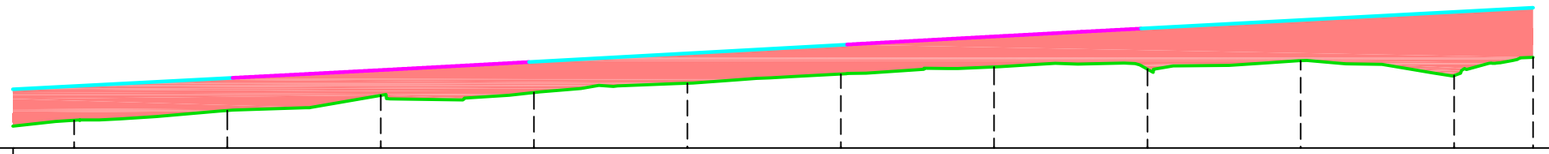
| | | |



Echelle en X : 1/2000

Echelle en Y : 1/200

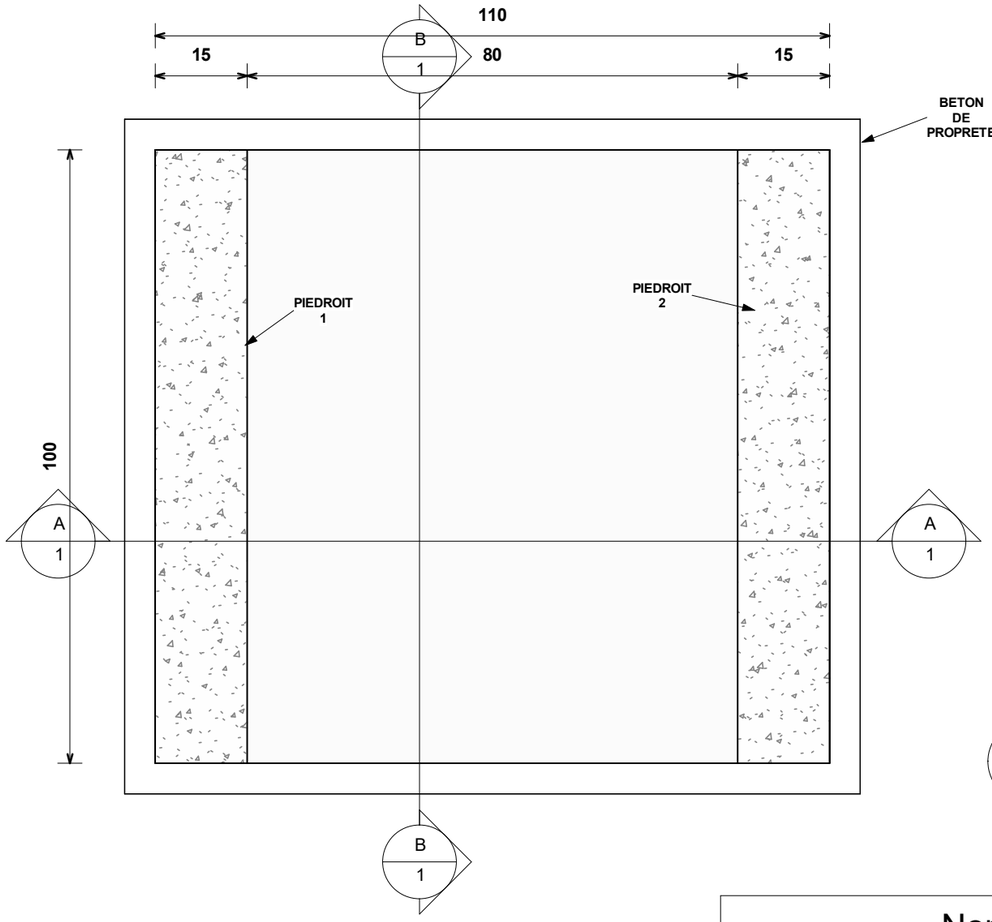
Profil déssiné par: MOUSSA A.A Souleymane

