



**ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX
D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE VOIRIES
DANS LA VILLE DE OUAGADOUGOU : RUES WEMBA
POKO (29.21) et 29.46**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE
MASTER
SPECIALITE GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE
OPTION : ROUTES ET OUVRAGES D'ART

Présenté et soutenu publiquement le 04 Juillet 2019 par :

Hamed Abdallah ZOMBRE (20130446)

Directeur de mémoire : Pr. Adamah MESSAN (Enseignant Chercheur en Génie Civil à 2iE)

Encadrant 2iE : Pr. Adamah MESSAN (Enseignant Chercheur en Génie Civil à 2iE)

Maître de stage : M. Taofik Alao Olatoundji Ulrich ONIFADE, Ingénieur Hydraulicien / Hydrologue, Chef du département Eau et Environnement à TED)

Structure d'accueil du stage : Technologie Economie Développement (TED)

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Dr. Abdou LAWANE GANA

Membres et correcteurs : Pr. Adamah MESSAN
Dr. Fowé TAZEN
Mme. Marie Thérèse GOMIS/MBENGUE

Promotion [2018/2019]

DEDICACES

A mon père Séni ZOMBRE, pour son soutien continu.

A ma très chère mère Aïda ZOMBRE / Marie Solange GOUBGOU, pour son affection et ses bénédictions.

A mes sœurs, Madina et Mounira

A toute ma famille, mes proches et amis.

CITATION

« Vous êtes arrivé à cette conclusion par voie scientifique ou par expériences ? »

TCHEKOV

REMERCIEMENTS

Nous adressons nos sincères remerciements et reconnaissances à toute personne ayant contribué d'une manière ou d'une autre à notre formation et à la réalisation de ce mémoire, particulièrement :

- Dr. Abdou LAWANE GANA, le chef de département Génie Civil et Hydraulique de la Fondation 2iE.
- Pr. Adamah MESSAN, notre directeur de mémoire, enseignant-chercheur en génie civil et hydraulique de la Fondation 2iE pour sa disponibilité, ses remarques et son appui qui a permis l'élaboration de ce mémoire.
- Mme. GOMIS Marie Thérèse, enseignante en géotechnique au département Génie Civil et Hydraulique de la Fondation 2iE pour ses éclaircissements.
- M. Salif SAMAKE, le Directeur Général de TED pour avoir accepté notre demande de stage dans sa structure et toute l'attention accordée à notre égard.
- M. Taofik Alao Olatoundji Ulrich ONIFADE, le maître de stage, ingénieur hydraulicien pour son attention à notre égard et sa contribution à l'élaboration de ce mémoire.
- M. Hamidou MOYENGA et M. Rachid SANOGO tous ingénieurs en Génie civil et tout le personnel de TED, pour les compétences transmises, leur assistance, leurs attention et considération à notre égard.
- Tous les enseignants du département Génie Civil et Hydraulique, les enseignants des autres départements de la Fondation 2iE, pour toutes les formations et compétences transmises.
- Mes parents pour leurs soutiens et efforts consentis à mon éducation.
- Tous ceux qui m'ont apporté leur précieux soutien tout au long de ma formation et qui n'ont pas été évoqués ici, je tiens à leur adresser mes sincères remerciements.

RÉSUMÉ

Le projet des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : rues Wemba Poko (29,21) et 29,46 s'insère dans le cadre d'une stratégie de fluidification du transport urbain à l'intérieur de la ville de Ouagadougou. Il est entrepris par l'État burkinabè pour décongestionner la circulation sur certains axes vitaux dont notamment l'avenue Babangida.

Le projet concerne deux rues qui servent de liaison entre le boulevard Charles de GAULLE et l'avenue des TENSIBA. Il est estimé à une longueur de 1,545 km. La présente étude a pour objectifs la conception d'une route et l'aménagement de voiries. Afin d'atteindre ces objectifs les études suivantes ont été faites.

- L'étude de la structure de chaussée nous a permis d'identifier la portance du sol support de chaussée, la reconnaissance des matériaux d'emprunts grâce à des études géotechniques, le dimensionnement à proprement dit de la chaussée a abouti à l'obtention d'une structure composée de 20 cm de couche de fondation en graveleux latéritique naturel, 20 cm de couche de base en graveleux latéritique naturel amélioré au ciment et 5 cm d'une couche de roulement en béton bitumineux.
- L'étude géométrique a permis la conception du tracé en plan, du profil en long et des profils en travers types de notre étude grâce au logiciel piste 5. Ainsi nous avons deux types de profil en travers type, dont le premier est celle de la rue 29.21 : 2x2 voies avec 2 pistes cyclables, des caniveaux de part et d'autre et 22 candélabres double foyer. Le deuxième est celle de la rue 29.46 : 1x2 voie avec deux accotements, des caniveaux de part et d'autre et 15 candélabres foyer simple.
- L'étude hydrologique, hydraulique et structurale a permis dès la détermination des caractéristiques physiques des différents bassins versants de proposer de nouvelles sections aux ouvrages hydrauliques grâce à la détermination des débits par la méthode rationnelle et celle de Caquot. Ce qui a conduit à la démolition de 865 ml de caniveaux, la construction de 1343,68 ml de nouveaux caniveaux : 60x60 cm², 80x80 cm² et 100x100 cm². La démolition de 84 ml de dalots et la reconstruction de 96 ml de sections 100x100 cm² et le grand dalot 3x3x1,5 cm².
- L'aménagement de la voirie a permis d'assurer le maximum de sécurité et de confort aux usagers.
- L'évaluation de l'impact environnemental et social a permis de prendre des mesures d'atténuation aux impacts négatifs.

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Une estimation financière du coût du projet qui est évalué à deux milliards neuf cent vingt-deux millions huit cent vingt-six mille cent trente-deux francs CFA (**2 922 826 132 FCFA TTC**).

- **Mots clés :**

1. Amélioré
2. Béton bitumineux
3. Ciment
4. Etudes techniques détaillées
5. Ouvrages hydrauliques

ABSTRACT

The project of road works in the city of Ouagadougou: Wemba Poko Streets (29,21) and 29,46 is part of a strategy for the fluidification of urban transport within the city of Ouagadougou, undertaken by the Burkinabè State to decongest traffic on some vital axes of traffic, including Avenue Babangida.

The project involves two streets that serve as a link between the Boulevard "Charles de Gaulle" and "Avenue des TENSIBA." It is estimated at a length of 1.545 km. The objectives of this study is to design a road and make road works. In order to reach these objectives, the following studies have been done.

- The study of the pavement structure allowed us to identify the lift of the ground support floor, the recognition of the borrowing materials thanks to geotechnical studies, the actual dimensioning of the pavement resulted in obtaining of a structure composed of 20 cm of natural lateritic gravelly foundation course, 20 cm of cementitious natural lateritic gravelly base course and 5 cm of asphalt concrete top course.
- The geometrical study allowed the design of the plan layout, the longitudinal profile and the typical cross sections of our study thanks to the software track 5. Thus we have two types of cross-type profile, the first of which is that of 29.21 Street: 2x2 lanes with 2 bike lanes, gutters on both sides and 22 double-hearth candelabras. The second is that of 29.46 Street: 1x2 lane with two shoulders, gutters on both sides and 15 single hearth candelabras.
- The hydrological, hydraulic and structural study has made it possible, since the determination of the physical characteristics of the various watersheds, to propose new sections to the hydraulic structures thanks to the determination of flows by the rational method and that of Caquot. What concluded to the demolition of 865 ml of gutters, the construction of 1343,68 ml of new gutters: 60x60 cm², 80x80 cm² and 100x100 cm². The demolition of 84 ml of scuppers and the reconstruction of 96ml of sections 100x100 cm² and the large scuppers 3x3x1,5 cm².
- The development of roads, which has ensured maximum safety and comfort to users.
- The environmental and social impact study that has made it possible to take measures to mitigate negative impacts.

A financial estimate of the cost of the project which is evaluated at two billion, nine hundred and twenty two million, eight hundred and twenty six thousand, one hundred and thirty two francs CFA (**2 922 826 132 FCFA**).

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Keywords:

1. Bituminous wearing concrete
2. Cement
3. Detailed technical study
4. Hydraulic works
5. Improved

LISTE DES ABRÉVIATIONS

2iE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

BAEL: Béton Armé aux États Limites

BV: Bassin Versant

CAM: Coefficient d'Agressivité Moyen

CEBTP : Centre Expérimental de recherches et d'études du Bâtiment et des Travaux Publics.

CBR: Californian Bearing Ratio

CCTP : Cahier des Clauses Techniques Particulières

ELS : État Limite de Service

ICTAVRU : Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

LNBTB : Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics

SETRA : Service d'Études Techniques des Routes et des Autoroutes

SIDA : Syndrome Immunodéficience Acquise

TED : Technologie Economie Développement

TMJA: Traffic Moyen Journalier Annuel

TPC: Terre-Plein Central

SOMMAIRE

DEDICACES	i
CITATION	ii
REMERCIEMENTS	iii
RÉSUMÉ	iv
ABSTRACT.....	vi
LISTE DES ABRÉVIATIONS	viii
SOMMAIRE.....	1
LISTE DES TABLEAUX.....	4
LISTE DES FIGURES	5
I. INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	6
II. PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ÉTUDE.....	7
II.1. Présentation de la structure d'accueil.....	7
II.1.1. Historique et mission de TED	7
II.1.2. Domaines d'intervention	7
II.1.3. Organigramme de TED.....	8
II.2. Présentation de la zone du projet	9
II.2.1. Localisation de la zone de projet	9
I.2.2. Données physiques de la zone	10
III. PRÉSENTATION DU PROJET	11
III.1. Contexte et justification du projet	11
III.2. Diagnostic de l'état des lieux de la voirie	12
III.3. Données de base.....	15
III.3.1. Données pour le dimensionnement des chaussées	15
III.3.2. Données sur la conception géométrique	17
III.3.3. Données hydrologiques	17

IV. MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION	17
IV.1. Dimensionnement de la structure de chaussée.....	17
IV.2. Conception géométrique	18
IV.3. Etudes hydrologique et hydraulique.....	18
IV.4. Dimensionnement structural des ouvrages hydraulique	19
IV.4.1. Dimensionnement structural des caniveaux	19
IV.4.2. Dimensionnement structural des dalots	19
V. ÉTUDE TECHNIQUE	20
V.1. Etude de la structure de chaussée.....	20
V.1.1. Etude du trafic.....	20
V.1.2. Taux d'accroissement du trafic	20
V.1.3. Estimation du trafic et classe du trafic.....	20
V.1.4. Étude géotechnique	22
V.1.5. Dimensionnement du corps de chaussée	23
V.1.6. Analyse et commentaire des résultats	29
V.2. Étude topographie et conception géométrique	30
V.2.1. Etude topographique	30
V.2.2. Conception géométrique.....	30
V.3 Etude hydrologique et hydraulique.....	34
V.3.1 Étude hydrologique.....	34
V.3.2. Étude hydraulique.....	43
V.3.3. Analyse et commentaire des résultats	45
V.4. Dimensionnement structural des ouvrages hydrauliques	47
V.4.1. Dimensionnement des caniveaux	47
V.4.2. Dimensionnement des dalots	48
V.4.3. Analyse et commentaire des résultats	52
V.5. Aménagement de la voirie	53
V.5.1. Aménagement des carrefours.....	53

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

V.5.2. Aménagement des amorces	53
V.5.3. Signalisation et sécurité routière.....	54
V.5.4. Éclairage public.....	56
V.6. Notice d'impact environnemental et social	57
V.6.1. Cadre législatif.....	57
V.7. Estimation du coût du projet	60
CONCLUSION	61
BIBLIOGRAPHIE.....	62
ANNEXES	63

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Données du trafic	15
Tableau 2: Résultats des essais géotechniques sur le sol support de la rue 29.21	16
Tableau 3: Résultats des essais géotechniques des matériaux d'emprunt.	16
Tableau 4: Paramètres de Montana dans la ville de Ouagadougou	17
Tableau 5: Classe de trafic en fonction du nombre cumulé de poids lourds (source : guide de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux. CEBTP, 1984).	21
Tableau 6: Classes de portance des sols (Source : guide de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux. CEBTP, 1984).....	22
Tableau 7: Variantes de structures de chaussées	23
Tableau 8: Valeurs des paramètres de calcul de l'allongement horizontal.....	24
Tableau 9: Valeurs des paramètres de calcul de la contrainte horizontal.....	24
Tableau 10: Conditions de portances des matériaux pour les différentes couches de la variante 2 ainsi que leur module.	26
Tableau 11: Résultats des vérifications de la variante 2 avec Alizée	26
Tableau 12: Conditions de portances des matériaux pour les différentes couches de la variante 3 ainsi que leur module.	27
Tableau 13: Résultats des vérifications de la variante 3 avec Alizée	27
Tableau 14: Résultats obtenus après augmentation de la couche de fondation de la variante 3	28
Tableau 15: Valeurs limites des rayons (source : ICTAVRU du CERTU)	31
Tableau 16: Paramètres géométriques du profil en long (source : ICTAVRU du CERTU) ...	32
Tableau 17: Coefficient de ruissellement	36
Tableau 18: Paramètres de Montana dans la ville de Ouagadougou	36
Tableau 19: Récapitulatif des paramètres des bassins versants	38
Tableau 20: Récapitulatif des paramètres des demi-chaussées.....	39
Tableau 21: Débit par bassin versant (méthode rationnelle)	39
Tableau 22: Débit par demi-chaussée (méthode rationnelle)	40
Tableau 23: Débit par bassin versant (méthode de Caquot)	40
Tableau 24: Débit par demi-chaussée (méthode de Caquot)	41
Tableau 25: Paramètres pour surfaces élémentaires en série.....	41
Tableau 26: Paramètres pour surfaces élémentaires en parallèle.....	42
Tableau 27: Récapitulatif des débits des caniveaux	42
Tableau 28: Récapitulatif des dimensions des caniveaux.....	44
Tableau 29: Récapitulatif des différentes sections de caniveaux calculées et existantes	45
Tableau 30: Récapitulatif des différentes sections de dalots calculées et existantes.....	46
Tableau 31: Résultats des sollicitations du caniveau type 150 x 100 cm ²	47
Tableau 32: Ferrailage du caniveau type 150 x 100 cm ²	47
Tableau 33: Sollicitations maximales	50
Tableau 34: Ferrailage du dalot 3 x 3 x 1,5	50
Tableau 35: Récapitulatif des sollicitations et ferrailage du mur en aile	52
Tableau 36: Estimation du coût du projet.....	60

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme de TED	8
Figure 2: Localisation de la zone du projet.....	9
Figure 3: Vue de dessus de la zone du projet.....	10
Figure 4: Profil type T1.....	33
Figure 5: Profil en travers type 2	33
Figure 6: Bassins versants du projet	35
Figure 7: Dalot de franchissement du canal de Wemtenga.....	49
Figure 8: Mur en aile.....	51
Figure 9: Type d'implantation des candélabres	56

I. INTRODUCTION GÉNÉRALE

Des premières routes construites par l'Empire romain, aux routes modernes, l'histoire des routes a constamment évolué dans le temps et dans l'espace pour prendre aujourd'hui une place déterminante dans le développement socio-économique des nations.

Il apparaît sans doute que la route du développement passe par le développement du réseau routier qui permet de faciliter les échanges internationaux, la fluidité et le développement des activités socio-économiques sur l'ensemble du territoire et aussi le rapprochement des zones urbaines entre elles et aux zones rurales qui sont des zones de forte production.

En Afrique et particulièrement au Burkina Faso, la dynamique de l'émergence a conduit à une augmentation de constructions d'infrastructures, notamment celles qui sont routières en particulier. C'est dans cette lancée que l'État burkinabè a entrepris en 2010, des études techniques détaillées et environnementales de l'aménagement et du bitumage de la voie parallèle à l'avenue Babanguida. Ces études rentrent dans le cadre d'une stratégie de fluidification du transport urbain à l'intérieur de la ville de Ouagadougou.

C'est dans cette optique que s'inscrit notre mémoire intitulé «Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : rues Wemba Poko (29.21) et 29.46 ».

Le présent mémoire restitue les résultats de ces études, qui sont structurées en six (6) parties dans l'ordre suivant :

- ❖ La première partie, présente la structure d'accueil et la zone de l'étude,
- ❖ La deuxième partie, présente le projet dans son ensemble,
- ❖ La troisième partie expose la méthodologie de conception,
- ❖ La quatrième partie, concerne l'étude technique,
- ❖ La cinquième partie évalue les impacts environnemental et social du projet,
- ❖ La sixième partie fait ressortir l'étude sur les coûts du projet.

II. PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le bureau d'études Technologie Economie Développement (TED) nous a reçu en stage dans le cadre de notre projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme de master d'ingénieur. La présente partie présente la structure d'accueil et la zone d'étude.

II.1. Présentation de la structure d'accueil

II.1.1. Historique et mission de TED

Technologie Économie Développement (TED) est un bureau d'étude de droit burkinabè, dont le siège est à Ouagadougou. Créé en février 2006, TED offre des services dans le domaine des Infrastructures de Transport, des Bâtiments et des aménagements hydroagricoles (fournir des prestations de qualité en matière d'études, de contrôles, de surveillances, de coordination et d'assistance). Elle est dirigée par un directeur général, monsieur Salif SAMAKE. Elle emploie plus de 42 agents permanents constitués d'ingénieurs, de cadres et agents administratifs, de techniciens supérieurs et de personnel d'appui. Grâce à ses experts pluridisciplinaires, à son réseau de consultants et à ses partenaires techniques présents en Afrique et sur d'autres continents, TED peut, à tout moment, mettre sur pied ses équipes pluridisciplinaires de professionnels expérimentés aptes à répondre aux exigences spécifiques de tout projet d'ingénierie, quelle qu'en soit l'ampleur ou la diversité.

II.1.2. Domaines d'intervention

TED exerce son métier d'ingénieur-conseil dans les principaux domaines suivants :

- ❖ Infrastructures de transport
- ❖ Voiries et réseau divers
- ❖ Aménagements hydroagricoles
- ❖ Aménagements urbains

II.1.3. Organigramme de TED

TED est organisé en une direction générale et cinq (5) départements. L'organigramme ci-après de la figure 1 illustre les diverses divisions opérationnelles du bureau d'études TED :

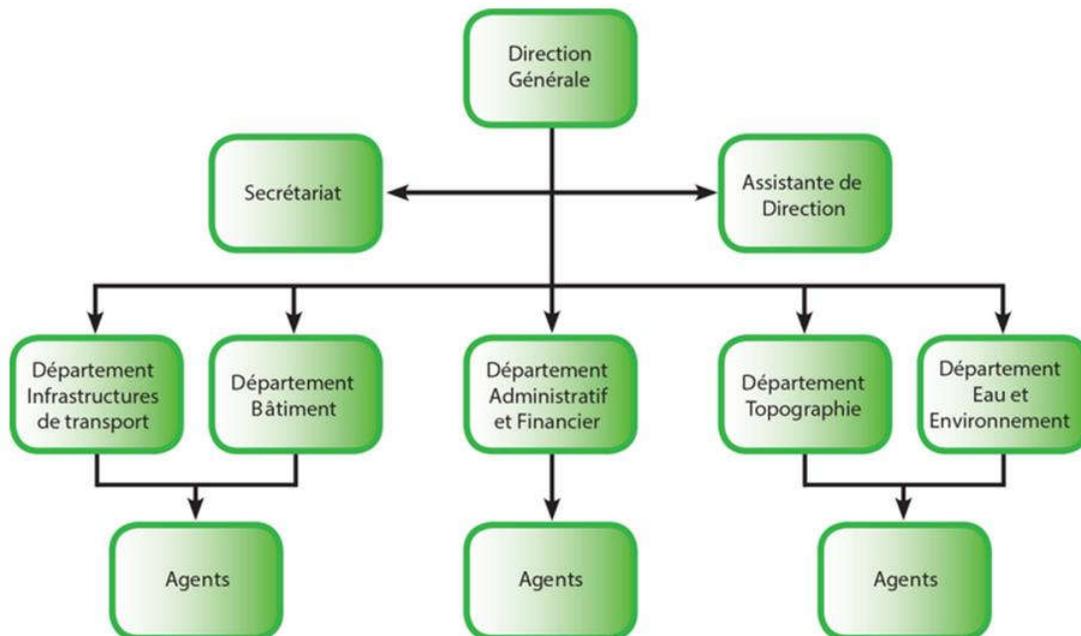


Figure 1: Organigramme de TED

II.2. Présentation de la zone du projet

II.2.1. Localisation de la zone de projet

Le projet est situé dans la ville de Ouagadougou (capitale du Burkina Faso) et concerne l'aménagement et le bitumage de deux rues d'une longueur totale de 1535 ml, localisé dans le quartier Wemtenga dans l'arrondissement 5. La localisation du projet est présentée dans la Figure 2 et la Figure 3 suivantes.

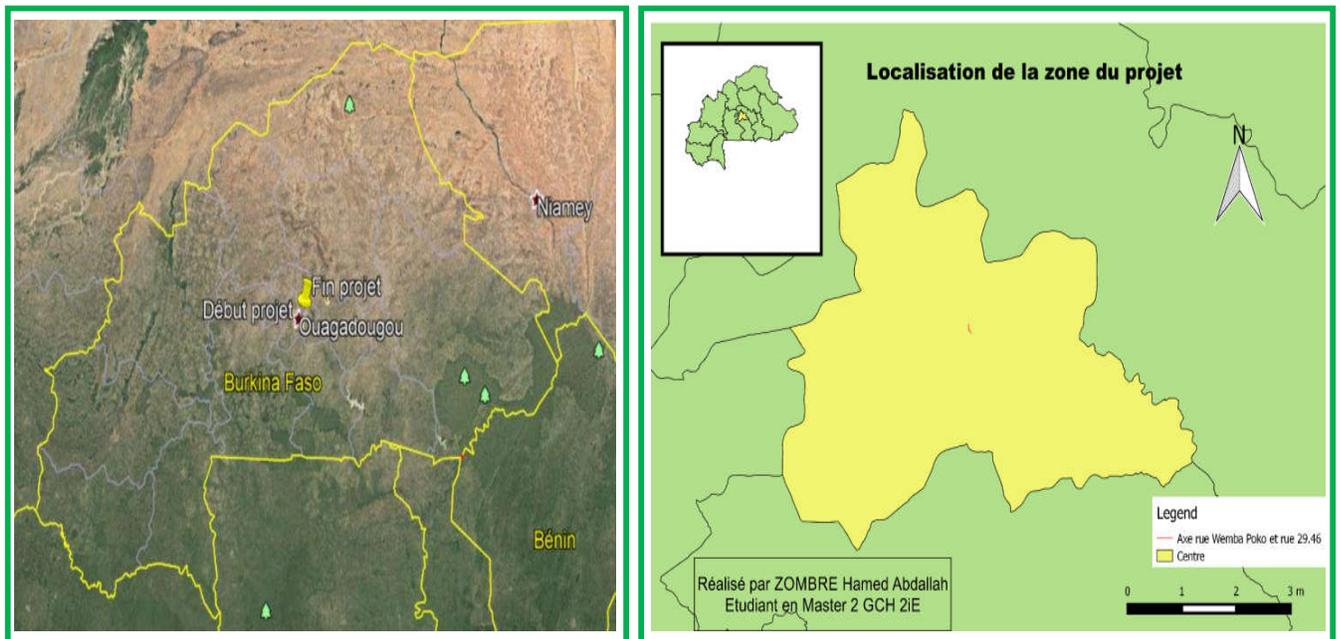


Figure 2: Localisation de la zone du projet

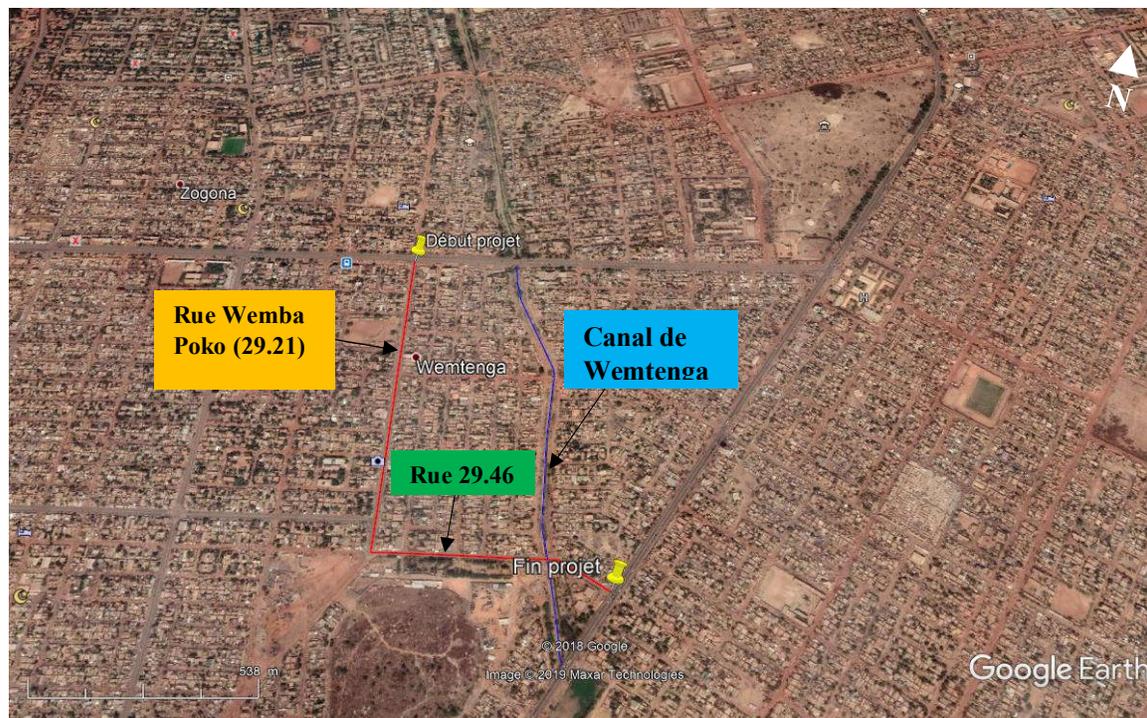


Figure 3: Vue de dessus de la zone du projet.

I.2.2. Données physiques de la zone

– Le climat

La température moyenne annuelle de la zone de projet est celle de la ville de Ouagadougou. Elle varie entre 25°C (décembre, janvier) à 32°C (mars, avril). Les températures maximales moyennes varient de 31° à 40°C et sont observées généralement en avril, mois le plus chaud de l'année. La région du plateau subit les rigueurs du climat marqué par deux saisons bien contrastées : une saison humide de juin à octobre et une saison sèche s'étendant de novembre à mai.