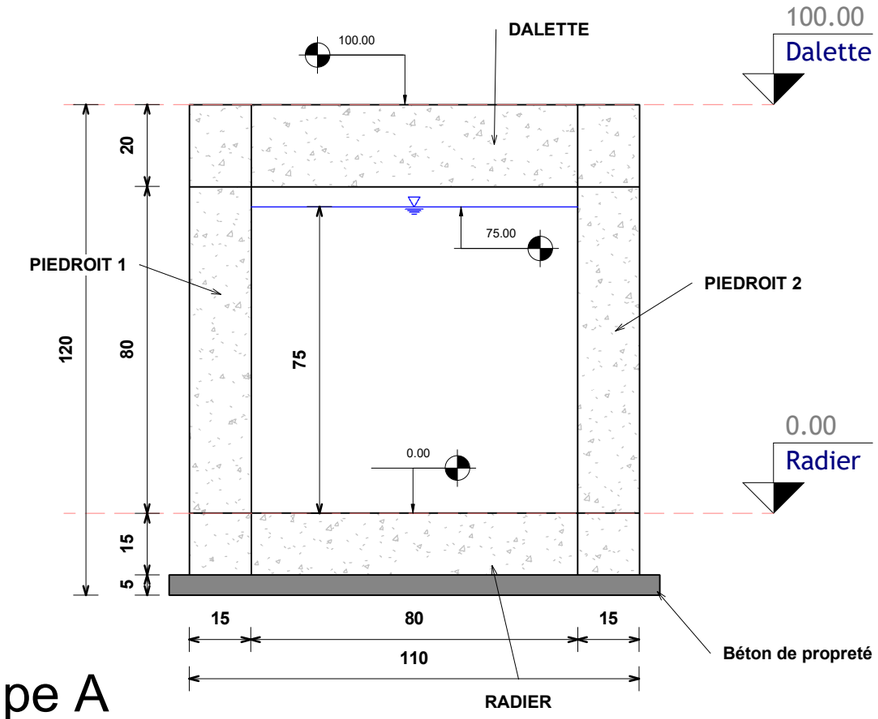


Plan de Comparaison (PC): 305.00 m

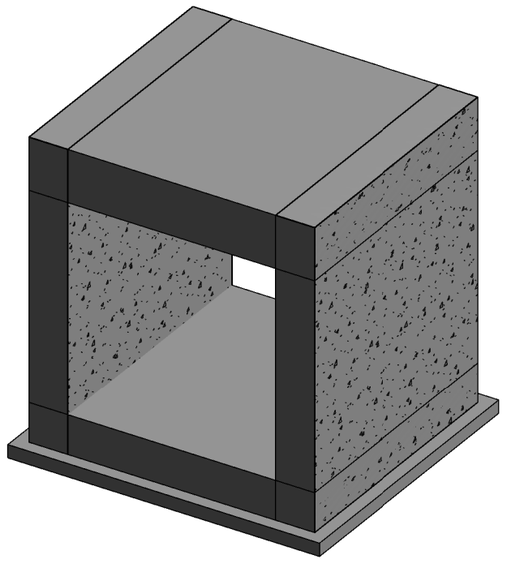
Numéro de profils en travers	P36	P37	P38	P39	P40	P41	P42	P43	P44	P45	P46
Altitudes TN	321.91	322.23	322.73	322.82	323.12	323.42	323.65	323.58	323.86	323.37	323.97
	1+750	1+800	1+850	1+900	1+950	1+1000	2+050	2+100	2+150	2+200	2+226
Altitudes Projet	323.03	323.29	323.55	323.81	324.10	324.37	324.64	324.90	325.18	325.44	325.58
Ecarts Projet - TN	1.12	1.06	0.82	1.01	0.98	0.95	0.99	1.21	1.32	2.08	
Abcisses	1+750	1+800	1+850	1+898	1+950	1+1000	2+050	2+098	2+150	2+200	2+226
Distances partielles	0	50.00	50.00	48.35	51.65	50.00	50.00	47.95	52.05	50.00	25.75
Pentes et rampes			RP = 276283.34 L = 96.70		RAMPE L = 103.70 m P = 0.55 %			RP = -537184.07 L = 95.90		RAMPE L = 127.80 m P = 0.53 %	
Alignements droits et courbes											
Dévers Gauche	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Dévers Droit	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50
Graphique des dévers											

Date : 26/03/2026



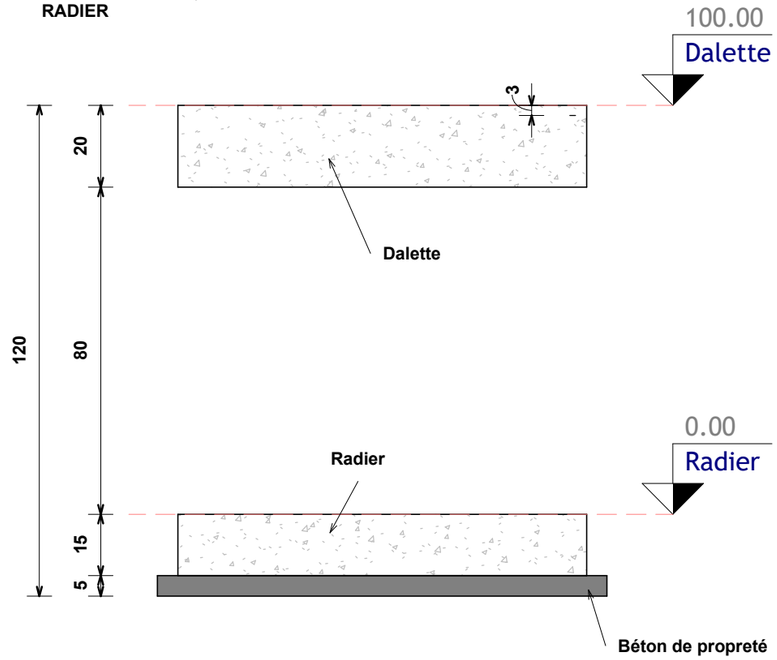


A Coupe A
1 : 15



Nomenclature des sols		
Identifiant	Surface	Volume
BETON DE PROPRETE	1 m²	0.07 m³
DALETTE	1 m²	0.22 m³
RADIER	1 m²	0.17 m³

Nomenclature de mur		
Type	Surface	Volume
Piédroit 1	1 m²	0.17 m³
Piédroit 2	1 m²	0.17 m³



B Coupe B
1 : 15

Nom du projet :
ETUDE DETAILLEE DES TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE LA VOIE PRINCIPALE D'ACCES A LA ZONE INDUSTRIELLE DE KOSSODO EMBRANCHEMENT RN3-CIMAF