– Les sols

Les sols qui sont aperçus sont en général les sols latéritiques qui caractérisent la ville de Ouagadougou. Certaines voies sont situées dans des zones argilo-sableuse tapissant la cuirasse latéritique en dessous.

Source : Ministère des infrastructures/Direction Générales des Ouvrages d'art (2010).

III. PRÉSENTATION DU PROJET

III.1. Contexte et justification du projet

Dans le cadre d'une stratégie de fluidification du transport urbain à l'intérieur de la ville de Ouagadougou, l'État burkinabé a entrepris les études techniques détaillées et environnementales de l'aménagement et du bitumage des voies parallèle à l'avenue Babanguida.

Cet aménagement vise d'une part à permettre une bonne structuration du réseau de voirie urbain dans la ville de Ouagadougou et d'autre part à décongestionner la circulation sur certains axes vitaux dont notamment l'avenue Babanguida. En outre, cet aménagement permettra d'améliorer la circulation à l'intérieur de la ville de Ouagadougou, d'obtenir un gain de temps considérable pour les usagers, d'accroître la sécurité et d'améliorer le bien-être et la productivité des habitants de la capitale.

C'est dans cette optique qu'il a été entrepris des études de travaux d'aménagement et de bitumage de la rue 29.46 et une revue des études des travaux d'aménagement et de bitumage de la rue Wemba Poko (29.21) dont le consultant Technologie Économie Développement (TED) est attributaire.

○ Problématique

La problématique de l'étude est la conception d'un projet répondant à des objectifs techniques d'aménagement d'une route et d'un ouvrage de franchissement, assurant les conditions de confort et de sécurité, économiquement rentable, prenant en compte l'ensemble des aspects environnementaux et les objectifs socio-économiques visés.

○ Objectifs du projet

L'objectif général du projet est d'assurer une bonne structuration du réseau de voirie urbain dans la ville de Ouagadougou. Il permettra l'amélioration de la circulation à l'intérieur de la ville de Ouagadougou.

Afin d'atteindre l'objectif général énoncé, les objectifs spécifiques se résument à l'étude pour l'aménagement des voiries, l'assainissement urbain, le bitumage et l'éclairage des rues parallèles à l'avenue Babanguida.

○ **Objectifs de l'étude**

L'objectif général de l'étude est d'effectuer des études techniques détaillées de travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou particulièrement les rues Wemba-Poko (29.21) et 29.46, conformément aux prescriptions techniques et économiques requises.

Afin d'atteindre l'objectif général énoncé, les objectifs spécifiques se résument au dimensionnement de la chaussée, faire la conception géométrique de la route, réaliser des études hydrologique et hydraulique de la zone d'étude, faire le dimensionnement structural des ouvrages hydrauliques, évaluer les impacts environnementaux et sociaux du projet et enfin estimer le coût global des travaux.

III.2. Diagnostic de l'état des lieux de la voirie

Le projet est situé dans la ville de Ouagadougou et concerne l'aménagement et le bitumage de deux rues, localisées dans le quartier Wemtenga.

– Rue WEMBA POKO (29.21)

La rue 29.21 connue sous le nom de Wemba Poko est une voie en latérite très dégradée, d'une longueur de 905 m, l'emprise est de 30 m. La distance entre caniveaux à gauche et à droite est de 18 m. Cette voie commence à l'embranchement avec l'avenue Charles de GAULLE, avec une amorce de 10 m de long et 7 m de large en enduit superficiel. Elle se termine au croisement avec la rue 29.46. La voie est ravinée par les eaux et la couche de latérite est inexistante par endroits. Il existe aussi des nids de poule dus au trafic. Elle compte douze rues adjacentes, dont neuf à droite et trois à gauche.

Comme ouvrages de franchissements sur cette voie, on dénombre quatorze (14) dalots de traverses dont deux de 1x70x70 cm², quatre de 1x50x50 cm², trois de 1x80x80 cm², trois de 1x100x100 cm², un de 1x120x120 cm² et un de 1x70x50 cm². Les photos suivantes apportent une précision visuelle sur l'état des lieux des rues.

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

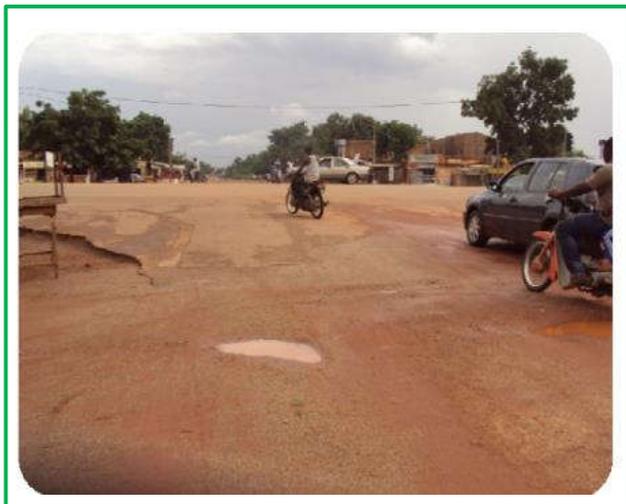


Photo 1: Début de la rue 29.21



Photo 2 : Fin de la rue 29.21

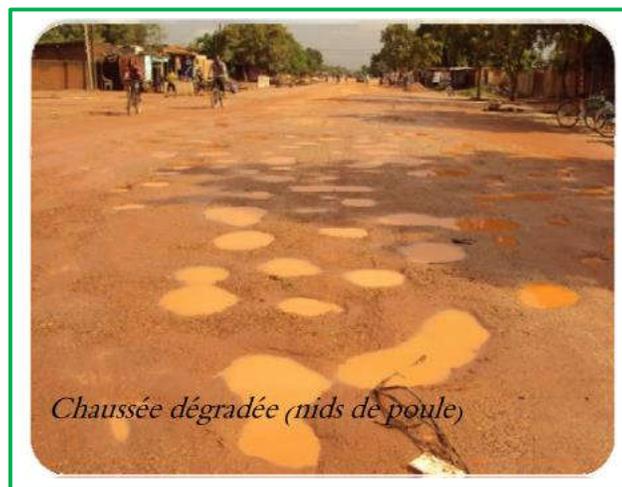


Photo 3 : État de la route

– Rue 29.46

La rue 29.46 est une voie en latérite très dégradée, d'une longueur de 635 m, l'emprise est de 20 m. La distance entre caniveaux à gauche et à droite est de 10 m. Cette voie commence au croisement avec la rue 29.21, interrompue à son croisement avec le canal de Wemtenga elle prend fin à l'embranchement avec l'avenue des TENSObA. Il existe aussi des nids de poule

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

du au trafic. Elle compte cinq (5) rues adjacentes, dont deux à droite et trois à gauche. Le relief présente une forte pente orientée vers le canal de Wemtenga.

Comme ouvrages de franchissements sur cette voie, on dénombre treize (13) dalots de traverses dont huit de 1x150x100 cm², trois de 1x100x100 cm² et deux de 1x80x80 cm².

Il faudra construire un grand dalot dans le canal de Wemtenga afin de prolonger la rue 29.46 jusqu'à l'intersection avec l'avenue des TENSIBA.



Photo 4 : Interruption de la rue 29.46 au niveau du canal de Wemtenga

III.3. Données de base

III.3.1. Données pour le dimensionnement des chaussées

❖ Données du trafic

Une étude du trafic n'a pas été faite, néanmoins, nous nous sommes référés aux résultats de l'enquête de trafic sur des rues environnantes, qui a été réalisée en 2010 dans le cadre de l'étude de l'assainissement des quartiers périphériques de la ville de Ouagadougou, pour l'estimation de la classe de trafic. Les données du trafic sont récapitulées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Données du trafic

Voies	Trafic normal (MJA)		Trafic induit (MJA)	
	Passagers	Marchandises	Passagers	Marchandises
Succession de rues 30.215 ; 29.253 ; 28.335	2881	179	864	116

Source : Ministère des infrastructures/Direction Générales des Ouvrages d'art (2010).

En considérant le trafic marchandises comme poids lourds, nous obtenons 295 Poids lourds.

❖ Durée de vie de la route

Les rues seront dimensionnées pour une durée de vie de 15 ans, conformément au Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP). Cette durée servira comme base de l'estimation à l'horizon du projet.

❖ Études géotechniques

Les études géotechniques menées par le LNBTP (Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics) ont permis d'avoir les informations suivantes :

- Plate-forme de la rue 29.21 (Wemba Poko) :

Les sondages effectués sur des intervalles de 250 m ont dévoilés des sols en place constitués essentiellement de grave argileuse latéritique (GAL) d'épaisseur variable et généralement de bonne portance. Le récapitulatif des résultats est donné dans le Tableau 2.

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Tableau 2: Résultats des essais géotechniques sur le sol support de la rue 29.21

Matériaux d'emprunts	ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE		LIMITES D'ATTERBERG		PROCTOR MODIFIER		PORTANCE CBR à OPM	
	< 0,08%	D (mm)	W _L (%)	I _p	W _{OPM} (%)	γ _{dOPM} (t/m ³)	95 %	98 %
1	17	20	35	18	11,6	2,04	33	38
2	14	16	32	16	10,0	2,10	47	63
3	15	25	35	17	10,3	2,03	12	32

➤ Plate-forme de la rue 29.46 :

Les sols en place sont constitués essentiellement de grave argileuse latéritique (GAL), de déchets et d'argile d'épaisseurs variables et généralement de mauvaises portances.

Ainsi les terrassements seront exécutés de sorte à disposer d'une plate-forme de qualité minimale S4 (CBR >15 à 95% de l'OPM). Pour cela, la méthode de terrassement suivante sera mise en œuvre :

- Décapage de la terre végétale
 - Purge et substitution des sols de mauvaise portance par au moins 50 cm de matériaux de classe S4 de sorte à disposer d'une nouvelle couche de plate-forme S4.
- Le récapitulatif des résultats d'analyse géotechnique sur les matériaux provenant des emprunts dans le Tableau 3 suivant:

Tableau 3: Résultats des essais géotechniques des matériaux d'emprunt.

Son dage	Couche	ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE						LIMITES D'ATTERBERG			PROCTOR MODIFIER		PORTANCE CBR à OPM
		< 0,08 mm	< 0,4 mm	< 2 mm	< 5 mm	< 10 mm	D mm	W _L	W _P	I _p	W _{OPM} (%)	γ _{dOPM} (t/m ³)	95 %
1	0/20	22,0	37,0	55,0	76,0	91,5	31,5	22	12	10	-	-	-
2	0/30	30,5	43,0	60,0	77,5	92,5	40,0	27	15	12	9,3	2,030	19
3	0/25	34,5	49,0	64,5	82,0	95,0	25,0	28	15	13	-	-	-
4	2/110	34,5	42,5	57,0	75,5	92,0	20,0	33	16	17	12,8	1,850	14

Les matériaux de l'emprunt 3 présentent un CBR inférieur à 30 MPa, ce qui ne pourrait être utilisé en couche de fondation par conséquent ils seront proscrit pour le projet. Quant aux matériaux des emprunts 2 et 3, ils présentent des caractéristiques acceptables par conséquent seront retenus pour les couches de fondations et pour remblai.

III.3.2. Données sur la conception géométrique

La structure d'accueil nous a remis des semis de points (x, y, z) pour la conception.

Il s'agit de faire la conception d'une route 2 x 2 voies avec deux pistes cyclables pour la rue 29.21 et une route 1 x 2 voies avec accotements pour la rue 29.46.

III.3.3. Données hydrologiques

Nous avons reçu auprès de la structure d'accueil les paramètres de Montana de la ville de Ouagadougou pour des périodes de retour de 1 an et 10 ans pour la détermination de l'intensité de pluie.

Tableau 4: Paramètres de Montana dans la ville de Ouagadougou

Paramètres	Période de retour de 1 an		Période de retour de 10 ans	
	Durée < 1h	Durée > 2h	Durée < 1h	Durée > 2h
a	5,6	31,0	9,4	39,0
b	0,5	0,9	0,5	0,9

IV. MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION

Pour la réalisation de cette étude, les procédures suivantes ont été adoptées :

IV.1. Dimensionnement de la structure de chaussée

D'abord, nous avons fait l'hypothèse que le nombre de poids lourds correspond à celui des marchandises, nous avons actualisé cette valeur à l'année de mise en service de la route pour ainsi obtenir le nombre de poids lourds du projet à considérer. Ensuite, nous avons calculé le trafic cumulé à l'horizon du projet qui nous a permis de déterminer la classe de trafic de notre projet. Avec les données géotechniques du sol de la plate-forme mises à notre disposition nous avons déterminé sa classe de portance en nous référant à la classification des sols de portance du guide de dimensionnement des chaussées du CEBTP. Enfin avec ces deux résultats, la classe de trafic et la classe de portance du sol support de chaussée, nous avons fait ressortir des variantes de couches de chaussées grâce aux tableaux empiriques proposés par le guide de

dimensionnement des chaussées du CEBTP. Ces variantes ont toutes été vérifiées avec le logiciel Alizé par rapport aux contraintes admissibles que nous avons déterminées par la méthode rationnelle du LCPC.

IV.2. Conception géométrique

Nous avons exploité les semis de points (x, y, z) qui nous ont été remis. Le logiciel de conception assistée par l'ordinateur (CAO) Piste 5 a servi pour la conception géométrique. Nous avons choisi la vitesse de référence de 60 km/h soit la catégorie U60 de la normalisation de l'ICTAVRU, vu que notre projet se situe en pleine ville et que nous voulions nous rapprocher de la vitesse pratique règlementée en ville.

IV.3. Etudes hydrologique et hydraulique

Premièrement, nous avons identifié la zone du projet sur une carte planimétrique grâce au logiciel Google Earth, ensuite nous avons fait ressortir le tracé routier grâce au même logiciel. Ce tracé routier a été exporté vers le logiciel Global Mapper afin de délimiter les différents bassins versants et faire ressortir leurs caractéristiques physiques. Deuxièmement, pour l'évaluation des débits de crue décennaux, nous avons utilisé la méthode rationnelle et la méthode de Caquot dont nous avons retenu la méthode qui a permis d'obtenir les débits maximums. Troisièmement, pour la détermination des sections hydrauliques (ouvertures) des ouvrages hydrauliques capables d'évacuer les débits décennaux nous avons utilisé la formule de Manning-Strickler et la méthode de la débitance pour la détermination du tirant d'eau.

IV.4. Dimensionnement structural des ouvrages hydraulique

IV.4.1. Dimensionnement structural des caniveaux

Le principe du calcul est le suivant :

D'abord, nous avons calculé la dalle en flexion simple sous l'action d'une charge concentrée d'une roue de 10 T conformément au titre II du fascicule 62 du cahier des prescriptions communes applicables aux marchés de travaux publics de l'État Français.

Ensuite, le piédroit a été calculé en flexion composée sous l'action de l'effort transmis par la dalle chargée, la poussée des terres et la surcharge sur remblai. Enfin le radier calculé en flexion simple sous l'action de la réaction du sol (somme du poids propre du radier, du poids propre des piédroits et de la dalle). Les règles de calculs béton armé sont celles définies dans le BAEL 91 modifiée 99.

IV.4.2. Dimensionnement structural des dalots

Les règles de calculs de béton armé sont celles définies dans le BAEL 91 modifiée 99.

Les structures routières sont définies conformément aux prescriptions du titre II du fascicule 61 du cahier des prescriptions communes (C.P.C) Français en la matière. Les ouvrages sont calculés par rapport aux systèmes de charges A(L) et B (Bc, Bt).

Les études sont faites par bande d'un mètre de dalot ($b = 1 \text{ m}$). Pour le calcul des sollicitations dans les éléments de structure du cadre, nous avons considéré les différents cas de charges : sous actions permanentes d'une part et sous surcharge d'exploitation (routière) d'autre part. Pour chaque cas de charge, nous avons calculé les moments fléchissant M aux appuis, les moments en mi-travée et les efforts normaux N dans les éléments piédroits, tablier et radier. Les sollicitations sont déterminées par la méthode des rotations pour l'étude de l'équilibre de chaque nœud.

V. ÉTUDE TECHNIQUE

V.1. Etude de la structure de chaussée

V.1.1. Etude du trafic

Les charges supportées par la route sont essentiellement dues au trafic. Il est donc nécessaire de mener une étude du trafic afin de déterminer la classe de trafic intervenant dans le dimensionnement de la chaussée.

Les données sur le trafic et la durée de vie de la route sont telles qu'énoncées plus haut dans la partie : données de base.

V.1.2. Taux d'accroissement du trafic

Le taux d'accroissement du trafic dépend de certains facteurs, tels que la croissance du parc automobile, l'accroissement du produit intérieur brut et de la croissance de la démographie. Au Burkina Faso ce taux d'accroissement dans la période de 2000 à 2008 a été estimé à 4,6% par an sur le territoire national (source : rapport final juillet 2011 ; Actualisation de la stratégie de développement du secteur des transports au Burkina Faso). Compte tenu de la variation de ces facteurs, le taux de croissance du trafic dans le cadre de notre étude est ainsi considéré égal à 5%.

V.1.3. Estimation du trafic et classe du trafic

À partir des données du trafic collectées, il est d'abord indispensable de déterminer le trafic moyen journalier annuel (TMJA) de poids lourds à l'année de mise en service. L'année de mise en service est 2018.

Pour ce faire nous actualiserons le TMJA de l'année de comptage à la date de mise en service. Le trafic de PL à l'année de mise en service est donné par la formule suivante:

$$T_n = T_o (1 + f)^n \quad (1)$$

Avec:

T_o : Le trafic moyen journalier de véhicules à l'année de fin de comptage

f : Le taux de croissance du trafic

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

n : Le nombre d'années entre l'année de fin de comptage et l'année de mise en service.

$$\underline{AN} : T_n = 295 \times (1 + 0,05)^7$$

$$T_n = 415 \text{ PL}$$

Le trafic cumulé à l'horizon du projet est donné par la relation suivante :

$$T_c = 365 \times T_n \times \frac{(1+f)^n - 1}{f} \quad (2)$$

$$T_c = 365 \times 415 \times \frac{(1+0,05)^{15} - 1}{0,05}$$

$$T_c = 3268612,92$$

$$T_c = N = 3,27 \times 10^6 \text{ PL}$$

Le tableau de classification du trafic en fonction du nombre cumulé de poids lourds donne cinq classes de trafic décrit ci-dessous dans le Tableau 5.

Tableau 5: Classe de trafic en fonction du nombre cumulé de poids lourds (source : guide de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux. CEBTP, 1984).

Classe de trafic	Nombre cumulé de poids lourd
T1	$< 5 \cdot 10^5$
T2	$5 \cdot 10^5$ à $1,5 \cdot 10^6$
T3	$1,5 \cdot 10^6$ à $4 \cdot 10^6$
T4	$4 \cdot 10^6$ à 10^7
T5	10^7 à $2 \cdot 10^7$

A la suite de l'étude du trafic, nous obtenons $3,27 \times 10^6$ Poids lourd, ce qui correspond à un trafic de classe T3, ainsi le trafic de notre projet est de cette classe.

V.1.4. Étude géotechnique

La conception d'une route ne saurait être menée efficacement sans que le concepteur ait une idée précise des propriétés physiques du sol qui doit recevoir le trafic. À cet effet des études géotechniques sont menées afin de déterminer les caractéristiques du sol en place et aussi des matériaux susceptibles d'être utilisés pour la mise en œuvre des couches de la chaussée.

Les résultats des essais géotechniques sur le sol support de chaussée et des matériaux d'emprunts sont tels qu'énoncés dans la partie : données de base.

❖ Classification du sol de la plate-forme

Le guide de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux donne cinq classes de portance en fonction de la valeur du CBR des sols. Le Tableau 6 suivant présente les différentes classes de portance.

Tableau 6: Classes de portance des sols (Source : guide de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux. CEBTP, 1984)

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

$$15 < \text{CBR (plateforme)} = 19 < 30$$

Ainsi nous aurons dans l'ensemble pour notre projet un sol dont le CBR à 95% OPM > 15, par conséquent la plate-forme est de la classe S4.

V.1.5. Dimensionnement du corps de chaussée

❖ Détermination des variantes de structures de chaussée

La méthodologie de dimensionnement proposée est celle du guide de dimensionnement pour les pays tropicaux (CEBTP, 1984), une méthode qui a été jusque-là utilisée avec succès au Burkina Faso. Le guide nous a permis d'obtenir la classe de notre trafic et la portance de notre sol support. A partir de ces deux paramètres, nous obtenons trois (3) variantes de couches pour le corps de chaussée qui sont récapitulées dans le Tableau 7.

Tableau 7: Variantes de structures de chaussées

Variantes	Couche de chaussées	Matériaux	Épaisseurs (cm)
1	Roulement	Béton bitumineux	5
	Base	Graveleux latéritique naturel	20
	Fondation	Graveleux latéritique naturel	15
2	Roulement	Béton bitumineux	5
	Base	Concassé	20
	Fondation	Graveleux latéritique naturel	20
3	Roulement	Béton bitumineux	5
	Base	Graveleux latéritique naturel amélioré au ciment	20
	Fondation	Graveleux latéritique naturel	15

Ces différentes variantes seront vérifiées par la méthode rationnelle à l'aide du logiciel Alizé LCPC.

❖ **Vérification des variantes**

La vérification des variantes est effectuée suivant la méthode rationnelle.

➤ **Calculs des contraintes et des déformations admissibles**

• **Allongement horizontal (Béton bitumineux)**

$$\epsilon_{t, ad} = \epsilon_6 (10^\circ\text{C} ; 25 \text{ Hz}) \times \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b \times \sqrt{\frac{E(10^\circ\text{C})}{E(\theta_{eq})}} \times k_c \times k_r \times k_s \quad (3)$$

Avec : ϵ_6 , comportement à la fatigue pour les matériaux bitumineux

$E(t^\circ\text{C})$, module du matériau à la température $t^\circ\text{C}$

k_c , coefficient de calage du modèle (fonction du type de matériau)

k_r , coefficient du risque de rupture

k_s , coefficient minorateur (fonction de la portance du sol)

b , pente de la loi de fatigue du matériau

NE : nombre d'essieux équivalent

Tableau 8: Valeurs des paramètres de calcul de l'allongement horizontal

ϵ_6 (déf)	b	k_c	$E(10^\circ\text{C})$ MPa	$E(40^\circ\text{C})$ MPa	CAM
$100 \cdot 10^{-6}$	$-\frac{1}{5} = -0,2$	1,1	7200	1000	0,8

Source : Conception et dimensionnement des structures de chaussée (Guide technique) LCPC.

$\epsilon_{t, ad} = 198,60 \mu\text{déf}$

• **Contrainte horizontale (matériaux traités au liant hydraulique)**

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

Avec, k_d le coefficient de discontinuité.

Tableau 9: Valeurs des paramètres de calcul de la contrainte horizontale

σ_6 (MPa)	b	k_c	k_d	CAM
0,75	$-\frac{1}{15} = -0,067$	1,4	1	1,3

Source : Conception et dimensionnement des structures de chaussée (Guide technique) LCPC.

$\sigma_{t, ad} = 0,679 \text{ MPa}$

- **Déformation verticale (Sol et GNT)**

$$\epsilon_{z,ad} = A \times (NE)^{-0,222} \quad (4)$$

A = 16000, car trafic moyen.

$$\epsilon_{z,ad} = 572,70 \mu\text{déf}$$

Le détail des différents calculs sont dans l'annexe I.

➤ Vérification des contraintes et des déformations avec le logiciel Alizée-LCPC

Les hypothèses de bases sont les suivantes :

- Demi-essieu à roues jumelées de 65 kN,
- Pression verticale de 0,662 MPa,
- Rayon de contact de 0,125 m,
- Les interfaces seront considérées collées.

Vérification de la variante 1

Les valeurs des portances des matériaux pour la variante 1 ne conviennent pas aux prescriptions exigées (CBR à 95% OPM, 4 jours d'imbibition \geq 80 MPa pour la couche de base). Il y'a nécessité d'améliorer ces matériaux. Vérifions la variante 2 qui est une amélioration des matériaux de la variante 1.

Vérification de la variante 2

La variante prescrite par le CEBTP stipule l'utilisation d'une couche de fondation en graveleux latéritique naturel et une couche de base en concassé. Etant donné que cette pratique est très onéreuse, nous proposons d'utiliser pour la couche de base une couche constituée de graveleux latéritique naturel et du concassé (litho-stabilisation). Les conditions de portances des matériaux pour les différentes couches ainsi que leur module sont tels que consignés dans le Tableau 10 et les résultats des vérifications avec Alizée dans le Tableau 11.

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Tableau 10: Conditions de portances des matériaux pour les différentes couches de la variante 2 ainsi que leur module.

Nature du matériau	Calcul du module	Module (MPa)
Béton bitumineux à 40°C	Bibliothèque du LCPC	1000
Graveleux latéritique litho-stabilisé (CBR = 120 à 95% OPM considérer acceptable pour la litho stabilisé)	3 x CBR (après litho-stabilisation CBR min de 120 MPa conformément à la prescription du CEBTP)	360
Graveleux latéritique naturel (CBR = 63 à 98% OPM)	5 x CBR	315
Plateforme (matériaux de type S4)	----	120

Tableau 11: Résultats des vérifications de la variante 2 avec Alizée

Couches	Valeurs admissibles des déformations (μdef)		Déformations (μdef)		Observations
	$\epsilon_t \text{ adm}$	$\epsilon_z \text{ adm}$	ϵ_t	ϵ_z	
					x : non-acceptable v : acceptable
Roulement	198,60	-----	191,8	-----	v
Base				1245,5	x
Fondation	-----	572,70	-----	538,5	v
Plate-forme				564,8	v

Conclusion partielle : Les résultats ne sont pas satisfaisants avec ces couches d'assise, la déformation au-dessus de la couche de base est très élevée. La vérification de cette variante ne convient pas. Nous procéderons à la vérification de la variante 3.

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Vérification de la variante 3

Les conditions de portances des matériaux pour les différentes couches ainsi que leur module sont tels que consignés dans le Tableau 12 et les résultats des vérifications avec Alizée dans le Tableau 13.

Tableau 12: Conditions de portances des matériaux pour les différentes couches de la variante 3 ainsi que leur module.