Nom de la feuille :
PLANS DE COFFRAGE

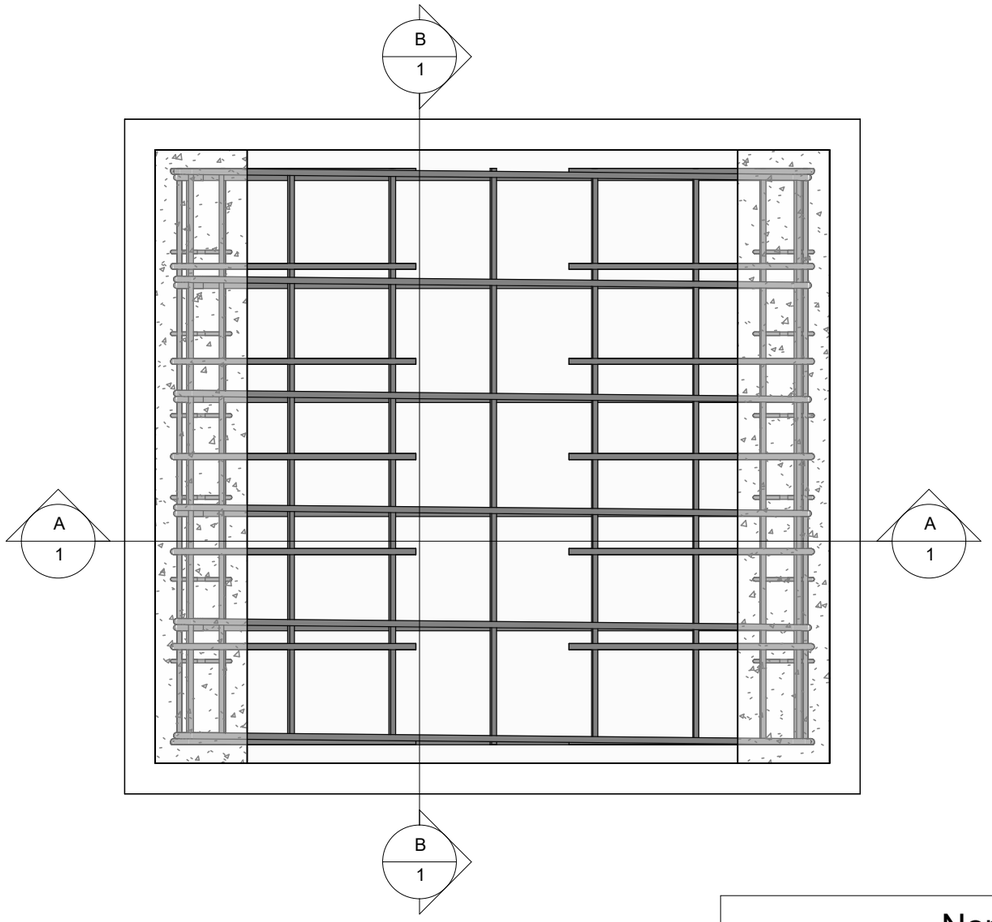
Page : 1

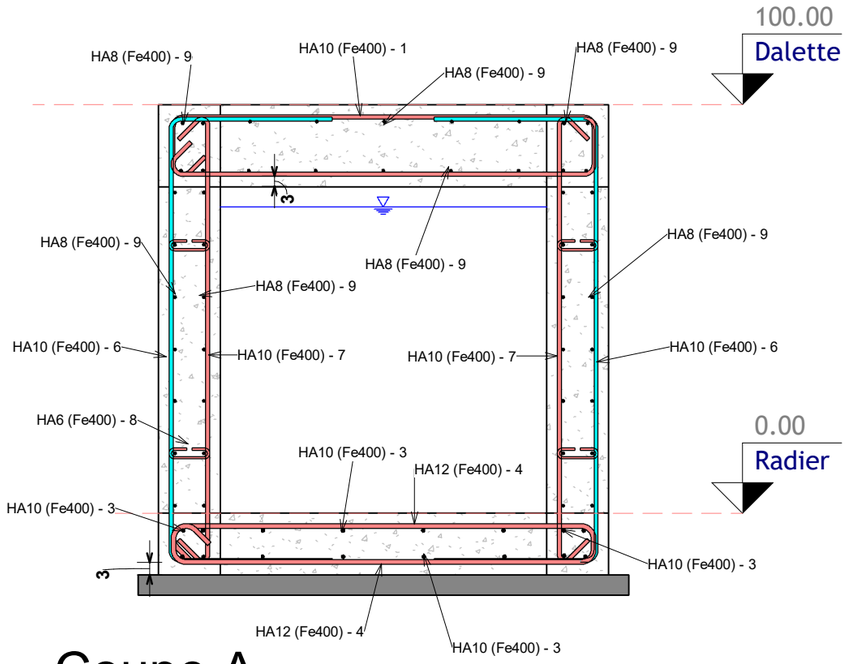
Format : A3

Echelle : Comme indiqué

Bureau d'études structure :
05 BP 6161Ouagadougou - Burkina Faso, Ouagadougou, Burkina Faso
(+226) 25 43 12 37
TCONSULT

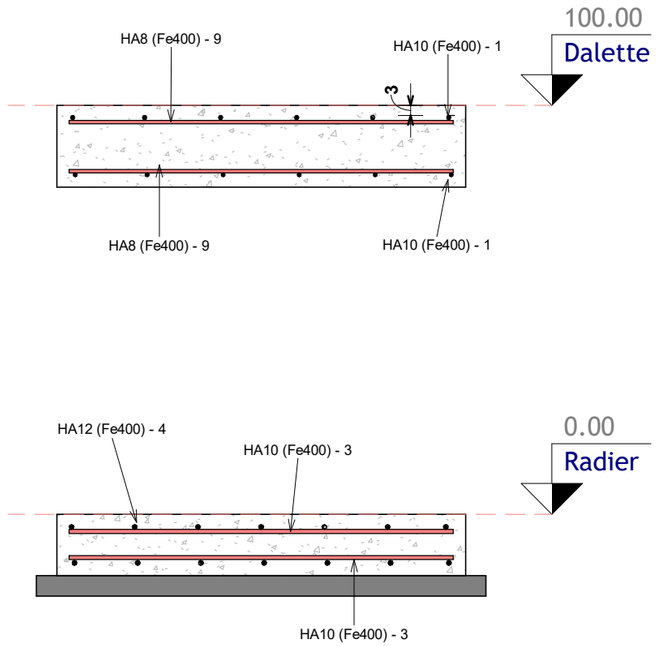
12/05/2026 17:29:01





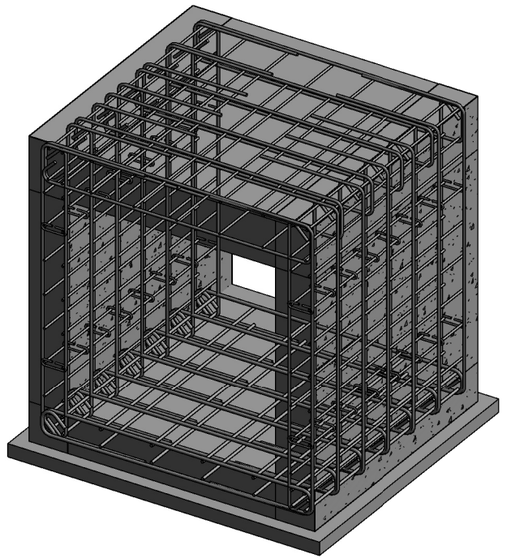
A **Coupe A**

1 : 15



B **Coupe B**

1 : 15



Nomenclature des sols		
Identifiant	Surface	Volume
BETON DE PROPRETE	1 m²	0.07 m³
DALETTE	1 m²	0.22 m³
RADIER	1 m²	0.17 m³