Nature du matériau	Calcul du module	Module (MPa)
Béton bitumineux à 40°C	Bibliothèque du LCPC	1000
Graveleux latéritique naturel amélioré au ciment (CBR = 160 à 95% OPM considéré acceptable)	3 x CBR (après amélioration au ciment (3%), CBR min de 160 MPa conformément à la prescription du CEBTP)	480
Graveleux latéritique naturel (CBR = 63 à 98% OPM)	5 x CBR	315
Plateforme (matériaux de type S4)	----	120

Tableau 13: Résultats des vérifications de la variante 3 avec Alizée

Couche	Valeurs admissibles			Valeurs obtenues			Observations
	$\epsilon_{t, ad}$ (μdef)	$\epsilon_{z ad}$ (μdef)	$\sigma_{t ad}$ (MPa)	ϵ_t (μdef)	ϵ_z (μdef)	σ_t (MPa)	
Roulement	198,68	-----	-----	112,3	-----	-----	v
Base	-----	-----	0,679	-----	-----	0,083	v
Fondation	-----	572,70	-----	-----	516,9	-----	v
Plate-forme					616,7		x

Conclusion partielle : Le calcul indique une déformation de la plate-forme supérieure à celle admissible, par conséquent nous augmenterons l'épaisseur de la couche de fondation à 20 cm.

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Le Tableau 14: Résultats obtenus après augmentation de la couche de fondation de la variante 3 suivant indique les résultats obtenus après augmentation de la couche de fondation.

Tableau 14: Résultats obtenus après augmentation de la couche de fondation de la variante 3

Couche	Valeurs admissibles			Valeurs obtenues			Observations
	ϵ_t , ad (μdef)	ϵ_z ad (μdef)	σ_t ad (MPa)	ϵ_t (μdef)	ϵ_z (μdef)	σ_t (MPa)	
Roulement	198,68	-----	-----	114,8	-----	-----	v
Base	-----	-----	0,679	-----	-----	0,072	v
Fondation					516.6		v
Plate-forme	-----	572,70	-----	-----	537.1	-----	v

Conclusion partielle : Le calcul indique que la contrainte horizontale et les déformations verticales des différentes couches de la structure sont acceptables, par conséquent nous retenons cette variante pour la structure de chaussée, constituée par une :

Couche de roulement en béton bitumineux: 5 cm

Couche de base en graveleux latéritique naturel amélioré au ciment: 20 cm

Couche de fondation en graveleux latéritique naturel: 20 cm

Les détails des calculs et de vérifications avec le logiciel Alizé de la variante retenue sont consignés dans l'Annexe I.

V.1.6. Analyse et commentaire des résultats

À l'issue de ce dimensionnement de chaussée, il en ressort que la variante 3 est meilleure du point de vue technique, mais non économique.

Il faut retenir que le trafic est un paramètre qui a une forte influence sur le choix du type de matériaux dans le dimensionnement des chaussées. La variante retenue dans l'étude de ce projet (5BB 20GLN tlh 20GLN) diffère de celle obtenue par la structure d'accueil (5BB 15GLL 20GAL) qui a fait une revue des études réalisées en 2010 par une autre structure. Cette différence de résultats pourrait être justifiée par une différence du trafic poids lourd que nous avons considéré, nous rappelons que nous avons utilisé des données du trafic de 2010 d'une rue parallèle aux nôtres que nous avons actualisé à la date de mise en service du projet c'est-à-dire 2018, ce qui nous a permis d'obtenir un nombre de poids lourd de 415 contre 295.

Légende :

BB : Béton Bitumineux

GLL : Graveleux Latéritique Litho stabilisée

GAL : Graveleux Argileux Latéritique

GLN tlh : Graveleux Latéritique Naturel traité au liant hydraulique (ciment)

V.2. Étude topographie et conception géométrique

Dans cette partie, il est question d'utiliser les données topographiques pour réaliser la conception géométrique de la route en faisant ressortir ses éléments fondamentaux (tracé en plan, profil en long et profil en travers).

V.2.1. Etude topographique

Source des données

L'étude topographique a été réalisée par le bureau d'étude TED pour l'obtention des levés topographiques des tronçons des deux rues. Les levés topographiques ont été faits sur toute la longueur des routes existantes.

Exploitation des données

Nous avons exploité les semis de points (x, y, z) qui nous ont été remis. Le logiciel de conception assistée par l'ordinateur (CAO) Piste 5 a servi pour la conception géométrique.

V.2.2. Conception géométrique

La conception d'une route passe nécessairement par la définition de certaines caractéristiques parmi lesquelles le choix du type de route permettant de définir les règles d'aménagement de la route, le choix de la catégorie de la route qui fixe les principales caractéristiques du tracé et le choix du profil en travers. Les éléments caractérisant la géométrie de la route sont :

- Le tracé en plan
- Le profil en long
- Le profil en travers

❖ **Normes**

La présente étude porte sur l'aménagement de la voirie dans la ville de Ouagadougou. La norme d'aménagement ainsi utilisée est l'ICTAVRU (Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines). C'est un manuel de référence d'aide au choix de partie d'aménagement et de conception générale d'infrastructures routières en milieu urbain.

Les grandes voies non autoroutières sont classées de type U. L'ICTAVRU propose deux catégories associées à ce type de voie : la U60 et la U80 respectivement pour des vitesses de référence de 60 km/h et de 80 km/h. Le choix de la vitesse de référence pour cette étude est de 60 km/h soit la catégorie U60. L'idée est de se rapprocher de la vitesse pratique règlementée en ville.

Ce dernier est un paramètre principal pour le choix des différents paramètres fondamentaux de la géométrie routière.

❖ **Tracé en plan**

Le tracé en plan est la projection sur le plan horizontal de l'axe de la chaussée. Il est constitué d'une succession d'alignements droits et de courbes.

La voirie étudiée étant urbaine, son insertion dans le milieu urbain est indispensable et constitue une contrainte d'aménagement. L'axe des voies est ainsi choisi de manière à être centré au mieux sur l'emprise du lotissement.

Les valeurs limites des rayons sont résumées dans le Tableau 15.

Tableau 15: Valeurs limites des rayons (source : ICTAVRU du CERTU)

Catégorie	U 60
Rayon non déversé	200 m
Rayon minimal	120 m

❖ Profil en long

Le profil en long est composé d'éléments rectilignes caractérisés par leur déclivité (pente ou rampe), des raccordements circulaires (ou paraboliques) caractérisés aussi par leur rayon. Pour des raisons de confort dynamique et de confort visuel notamment, les paramètres géométriques du profil en long doivent respecter les caractéristiques limites résumées dans le Tableau 16.

Tableau 16: Paramètres géométriques du profil en long (source : ICTAVRU du CERTU)

Catégorie	U 60
Déclivité moyenne π	6 %
Rayon normal en angle saillant	2500 m
Rayon minimal en angle saillant	1500 m
Rayon normal en angle rentrant	1500 m
Rayon minimal en angle rentrant	800 m

❖ Profil en travers types

Le profil en travers est une coupe transversale de la route. Il comprend les éléments constitutifs de la chaussée, les largeurs de voies, les ouvrages d'assainissement, les dispositifs de bordures de sécurité et d'éclairage. Nous avons au total deux types de profil en travers type qui sont :

➤ Profil en travers T1 : Rue Wemba Poko (29.21)

C'est une route 2 x 2 voies avec 2 pistes cyclables, un terre-plein central de largeur 1,4 m, des caniveaux de part et autre de la chaussée. La Figure 4 apporte plus de précision sur le profil en travers.

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Profil en travers type 1

Wemba POKO (Rue 29.21)

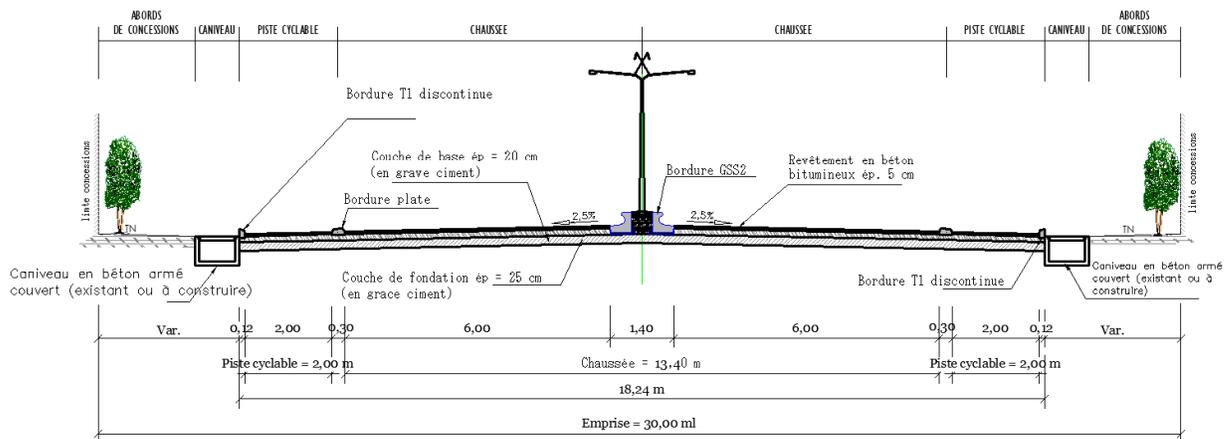


Figure 4: Profil type T1

❖ Profil en travers T2 : Rue 29.46

C'est une route 1 x 2 voies avec un accotement et des caniveaux de part et d'autre de la chaussée. La Figure 5 suivante apporte plus de précision sur le profil en travers.

Profil en travers type 2

Rue 29.46

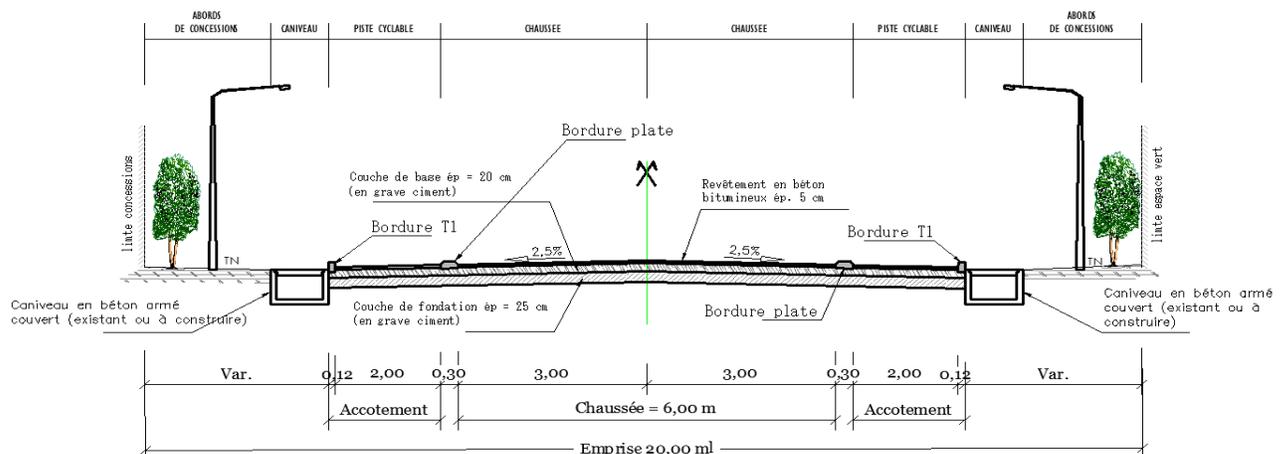


Figure 5: Profil en travers type 2

V.3 Etude hydrologique et hydraulique

Sur toutes ses formes, il est connu que l'eau constitue une des causes premières des diverses dégradations rencontrées sur une route. Il devient donc primordial d'assainir le plus efficacement possible la route afin de la maintenir hors de l'eau.

L'étude de l'assainissement de la voirie consistera essentiellement à la conception de caniveaux de part et d'autre des voies, et des dalots de traverses.

V.3.1 Étude hydrologique

❖ Caractéristique des bassins versants

La première étape de cette étude à consister en la détermination des caractéristiques physiques des bassins versants influençant les rues du projet.

La délimitation des bassins versants a été réalisée grâce au logiciel Global Mapper, qui est un outil d'information de données géographique. D'abord, nous avons identifié la zone du projet sur une carte planimétrique grâce au logiciel Google Earth, ensuite nous avons fait ressortir le tracé routier grâce au même logiciel. Ce tracé routier a été exporté vers le logiciel Global Mapper afin de délimiter les différents bassins versants et faire ressortir leurs caractéristiques. Les bassins versants du projet sont présentés dans la figure 6.