Nomenclature de mur		
Type	Surface	Volume
Piédroit 1	1 m²	0.17 m³
Piédroit 2	1 m²	0.17 m³

Nom du projet :

ETUDE DETAILLEE DES TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE LA VOIE PRINCIPALE D'ACCES A LA ZONE INDUSTRIELLE DE KOSSODO EMBRANCHEMENT RN3-CIMAF

Nom de la feuille :

PLANS DE FERRAILLAGE

Page : 2

Format : A3

Echelle : Comme indiqué

Bureau d'études structure :

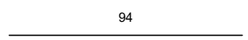
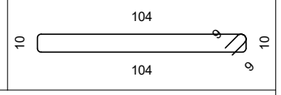
05 BP 6161Ouagadougou - Burkina Faso, Ouagadougou, Burkina Faso

(+226) 25 43 12 37

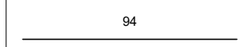
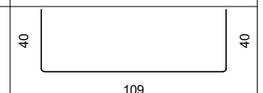
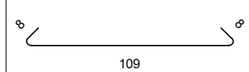
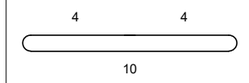
TCONSULT

12/05/2026 17:24:30

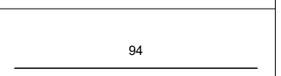
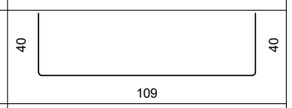
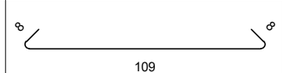
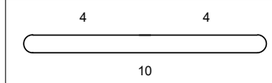
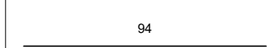
RADIER

N°	Type	Nbre	Ø	Long.[m]	L. totale [m]	Poids[kg]	Esp.[cm]	Schéma de façonnage [cm]
3	HA10 (Fe400)	8	10	0.94	7.52	4.64	20	
4	HA12 (Fe400)	7	12	2.37	16.59	14.73	17	
Total général		15			24.11	19.37		

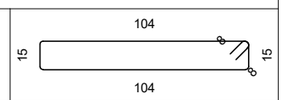
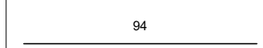
PIEDROIT 1

N°	Type	Nbre	Ø	Long.[m]	L. totale [m]	Poids[kg]	Esp.[cm]	Schéma de façonnage [cm]
3	HA10 (Fe400)	7	10	0.94	6.58	4.06		
6	HA10 (Fe400)	7	10	1.85	12.95	7.98	17	
7	HA10 (Fe400)	7	10	1.25	8.75	5.39	17	
8	HA6 (Fe400)	16	6	0.20	3.20	0.71	15	
9	HA8 (Fe400)	16	8	0.94	15.04	5.93	15	
Total général		53			46.52	24.08		

PIEDROIT 2

N°	Type	Nbre	Ø	Long.[m]	L. totale [m]	Poids[kg]	Esp.[cm]	Schéma de façonnage [cm]
3	HA10 (Fe400)	1	10	0.94	0.94	0.58		
6	HA10 (Fe400)	7	10	1.85	12.95	7.98	17	
7	HA10 (Fe400)	7	10	1.25	8.75	5.39	17	
8	HA6 (Fe400)	16	6	0.20	3.20	0.71	15	
9	HA8 (Fe400)	16	8	0.94	15.04	5.93	15	
Total général		47			40.88	20.60		

DALETTE

N°	Type	Nbre	Ø	Long.[m]	L. totale [m]	Poids[kg]	Esp.[cm]	Schéma de façonnage [cm]
1	HA10 (Fe400)	6	10	2.48	14.88	9.17	20	
9	HA8 (Fe400)	14	8	0.94	13.16	5.19	17	
Total général		20			28.04	14.37		

Nom du projet :

ETUDE DETAILLEE DES TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE LA VOIE PRINCIPALE D'ACCES A LA ZONE INDUSTRIELLE DE KOSSODO EMBRANCHEMENT RN3-CIMAF

Nom de la feuille :

NOMENCLATURES BARRES ACIERS

Page : 3

Format : A3

Echelle :

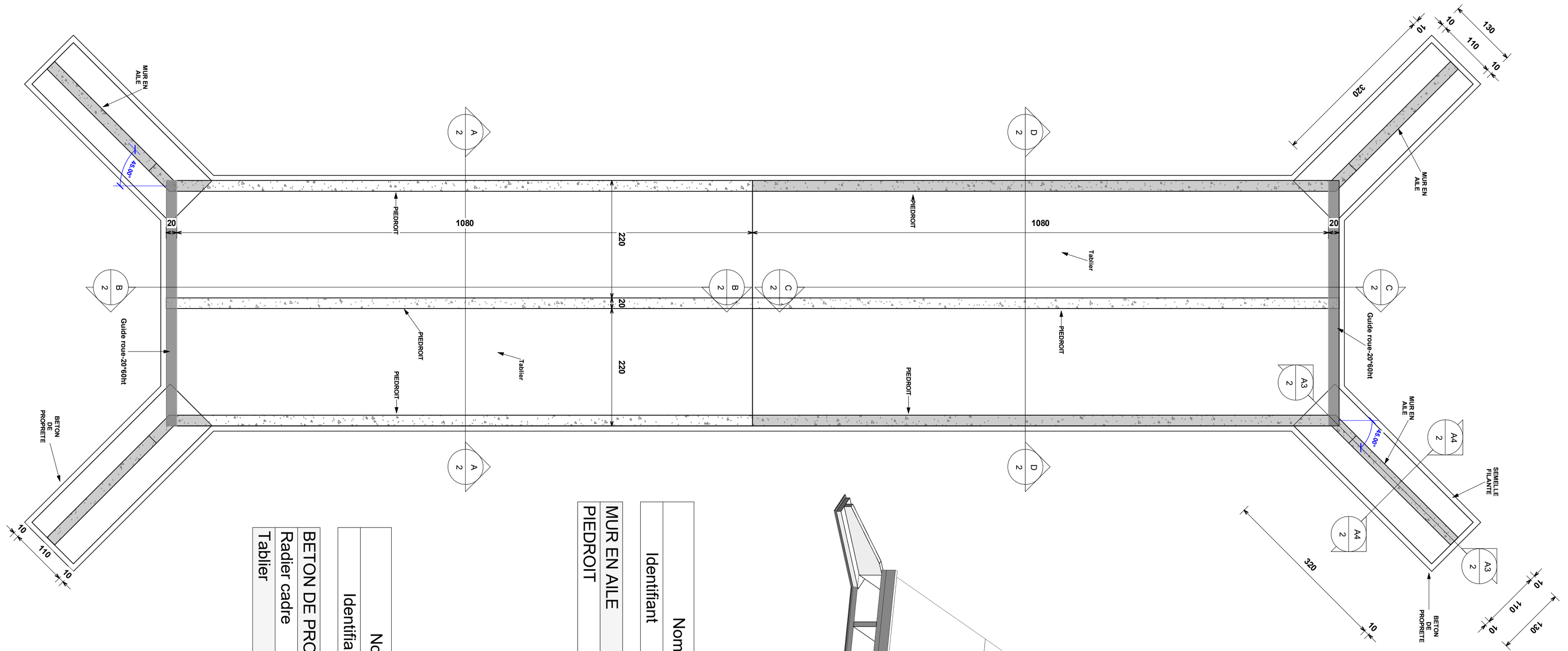
Bureau d'études structure :

05 BP 6161Ouagadougou - Burkina Faso, Ouagadougou, Burkina Faso

(+226) 25 43 12 37

TCONSULT

12/05/2026 17:30:53



Nomenclature des sols

Identifiant	Surface	Volume
BETON DE PROPRETE	124 m²	6.20 m³
Radier cadre	51 m²	10.12 m³
Tablier	51 m²	10.12 m³

Nomenclature de mur

Identifiant	Surface	Volume
MUR EN AILE	9 m²	1.70 m³
PIEDROIT	67 m²	13.23 m³

Nom du projet :	ETUDE DETAILLEE DES TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE LA VOIE PRINCIPALE D'ACCES A LA ZONE INDUSTRIELLE DE KOSSODO EMBRANCHEMENT RN3-CIMAF
Nom de la feuille :	VUE EN PLAN
Page :	1
Format :	A2
Echelle :	1 : 55

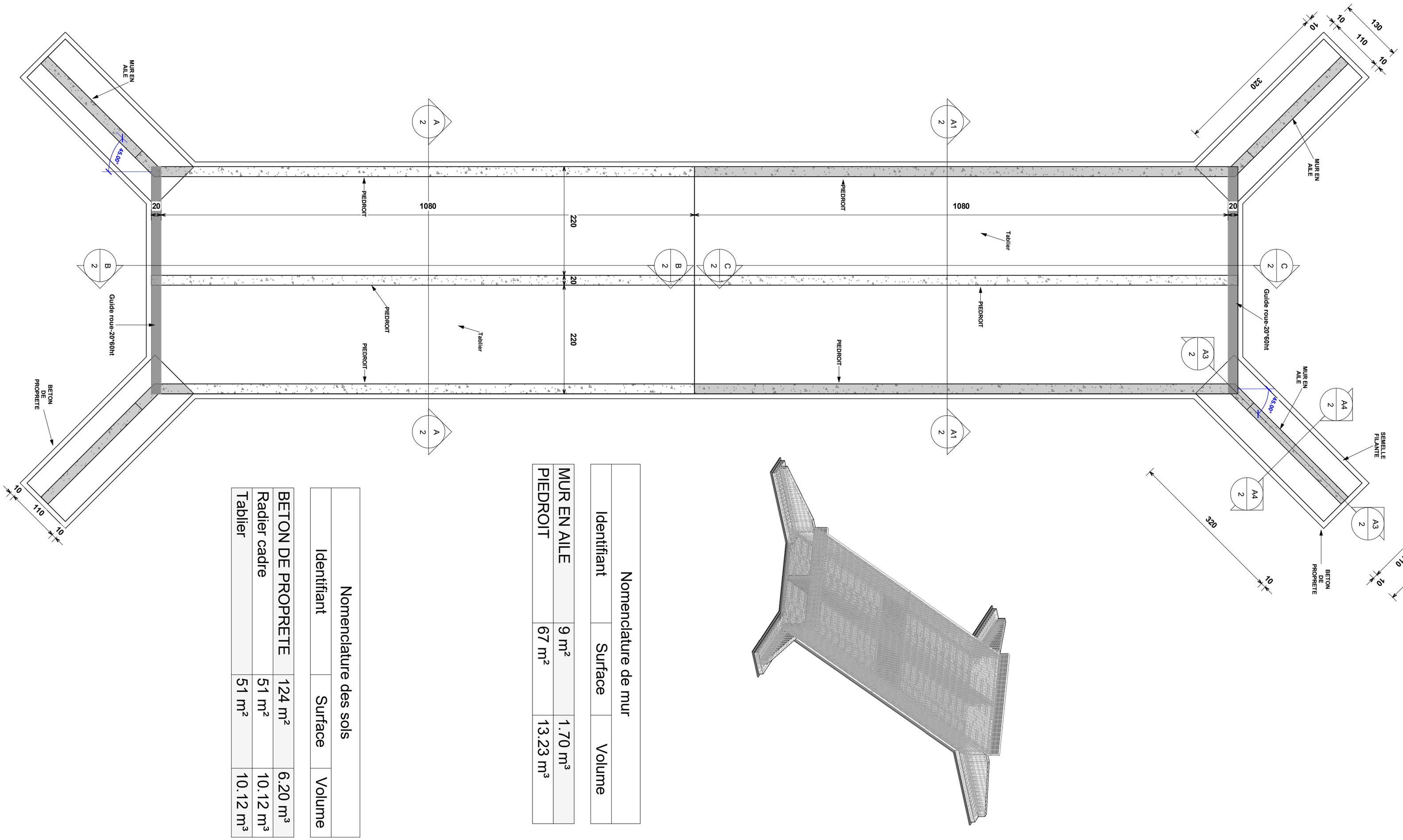
Bureau d'études structure :