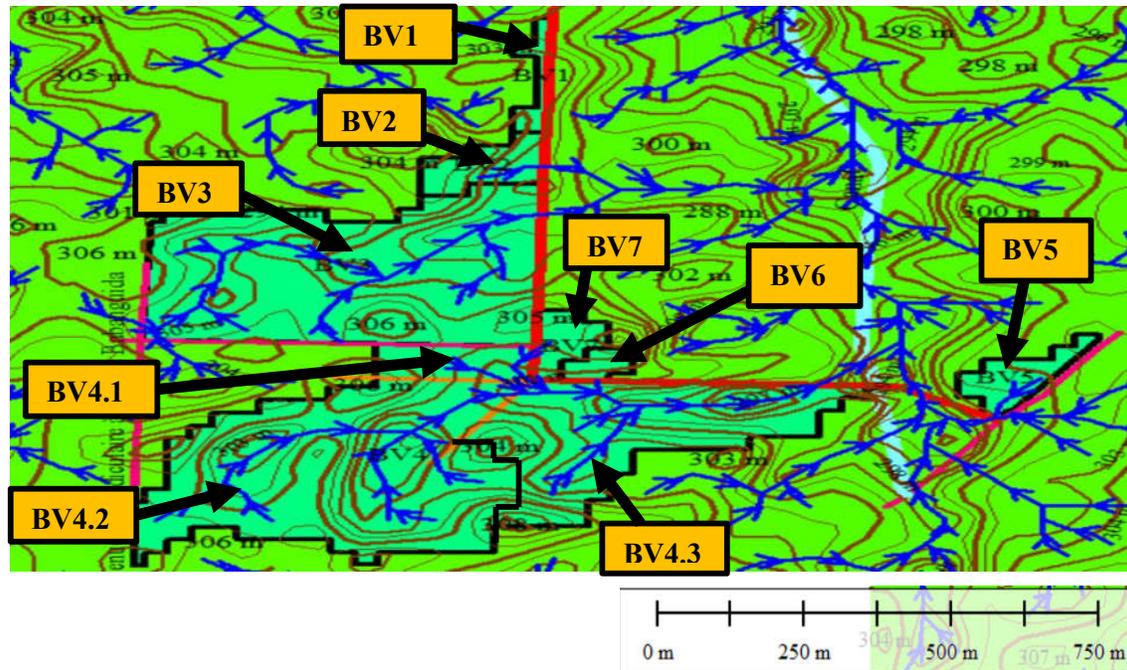


Figure 6: Bassins versants du projet

❖ Évaluation des débits de crue

L'hydraulique routière indique la méthode rationnelle et celle de caquot pour l'estimation des débits de crue pour les petits bassins versants avec des superficies inférieures à 400 ha. Pour ce projet les deux méthodes seront utilisées pour l'évaluation des débits compte tenu de la petite taille des bassins versants et les débits maximums seront retenus.

➤ Méthode rationnelle

Cette méthode est très utilisée du fait de sa simplicité. Le débit s'obtient par la relation suivante :

$$Q = \frac{1}{360} \times C \times i \times A \quad (5)$$

Avec,

C : le coefficient de ruissellement qui traduit le fait qu'une partie de l'eau précipitée ne parviennent pas à l'exutoire, il est sans unité.

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

i : l'intensité de pluie, exprimée en mm/h

A : la surface réceptrice, exprimée en ha.

- Le coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement dépend de la nature du sol. Pour ce projet les coefficients ont été considérés en fonction de la zone et la nature du sol dans le tableau de coefficient de ruissellement de Bourrier, 1997 dans l'annexe II . Le Tableau 17 indique les coefficients obtenus.

Tableau 17: Coefficient de ruissellement

Désignation	Valeurs
Bassins versants	0,35
Chaussées	0,95

Un coefficient de ruissellement équivalent est déterminé pour les surfaces en relations (série ou parallèle) par l'expression suivante :

$$C \text{ éq} = \frac{\sum A_j \times C_j}{\sum A_j}$$

A_j et C_j : sont les surfaces et coefficients de ruissellement des surfaces élémentaires.

- L'intensité de pluie

La détermination de l'intensité de l'averse est fonction du temps de concentration du bassin versant et des coefficients de montana dépendant du lieu et de la fréquence pluviométrique.

Le Tableau 18 donne les valeurs de ces coefficients pour la ville de Ouagadougou.

Tableau 18: Paramètres de Montana dans la ville de Ouagadougou

Paramètres	Période de retour d' 1 an		Période de retour de 10 ans	
	Durée < 1h	Durée > 2h	Durée < 1h	Durée > 2h
a	5,6	31,0	9,4	39,0
b	0,5	0,9	0,5	0,9

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

- Le temps de concentration

Le temps de concentration est le temps que met une goutte d'eau provenant du point le plus éloigné de l'exutoire pour parvenir à celui-ci. Il existe plusieurs formules pour sa détermination. Pour ce projet, nous utiliserons la formule de KIRPICH qui est l'une des deux formules les plus utilisées en Afrique d'après le document BCEOM, 1981.

$$T_c = 0,01947 \times \frac{L^{0,77}}{I^{0,385}} \quad (6)$$

Avec,

L : la longueur du plus long cheminement hydraulique en m.

I : pente moyenne en m/m.

Un temps de concentration équivalent est déterminé pour les surfaces en relation (série et parallèle) et diffère en fonction du type de relation.

➤ Méthode de Caquot

La méthode de caquot ou encore méthode superficielle peut être considérée comme une évolution de la méthode rationnelle. Le débit s'obtient par l'expression suivante :

$$Q = K_u^{\frac{1}{u}} \times I^{\frac{v}{u}} \times C_u^{\frac{1}{u}} \times A^{\frac{w}{u}} \quad (7)$$

Avec Q le débit maximal à l'exutoire, exprimé en m³/s

I (m/m) la pente moyenne du bassin versant

C, le coefficient de ruissellement

A, la superficie du bassin versant en ha

a et b coefficients de montana

K, u, v, w coefficients d'ajustement

M, l'allongement du bassin versant

m, facteur correctif

$$k = \frac{0,5^b \times a}{6,6}$$

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

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

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

$$M = \frac{L (m)}{\sqrt{A (m^2)}} \neq 2 \text{ alors } Q_{\text{cor}} = m \times Q$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

$$m = \left(\frac{M}{2}\right)^u \quad \text{et} \quad u = \frac{0,84 \times b}{1+0,287 \times b}$$

$$I = \frac{(\sum L_j)^2}{(\sum \frac{L_j}{\sqrt{I_j}})^2}$$

➤ **Valeurs des paramètres des surfaces élémentaires**

Après application des formules, les résultats sont résumés dans le Tableau 19 et le tableau 20.

Tableau 19: Récapitulatif des paramètres des bassins versants

Bassins Versants	Superficie (ha)	Plus long écoulement (m)	Dénivelée (m)	Pente (m/m)	Coefficient de ruissellement	Temps de concentration (min)
BV 1	0,762	290	4	0,014	0,35	7,97
BV 2	1,622	262	6	0,023	0,35	6,07
BV 3	17,010	820	9	0,011	0,35	19,38
BV 4.1	1,717	227	6	0,026	0,35	5,14
BV 4.2	16,200	753	10	0,013	0,35	16,87
BV 4.3	9,430	794	17	0,021	0,35	14,62
BV 5	1,412	277	3	0,011	0,35	8,45
BV 6	0,575	155	3	0,019	0,35	4,32
BV 7	1,177	258	6	0,023	0,35	5,96

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Tableau 20: Récapitulatif des paramètres des demi-chaussées

Demi-chaussée au bord du caniveau	Superficie (ha)	Plus long écoulement (m)	Dénivelée (m)	Pente (m/m)	Coefficient de ruissellement	Temps de concentration (min)
1	0,139	164	1	0,006	0,95	7,04
2	0,214	429	6	0,014	0,95	10,72
3	0,089	178,34	2	0,011	0,95	5,94
4	0,265	312	3	0,010	0,95	9,69
5	0,105	124	2	0,016	0,95	3,90
6	0,237	279	3	0,011	0,95	8,52

➤ **Résultats du calcul des débits**

➤ Surfaces élémentaires

Pour chaque bassin versant, après le calcul des paramètres et application de la méthode rationnelle et de caquot, les résultats de calculs de débits décennaux sont consignés dans les tableaux 21 au 24.

– Méthode rationnelle

Tableau 21: Débit par bassin versant (méthode rationnelle)

Bassin Versant	Superficie (ha)	Intensité (mm/h)	Débit (m ³ /s)
BV 1	0,762	199,74	0,148
BV 2	1,622	228,99	0,361
BV 3	17,01	128,10	2,119
BV 4.1	1,717	248,76	0,415
BV 4.2	16,200	137,32	2,163
BV 4.3	9,430	147,51	1,352
BV 5	1,412	194,05	0,266
BV 6	0,575	271,35	0,152
BV 7	1,177	231,04	0,264

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Tableau 22: Débit par demi-chaussée (méthode rationnelle)

Demi-chaussée du caniveau	Superficie (ha)	Intensité (mm/h)	Débit (m ³ /s)
1	0,139	212,58	0,078
2	0,214	172,24	0,097
3	0,089	231,45	0,054
4	0,265	181,16	0,127
5	0,105	285,49	0,079
6	0,237	193,24	0,121

– Méthode de Caquot

Tableau 23: Débit par bassin versant (méthode de Caquot)

Bassin Versant	Superficie (ha)	Pente équivalente (m/m)	Allongement M	Débit brut (m ³ /s)	Correction m	Débit (m ³ /s)
BV 1	0,762	0,014	3,32	0,196	0,78	0,153
BV 2	1,622	0,023	2,06	0,408	---	0,408
BV 3	17,010	0,011	2,00	2,322	---	2,322
BV 4.1	1,717	0,026	1,73	0,442	1,07	0,474
BV 4.2	16,200	0,013	1,87	2,334	1,03	2,411
BV 4.3	9,430	0,021	2,59	1,680	0,88	1,481
BV 5	1,412	0,011	2,33	0,306	0,93	0,284
BV 6	0,575	0,019	2,00	0,169	---	0,169
BV 7	1,177	0,023	2,38	0,315	0,92	0,290

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Tableau 24: Débit par demi-chaussée (méthode de Caquot)

Demie-chaussée du caniveau	Superficie (ha)	Pente équivalente (m/m)	Allongement M	Débit brut (m ³ /s)	Correction m	Débit (m ³ /s)
1	0,139	0,006	4,39	0,131	0,68	0,089
2	0,214	0,014	9,26	0,225	0,47	0,106
3	0,089	0,011	5,97	0,105	0,58	0,061
4	0,265	0,010	6,06	0,245	0,58	0,142
5	0,105	0,016	3,82	0,131	0,73	0,095
6	0,237	0,011	5,73	0,230	0,60	0,137

➤ Caniveaux du projet

Pour l'évaluation du débit des caniveaux, nous avons effectué des assemblages de bassins versants et des voies de circulation en fonction de la topographie de la zone. Il y'a deux cas selon que les bassins versants sont soit en série ou en parallèle, le Tableau 25 et Tableau 26 récapitulent la détermination des paramètres selon les deux cas. Le récapitulatif du débit des caniveaux est consigné dans le Tableau 27.

Tableau 25: Paramètres pour surfaces élémentaires en série

Paramètres / Méthodes	Surface équivalente (A éq)	Coefficient de ruissellement équivalent (C éq)	Pente équivalente (I éq)	Allongement équivalent (M éq)
Méthode rationnelle	$\sum A_j$	$\frac{\sum C_j \times A_j}{\sum A_j}$	---	---
Méthode de Caquot	$\sum A_j$	$\frac{\sum C_j \times A_j}{\sum A_j}$	$\frac{(\sum L_j)^2}{\sum \left(\frac{L_j}{\sqrt{I_j}}\right)^2}$	$\frac{\sum L_j}{\sqrt{\sum A_j}}$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Tableau 26: Paramètres pour surfaces élémentaires en parallèle.

Paramètres Méthodes	Surface équivalente (A éq)	Coefficient de ruissellement équivalent (C éq)	Pente équivalente (I éq)	Allongement équivalent (M éq)
Méthode rationnelle	$\sum A_j$	$\frac{\sum C_j * A_j}{\sum A_j}$	---	---
Méthode de Caquot	$\sum A_j$	$\frac{\sum C_j * A_j}{\sum A_j}$	$\frac{\sum I_j * Q_j}{\sum Q_j}$	$\frac{L (Q_j \max)}{\sqrt{\sum A_j}}$

Le plan des caniveaux du projet et un tableau récapitulatif des relations entre bassins versants sont dans l'annexe III.

Tableau 27: Récapitulatif des débits des caniveaux

Rue	Caniveau	Longueur (m)	Débit (m ³ /s) par la méthode rationnelle	Débit (m ³ /s) par la méthode de Caquot
29.46	C1- Droit	164	0,433	0,575
	C1- Gauche	164	0,321	0,380
	C2- Droit	429	3,5	2,972
	C2- Gauche	429	0,805	0,611
	C3- Droit	178,34	0,054	0,061
	C3- Gauche	178,34	0,263	0,267
29.80	C7	126	2,163	2,411
29.21 (Wemba-Poko)	C4 – Droit	312	2,208	2,437
	C4 – Gauche	312	0,127	0,142
	C5- Droit	124	2,299	2,464
	C5- Gauche	124	0,160	0,178
	C6- Droit	279	2,247	2,353
	C6- Gauche	279	2,476	3,265

V.3.2. Étude hydraulique

L'étude hydraulique a pour but la détermination des sections hydrauliques (ouvertures) des ouvrages hydrauliques capables d'évacuer les débits décennaux.

➤ Dimensionnement hydraulique des ouvrages d'assainissement longitudinaux

Nous utiliserons la formule de Manning-Strickler pour déterminer les dimensions des différents tronçons de caniveaux.

$$Q = K_s \times S \times R h^{2/3} \times \sqrt{I} \quad (8)$$

K_s : Coefficient de Strickler

S : La section mouillée ; $S = b \times h$, car la section est rectangulaire.