05 BP 6161Ouagadougou - Burkina Faso, Ouagadougou, Burkina Faso

(+226) 25 43 12 37

TCONSULT

22/06/2026 11:28:05

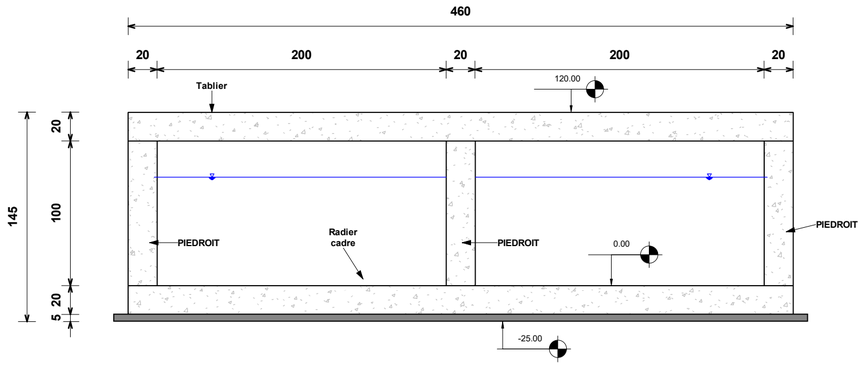


Nomenclature des sols		
Identifiant	Surface	Volume
BETON DE PROPRETE	124 m²	6.20 m³
Radier cadre	51 m²	10.12 m³
Tablier	51 m²	10.12 m³

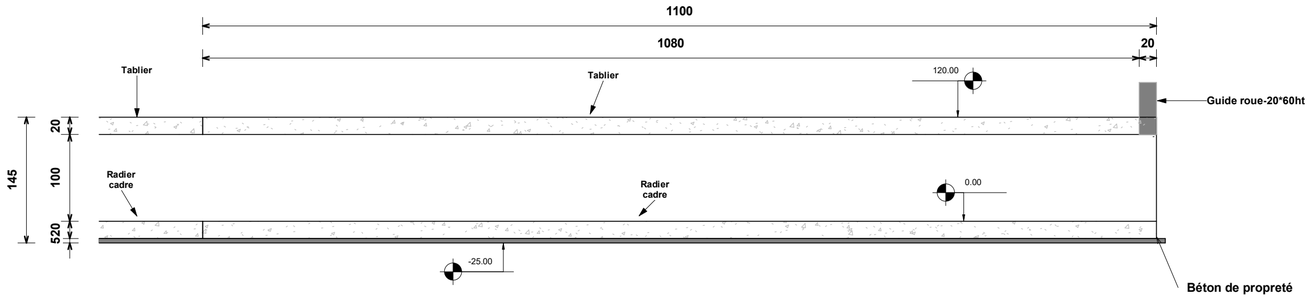
Nomenclature de mur		
Identifiant	Surface	Volume
MUR EN AILE	9 m²	1.70 m³
PIEDROIT	67 m²	13.23 m³

Nom du projet : ETUDE DETAILLEE DES TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE LA VOIE PRINCIPALE D'ACCES A LA ZONE INDUSTRIELLE DE KOSSODO EMBRANCHEMENT RN3-CIMAF	**Nom de la feuille :** VUE EN PLAN	**Page :** 2	**Format :** A2	**Echelle :** 1 : 55	**Bureau d'études structure :** 05 BP 6161Ouagadougou - Burkina Faso, Ouagadougou, Burkina Faso (+226) 25 43 12 37 TCONSULT

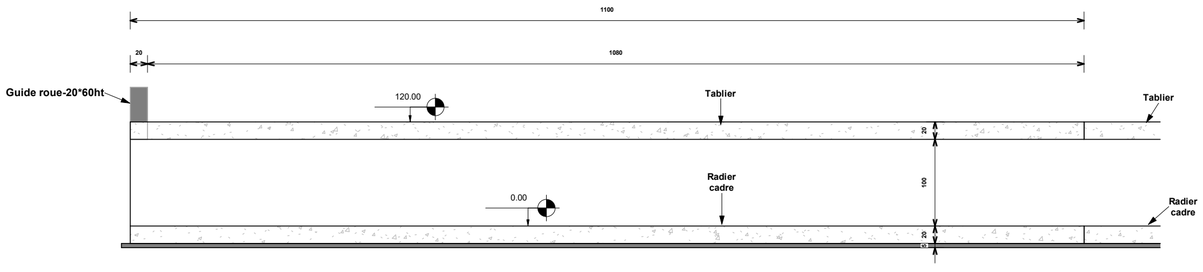
22/06/2026 11:35:06



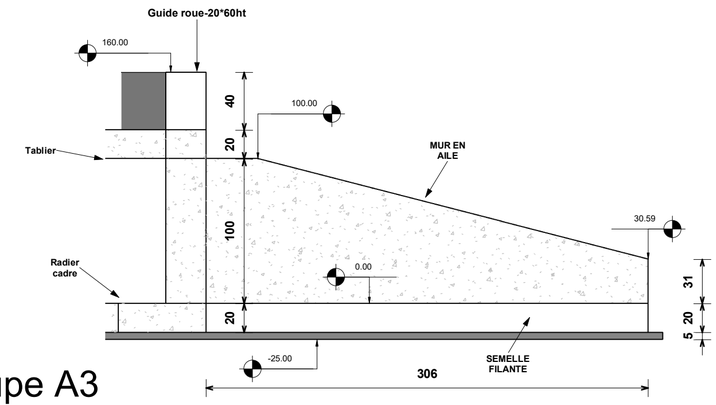
A Coupe A
1 : 30



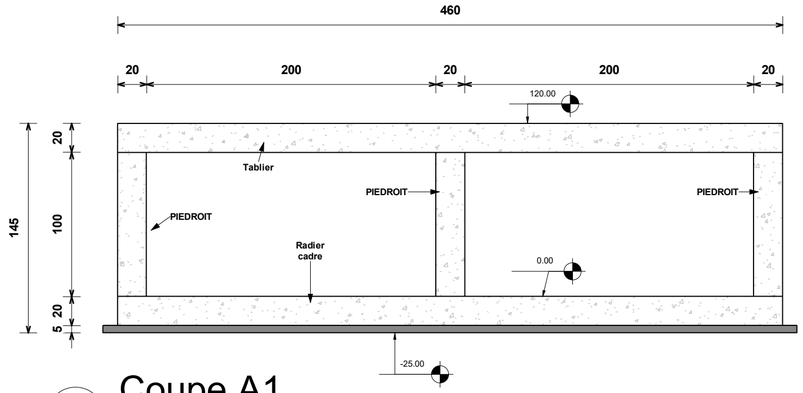
B Coupe B
1 : 50



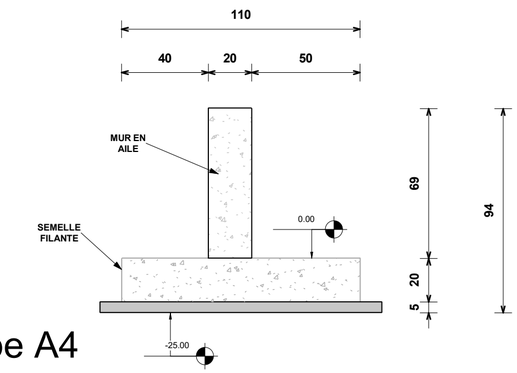
C Coupe B2
1 : 50



A3 Coupe A3
1 : 30



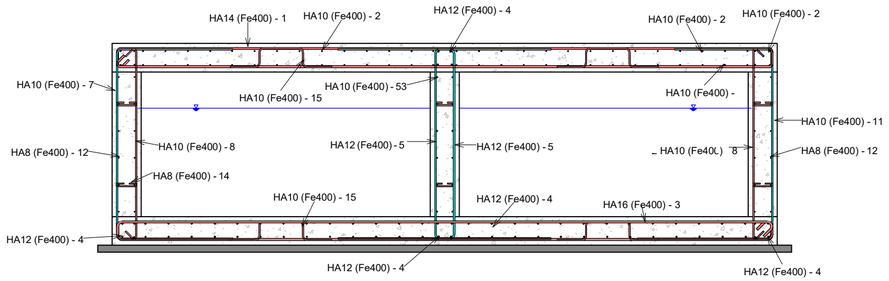
D Coupe A1
1 : 30



A4 Coupe A4
1 : 20

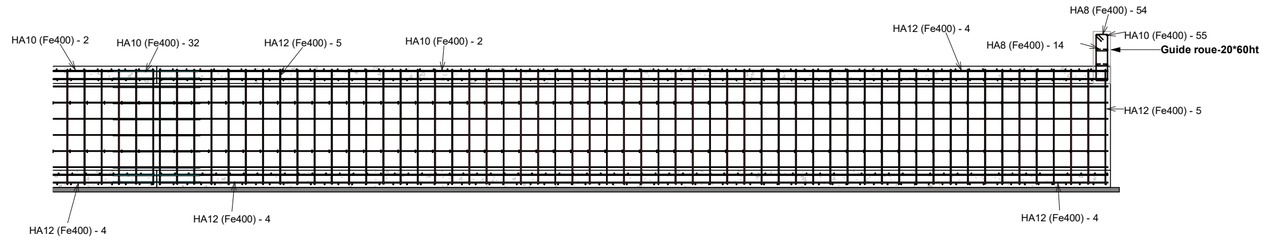
Nom du projet : **ETUDE DETAILLEE DES TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE LA VOIE PRINCIPALE D'ACCES A LA ZONE INDUSTRIELLE DE KOSSODO EMBRANCHEMENT RN3-CIMAF**	**Nom de la feuille :** **COUPES**	**Page :** 3	**Format :** **A2**	**Echelle :** **Comme indiqué**	**Bureau d'études structure :** 05 BP 6161Ouagadougou - Burkina Faso, Ouagadougou, Burkina Faso (+226) 25 43 12 37 TCONSULT