R_H : Le rayon hydraulique ; $R_H = \frac{S}{P} = \frac{b \times h}{b + 2h}$

I : la pente de fond

Le calcul des dimensions b et h des caniveaux se fait en fixant une valeur de b et par le calcul solveur de Excel nous obtenons la valeur de h correspondant à la convergence, ensuite on rajoute une revanche $r = 0,2$ m au tirant d'eau qui constituera la hauteur du caniveau. Une vérification de la vitesse dans l'ouvrage est indispensable, car une valeur trop grande pourrait entraîner l'érosion du fond et une valeur très faible pourrait entraîner des dépôts au fond de l'ouvrage. On considère $V_{\max} = 3,5$ à 4 m/s et $V_{\min} = 0,3$ m/s. La note de calculs du dimensionnement hydraulique des caniveaux est consignée dans l'annexe IV.

Le récapitulatif des dimensions des caniveaux est donné dans le Tableau 28.

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Tableau 28: Récapitulatif des dimensions des caniveaux

Rue	Caniveau	Débit projet (m ³ /s)	Ks	Pente I (m/m)	b (m)	y (m)	Revanche r (m)	h (m)	Section (cm x cm)	Vitesse (m/s)
29.46	C2- Droit	3,5	70	0,01	1,5	0,67	0,2	0,87	150 x 100	3,50
	C2- Gauche	0,805	70	0,01	0,8	0,41	0,2	0,61	80 x 80	2,42
	C3- Droit	0,061	70	0,01	0,6	0,09	0,2	0,29	60 x 60	1,16
	C3- Gauche	0,267	70	0,01	0,6	0,24	0,2	0,44	60 x 60	1,83
29.80	C7	2,411	70	0,01	1	0,76	0,2	0,96	100 x 100	3,15
29.21 (Wemba Poko)	C1- Droit	0,575	70	0,01	0,8	0,32	0,2	0,52	80 x 80	2,22
	C1- Gauche	0,379	70	0,01	0,5	0,31	0,2	0,51	50 x 50	2,01
	C4 – Droit	2,436	70	0,01	1	0,77	0,2	0,97	100 x 100	3,16
	C4 – Gauche	0,142	70	0,01	0,6	0,15	0,2	0,35	60 x 60	1,53
	C5- Droit	2,454	70	0,01	1	0,77	0,2	0,97	100 x 100	3,16
	C5- Gauche	0,178	70	0,01	0,6	0,18	0,2	0,38	60 x 60	1,64
	C6- Droit	2,353	70	0,01	1	0,75	0,2	0,95	100 x 100	3,14
	C6- Gauche	3,265	70	0,01	1,2	0,79	0,2	0,99	120 x 100	3,42

➤ **Dimensionnement hydraulique des ouvrages d'art**

Les différents dalots sont des prolongements des caniveaux pour la traversée des rues adjacentes. Ce qui conduira à garder les mêmes sections hydrauliques que les caniveaux.

Qu'en au grand dalot dans le canal de Wemtenga, ces ouvertures seront fonction des dimensions du canal.

Le canal de Wemtenga est de section trapèzoidale, avec une base de 4,3 m, un fruit de berge de 1,8 m et une hauteur d'environ 1,10 m.

Pour la construction du dalot, nous procéderons à la démolition des talus.

V.3.3. Analyse et commentaire des résultats

Au terme de ces calculs, nous constatons que les débits obtenus par ces deux méthodes sont sensiblement équivalents. Aussi les sections de certains caniveaux obtenues diffèrent de celles existantes. Cela peut être due par la différence des paramètres d'entrées (pente et base), de la période de retour ou d'un surdimensionnement des caniveaux existants.

Le Tableau 29 et le Tableau 30 suivant récapitulent respectivement les différentes sections calculées et existantes, puis indique la décision à prendre pour la construction des caniveaux et des dalots.

Tableau 29: Récapitulatif des différentes sections de caniveaux calculées et existantes

Caniveaux	Sections existantes (cm²)	Sections calculées (cm²)	Décisions
C 1D	50 x 50 et 100 x 100	80 x 80	Démolir les 50 x 50, reconstruire des 80 x 80 sur 85 m et conserver les 100 x 100
C 1G	50 x 50 et 70 x 70	50 x 50	Conserver les caniveaux
C 2D	150 x 100	150 x 100	Conserver les caniveaux
C 2G	100 x 100 et 150 x 100	80 x 80	Conserver les caniveaux
C 3D	Non existante	60 x 60	Construire des 60 x 60 sur 178,34 m
C 3G	Non existante	60 x 60	Construire des 60 x 60 sur 174,34 m
C7	Non existante	100 x 100	Construire des 100 x 100 sur 126 m
C 4D	50 x 50 ; 70 x 50 et 80 x 80	100 x 100	Tout démolir et construire des 100 x 100 sur 312 m
C 4G	70 x 70	60 x 60	Conserver les caniveaux
C 5D	80 x 80 ; 100 x 100 et 50 x 50	100 x 100	Démolir les 80 x 80 et 50 x 50, reconstruire des 100 x 100 sur 189 m et conserver les 100 x 100
C 5G	70 x 70	60 x 60	Conserver les caniveaux
C 6D	50 x 50 et 70 x 70	100 x 100	Démolir les caniveaux et reconstruire des 100 x 100 sur 279 m
C 6G	120 x 120	120 x 100	Conserver les caniveaux

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Tableau 30: Récapitulatif des différentes sections de dalots calculées et existantes

Rue	Dalots existants (cm ²)	Côté	Décisions
Wemba Poko (29.21)	1 x 70 x 70	Droit	Construire : 1 x 100 x 100
	1 x 50 x 50	Droit	Construire : 1 x 100 x 100
	1 x 120 x 120	Gauche	Conserver
	1 x 100 x 100	Transversal	Conserver
	1 x 100 x 100	Droit	Conserver
	1 x 80 x 80	Droit	Construire : 1 x 100 x 100
	1 x 70 x 70	Gauche	Conserver
	1 x 80 x 80	Gauche	Construire : 1 x 100 x 100
	1 x 70 x 50	Droit	Construire : 1 x 100 x 100
	1 x 50 x 50	Droit	Construire : 1 x 100 x 100
	1 x 50 x 50	Gauche	Conserver
	1 x 50 x 50	Droit	Construire : 1 x 100 x 100
	1 x 80 x 80	Droit	Conserver
	1 x 100 x 100	Transversal	Conserver
29.46	1 x 100 x 100	Gauche	Conserver
	1 x 150 x 100	Droit	Conserver
	1 x 150 x 100	Gauche	Conserver
	1 x 150 x 100	Gauche	Conserver
	1 x 150 x 100	Droit	Conserver
	1 x 150 x 100 (2)*	Droit	Conserver
	1 x 100 x 100 (2)*	Droit	Conserver
	1 x 150 x 100 (2)*	Gauche	Conserver
	Non existant	Transversal	3 x 3 x 1,5

*Nombre de dalots

V.4. Dimensionnement structural des ouvrages hydrauliques

Le dimensionnement hydraulique a permis d'obtenir les sections des caniveaux et des dalots. L'étude de cette partie nous permettra d'obtenir le ferrailage pour la construction de ces ouvrages à travers le dimensionnement structural.

Nous dimensionnerons un caniveau type de section 150 x 100 cm² et le grand dalot sur le canal de Wemtenga d'ouverture 3 x 3 x 1,5 cm², le même principe de dimensionnement est utilisé pour les autres sections de caniveaux et dalots.

V.4.1. Dimensionnement des caniveaux

Nous dimensionnerons un caniveau type de section 150 x 100 cm², le même principe de dimensionnement est utilisé pour les autres caniveaux. Les hypothèses et détails de calculs sont regroupés dans l'annexe V.

➤ Résultats des calculs

Les résultats des sollicitations sont consignés dans le Tableau 31 et le récapitulatif des sections d'acier dans le Tableau 32.

Tableau 31: Résultats des sollicitations du caniveau type 150 x 100 cm²

Sollicitations	Dalette		Piédroit		Radier	
	ELU	ELS	ELU	ELS	ELU	ELS
Moment fléchissant (kN.m)	63,77	42,68	5,39	2,41	10,54	9,69
Effort normal (kN/ml)	-	-	81,08	55,40	-	-

Tableau 32: Ferrailage du caniveau type 150 x 100 cm²

Ferrailage			
Dalette de 50 cm de largeur	Inférieur	7 HA 12	esp = 10 cm
	Supérieur	7 HA 12	esp = 10 cm
	Transversal	4 HA 10	esp = 40 cm
Piédroit	Principal	6 HA 10	esp = 15 cm
	Transversal	HA 10	esp = 20 cm
Radier	Principal	6 HA 10	esp = 15 cm
	Transversal	HA 8	esp = 20 cm

Le plan de ferrailage et de coffrage du caniveau type 150 x 100 cm² est dans l'annexe VI.

V.4.2. Dimensionnement des dalots

Nous dimensionnerons le plus grand dalot, il est dans le canal de Wemtenga au croisement de la rue 29.46 de section hydraulique $3 \times 3 \times 1,5 \text{ cm}^2$. Le même principe de dimensionnement est utilisé pour les autres dalots.

➤ Conception

Les dalots sont des éléments à section rectangulaire simple ou multiple qui ne nécessitent pas forcément de remblai, ils peuvent constituer directement une plateforme pour les charges roulantes à condition de prendre en compte leur poids lors de la construction de ces dalots. Dans tous les cas, les dalots n'admettent pas une grande épaisseur de remblai (cette épaisseur ne doit pas dépasser 2 m), sauf les cas d'aménagements spéciaux, **source : Hydraulique routière- BCEOM.**

On distingue :

- Les dalots ordinaires constitués de piédroits verticaux fondés sur semelles ou radier et sur lesquels repose une dalle en béton armé ;
- Les ponts cadres (dans lesquels la dalle, les piédroits et radier constituent une structure rigide en béton armé formant donc un cadre) ;
- Les dalots portiques (analogues aux dalots-cadres, mais sans radier, les piédroits verticaux sont fondés sur semelles.

Dans le cadre de notre étude, il s'agit de construire un dalot dans un canal pour permettre l'écoulement des eaux de pluie et le passage des usagers, nous optons pour le dalot-cadre. La note de calcul de l'ensemble du dalot est dans l'annexe VII.

➤ Pré dimensionnement

Détermination de l'épaisseur du dalot

L'épaisseur est considérée uniforme pour le tablier, radier et piédroits. L'épaisseur du dalot est généralement déterminée par :

- $e = \frac{l}{15}$; où l , est la plus grande dimension de l'ouverture hydraulique. Ici $l = 3 \text{ m}$ d'où
 $e = \frac{300}{15} = 20 \text{ cm}$.

- $e = \frac{1}{32} + 0,125$
 $e = \frac{3}{32} + 0,125 = 0,22 \text{ m}$

Nous considérons une épaisseur de 30 cm.

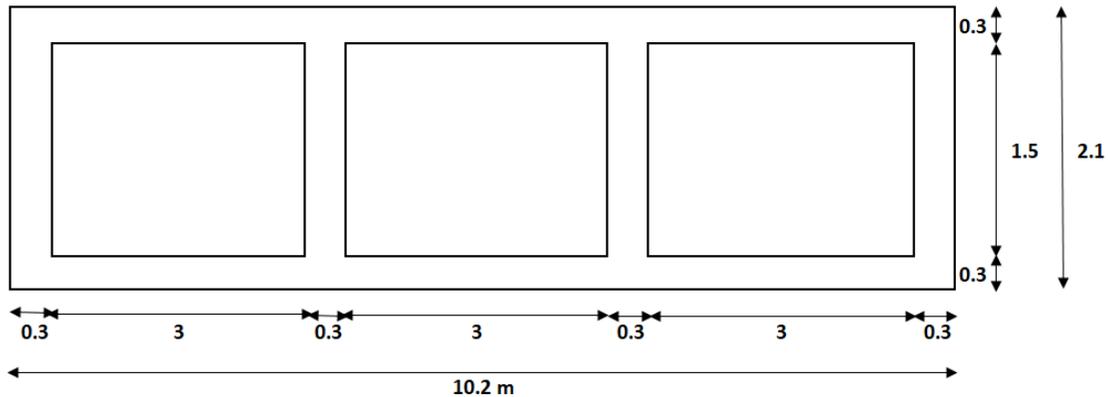


Figure 7: Dalot de franchissement du canal de Wemtenga

➤ Dimensionnement du dalot

Règles de calculs

Les règles de calculs béton armé sont celles définies dans le BAEL 91 modifiée 99. Les structures routières seront définies conformément aux prescriptions du titre II du fascicule 61 du cahier des prescriptions communes (C.P.C) Français en la matière. Les ouvrages seront calculés par rapport aux systèmes de charges A(L), et B (Bc, Bt).

Méthode de calculs

De manière générale, les études seront faites par bande d'un mètre de dalot ($b = 1 \text{ m}$). Pour le calcul des sollicitations dans les éléments de structure du cadre, nous considérerons les différents cas de charges : sous actions permanentes d'une part et sous surcharge d'exploitation (routière) d'autre part. Pour chaque cas de charge, nous calculerons les moments fléchissant M aux appuis, les moments en mi-travée et les efforts normaux N dans les éléments piédroits,

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

tablier et radier. Les sollicitations seront déterminées par la méthode des rotations pour l'étude de l'équilibre de chaque nœud.

Les résultats de calculs

La combinaison utilisée :

$$\text{ELS} : 1,35 \times G + 1,2 \times Q \quad (9)$$

Les résultats des sollicitations sont consignés dans le Tableau 33 et le récapitulatif des ferraillements obtenus dans le Tableau 34.