22/06/2026 11:32:31



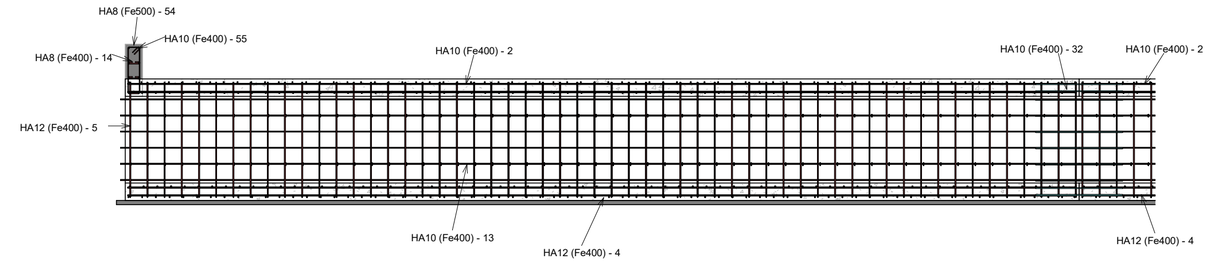
A Coupe A

1 : 30



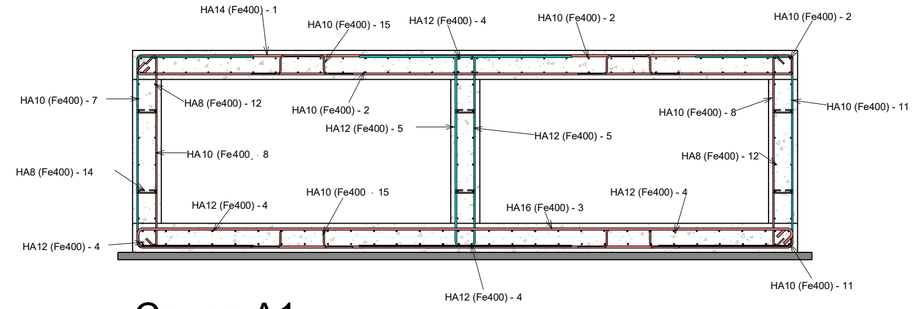
B Coupe B

1 : 50



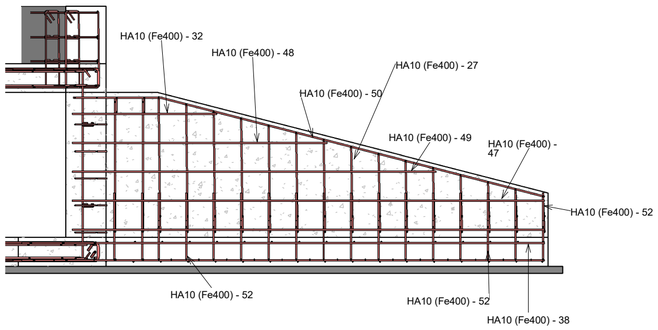
C Coupe B2

1 : 50



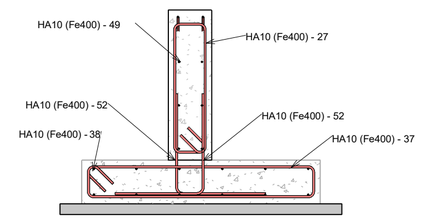
D Coupe A1

1 : 30



A3 Coupe A3

1 : 30



A4 Coupe A4

1 : 20

Nom du projet :

ETUDE DETAILLEE DES TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE LA VOIE PRINCIPALE D'ACCES A LA ZONE INDUSTRIELLE DE KOSSODO EMBRANCHEMENT RN3-CIMAF

Nom de la feuille :

COUPES

Page :

4

Format :

A2

Echelle :

Comme indiqué

Bureau d'études structure :

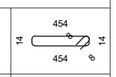
05 BP 6161Ouagadougou - Burkina Faso, Ouagadougou, Burkina Faso

(+226) 25 43 12 37

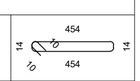
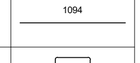
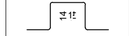
TCONSULT

22/06/2026 11:53:30

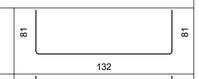
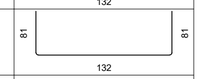
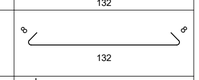
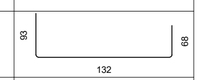
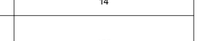
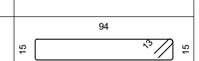
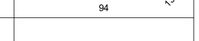
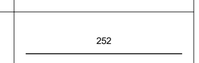
TABLIER

N°	Nbre	Ø	Long.[m]	L. totale [m]	Poids[kg]	Esp.[cm]	Schéma de façonnage [cm]
1	139	14	9.45	1313.55	1587.31	16	
2	128	10	10.94	1400.32	863.35	<multiples>	
4	8	12	10.94	87.52	77.70		
15	48	10	0.91	43.68	26.93	100	
32	48	10	1.00	48.00	29.59	20	
Total général	371			2893.07	2584.89		

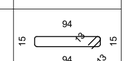
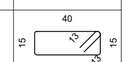
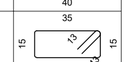
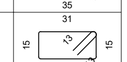
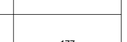
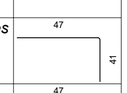
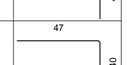
RADIER CADRE

N°	Nbre	Ø	Long.[m]	L. totale [m]	Poids[kg]	Esp.[cm]	Schéma de façonnage [cm]
3	140	16	9.47	1325.80	2092.56	16	
4	128	12	10.94	1400.32	1243.22	<multiples>	
15	336	10	0.91	305.76	188.51	20	
33	48	12	1.00	48.00	42.62	20	
Total général	652			3079.88	3566.91		

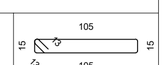
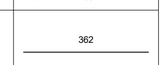
PIEDROIT

N°	Nbre	Ø	Long.[m]	L. totale [m]	Poids[kg]	Esp.[cm]	Schéma de façonnage [cm]
5	224	12	2.89	647.36	574.74	20	
7	114	10	2.89	329.46	203.12	20	
8	224	10	1.48	331.52	204.39	20	
11	112	10	2.89	323.68	199.56	20	
12	48	8	11.06	530.88	209.48	20	
13	12	10	11.06	132.72	81.83	20	
14	668	8	0.25	167.00	65.90	20	
32	18	10	1.00	18.00	11.10		
34	6	10	2.37	14.22	8.77	20	
47	12	10	3.27	39.24	24.19		
48	6	10	1.77	10.62	6.55		
49	6	10	2.52	15.12	9.32		
52	1	10	0.86	0.86	0.53		
53	12	10	10.97	131.64	81.16	20	
56	6	10	3.35	20.10	12.39		
Total général	1469			2712.42	1693.03		

MUR EN AILE

N°	Nbre	Ø	Long.[m]	L. totale [m]	Poids[kg]	Esp.[cm]	Schéma de façonnage [cm]
32	2	10	1.00	2.00	1.23		
34	2	10	2.37	4.74	2.92	20	
44	4	10	1.30	5.21	3.21	20	
45	4	10	1.20	4.82	2.97	20	
46	4	10	1.11	4.43	2.73	20	
47	4	10	3.27	13.08	8.06		
48	2	10	1.77	3.54	2.18		
49	2	10	2.52	5.04	3.11		
50	2	10	3.35	6.70	4.13		
52	191	10	0.86	164.26	101.27	<multiples>	
57	3	10	0.85	2.55	1.57		
Total général	268			303.49	187.11		

SEMELLE FILANTE

N°	Nbre	Ø	Long.[m]	L. totale [m]	Poids[kg]	Esp.[cm]	Schéma de façonnage [cm]
37	17	10	2.59	44.03	27.15	20	
38	12	10	3.62	43.44	26.78	20	
Total général	29			87.47	53.93		

Nom du projet :

ETUDE DETAILLEE DES TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE LA VOIE PRINCIPALE D'ACCES A LA ZONE INDUSTRIELLE DE KOSSODO EMBRANCHEMENT RN3-CIMAF

Nom de la feuille :

NOMENCLATURE ARMATURE

Page : 5

Format : A2

Echelle :

Bureau d'études structure :

05 BP 6161Ouagadougou - Burkina Faso, Ouagadougou, Burkina Faso

(+226) 25 43 12 37

TCONSULT

22/06/2026 12:08:42