Tableau 33: Sollicitations maximales

Partie de l'ouvrage	Sollicitations en kN.m et kN/ml		ELS
Tablier	Moment fléchissant	Appui	121,65
		Travée	60,93
Radier	Moment fléchissant	Appui	43,70
		Travée	104,37
Piédroit intérieur	Moment fléchissant	Appui	2,38
		Travée	4,90
	Effort normal		395,08
Piédroit extérieur	Moment fléchissant	Appui	114,31
		Travée	48,48
	Effort normal		192,23

Tableau 34: Ferrailage du dalot 3 x 3 x 1,5

Ferrailage				
Tablier	Travée	Inférieure	9 HA 14	Espacement de 15 cm
		Supérieure	9 HA 12	Espacement de 15 cm
	Appui		17 HA 14	Espacement de 5 cm
	Répartition		HA 10	Espacement de 20 cm
Piédroit intérieur	Principal		4 HA 14	Espacement de 20 cm
	Répartition		HA 10	Espacement de 20 cm
Piédroit extérieur	Principal		4 HA 14	Espacement de 20 cm
	Répartition		HA 10	Espacement de 20 cm
Radier	Travée	Supérieur	15 HA 14	Espacement de 10 cm
		Inférieur	15 HA 12	Espacement de 10 cm
	Appui		9 HA 12	Espacement de 15 cm
	Répartition		HA 10	Espacement de 20 cm

➤ **Dimensionnement des murs en aile**

Les murs en ailes sont calculés comme des murs de soutènement.

Donnée :

Hauteur totale de l'ouvrage H_t (voile + semelle) = 2,1 m

Coefficient de poussée des terres : $k_a = 0,33$

Angle de frottement interne : $\phi = 30^\circ$

Poids volumique des terres : $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

Pré-dimensionnement

Pour uniforme les épaisseurs du mur en aile aux piedroits, prenons :

$$e_0 = 0,3 \text{ m}$$

$$e_1 = e_2 = 0,3 \text{ m}$$

Largeur de la semelle : $B = (0,2 + 0,45 \times 2,1) \times 1,15 = 1,32 \text{ m}$, prenons 1,4 m

Largeur du patin : $\frac{H}{8} = \frac{2,1}{8} = 0,26 \text{ m} < b < \frac{H}{5} = \frac{2,1}{5} = 0,42 \text{ m}$, prenons $b = 0,3 \text{ m}$

Largeur du talon : $a = B - e_1 - b = 1,4 - (0,3 + 0,3) = 0,8 \text{ m}$

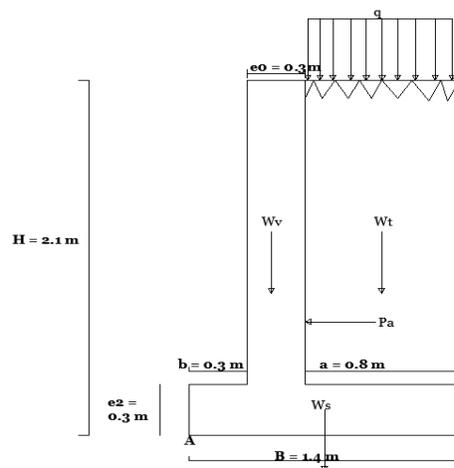


Figure 8: Mur en aile

Le Tableau 35 suivant récapitule le ferrailage du mur en aile et le détail des calculs est dans l'annexe VIII.

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Tableau 35: Récapitule des sollicitations et ferrailage du mur en aile

Désignation		Moment (kN.m)	Effort de compression (kN)	Armature principale	Armature de répartition
Voile	S1	11,76	16,2	4 HA 10 avec espacement de 25 cm.	6 HA 8 avec espacement de 15 cm.
	S4	0,83	5,4	4 HA 10 avec espacement de 20 cm.	HA 8 avec espacement de 10 cm.
	S5	2,14	8,1		
	S6	4,28	10,8		
Semelle	Patin (S2)	2		4 HA 10 avec espacement de 25 cm.	6 HA 8 avec espacement de 10 cm.
	Talon (S3)	11,17			6 HA 8 avec espacement de 25 cm.

V.4.3. Analyse et commentaire des résultats

A l'issue du dimensionnement structural des ouvrages hydraulique, nous avons obtenu différentes sections d'armatures qui sont fonction des dimensions de ces derniers et de leurs chargements. Quant aux différents diamètres d'aciers, nous avons à peu près les mêmes que celle de la structure d'accueil.

V.5. Aménagement de la voirie

V.5.1. Aménagement des carrefours

La plupart des accidents observés sur les routes se produisent au niveau des intersections. Il devient donc indispensable d'aménager les carrefours pour améliorer les conditions de sécurité des usagers. Le type de carrefour envisagé est un carrefour en T et un mini-giratoire à l'intersection des deux rues (29.21 et 29.46).

➤ Carrefour en T

La circulation est régulée par des feux tricolores à l'intersection des voies.

➤ Mini-giratoire

Les mini-giratoires sont des carrefours giratoires de dimensions réduites (rayons extérieurs $R \leq 12$ m). Les caractéristiques géométriques adoptées pour ces carrefours sont :

Rayon extérieur $R = 12$ m

Rayon de l'îlot central $R = 2,5$ m

Rayon des îlots séparateurs : 1,5 m

Largeur de l'anneau 9,5 m

Largeur des voies d'entrée et de sortie : 3,5 m

V.5.2. Aménagement des amorces

Les amorces sont des pistes se raccordant à la voie principale et conduisant à l'intérieur des quartiers. Ils seront bitumés sur 15 m de longueur et leurs rayons de raccordement avec voies principales sont choisis de façon à faciliter l'insertion des différents types de véhicules. Un rayon de 8 m est envisagé.

V.5.3. Signalisation et sécurité routière

L'étude pour la signalisation et la sécurité routière a pour but de constituer l'instrument de communication majeur entre le conducteur et l'infrastructure qu'il emprunte. Elle transmet les informations nécessaires afin de réduire les causes d'accidents et faciliter la circulation.

❖ Signalisation horizontale

Les marques sur la chaussée seront réalisées notamment par des lignes longitudinales, des marques transversales, les autres marques (passages piétons, limites chaussées, etc.).

Les différents types de marquages longitudinaux retenus sont :

- Des marquages longitudinaux (lignes d'axe et de rives de chaussée),
- Des marquages transversaux (lignes complétant les panneaux 'stop' et 'cédez le passage'),
- La bande de passage pour piétons : positionnée suivant les points de fortes traversées de la route.

❖ Signalisation verticale

La signalisation verticale regroupe les panneaux, les balises, les bornes kilométriques servant à informer les usagers des dangers, des directions à suivre, des zones d'arrêt ou d'obligatoire à travers leur emplacement, leur couleur et leur forme.

Dans le cadre de ce projet, les panneaux utilisés pour la signalisation verticale sont :

- Le panneau AB3a (Cédez le passage) placé à l'approche du rond-point,
- Le panneau AB4 (Stop) placé au niveau des amorces,
- Le panneau AB25 (Carrefour à sens giratoire) placé à l'approche du rond-point,
- Le panneau B21-1 (Obligation de tourner à droite avant le panneau) placé au niveau du rond-point,
- Le panneau C20a (Passage pour piétons) placé à chaque traversée.

❖ Signalisation temporaire

La signalisation temporaire a pour objet d'avertir et de guider l'usager afin d'assurer sa sécurité et celle des agents intervenants sur la voirie tout en favorisant la fluidité de la circulation pendant les travaux.

Généralement en fond jaune, elle comprend les messages suivants :

- Début chantier / Fin de chantier,
- Déviation à gauche / à droite,
- Chaussée rétrécie / route barrée / sortie de camions.

Pendant la réalisation des travaux, il est nécessaire de mettre en place des panneaux de Signalisation :

- A 500 m à l'entrée de la zone en chantier pour signaler les travaux,
- Des panneaux de déviation.

❖ Dispositifs de sécurité

La limitation des accidents est un souci permanent pour le projeteur en voirie. L'aménagement des voies se fera de façon à limiter le risque d'accident dans la plus grande mesure possible. Ceci passe par la maîtrise du flux de piétons, qui sont les plus exposés aux risques.

Les aménagements prévus à ce titre sont entre autres :

- Des bordures type T1 discontinues aux abords de la route,
- Des bordures plates, séparateurs de la chaussée et de la piste cyclable,
- Des bordures type GSS2 au niveau du TPL (Terre-Plein Central),
- Des garde-corps sur le dalot du canal de Wemtenga,
- Des ralentisseurs de vitesse de type dos-d'âne seront réalisés à l'approche des équipements socio collectifs (écoles, etc.) et à l'approche du carrefour giratoire, pour inciter les conducteurs à réduire la vitesse de leurs véhicules. Ils seront marqués par des ensembles de triangles en peinture routière blanche et pré signalée dans chaque sens de la circulation par un dispositif d'alerte.

V.5.4. Éclairage public

L'éclairage public répond dans un premier temps à un besoin sécuritaire. Si sa nécessité peut faire sujette à discussion pour des raisons économiques, ses avantages restent nombreux et importants. Il joue un rôle important dans la perception nocturne des espaces publics. Il révèle les espaces de circulation et leurs abords immédiats, la structuration des réseaux et leur hiérarchie. Il permet de détecter les obstacles éventuels de la voirie. L'éclairage public remplit également une fonction d'aide à l'orientation nocturne: l'alignement des candélabres structure l'espace, participe à sa lisibilité et améliore la perception de l'utilisateur. Il participe en outre à la convivialité et à l'embellissement des espaces publics.

Types d'implantations

Les différents choix possibles sont présentés dans la figure suivante :

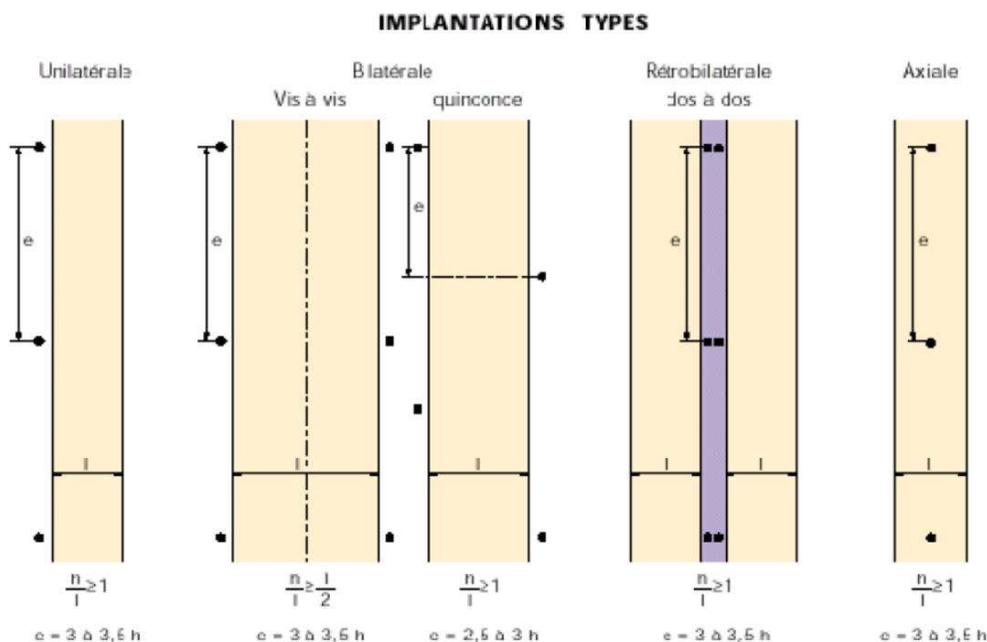


Figure 9: Type d'implantation des candélabres

➤ Rue Wemba Poko (29.21)

Profil type T1, emprise 30 m avec terre-plein central de largeur 1,4 m, largeur de la chaussée bitumée : $8 \times 2 = 16$ m.

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Pour une hauteur de candélabre $h = 12$ m, $\frac{h}{l} = \frac{12}{8} = 1,5 > 1$; le terre-plein central impose une implantation rétro bilatérale. L'espacement $e_{\max} = 3,5 \times 12 = 42$ m.

On choisira l'espacement de 40 m, implantation rétro bilatérale, candélabre de 12 m.

➤ Rue 29.46

Profil type T2, emprise 20 m sans terre-plein central, largeur de la chaussée bitumée : $5 \times 2 = 10$ m.

Pour une hauteur de candélabre $h = 9$ m, $\frac{h}{l} = \frac{9}{10} = 0,9 > \frac{1}{2}$, l'espacement $e_{\max} = 3,5 \times 9 = 31,5$ m.

On choisira l'espacement de 30 m, candélabre de 9 m.

C'est l'implantation bilatérale vis-à-vis qui convient.

V.6. Notice d'impact environnemental et social

La protection de l'environnement fait partie des préoccupations majeures de l'État burkinabé. Ainsi, l'Etat a adopté une législation et une réglementation dans l'optique d'atteindre cet objectif.

À ce jour, plusieurs textes d'application du code de l'environnement ont été adoptés par le gouvernement, en traitant à la fois des questions de prévention et de gestion des pollutions de même que le respect des normes environnementales en vigueur.

V.6.1. Cadre législatif

La mise en œuvre du projet devra se référer aux textes suivants :

- La loi N° 006-2013/AN du 02 avril 2013 portant Code de l'Environnement au Burkina Faso.
- Le décret n° 2001-185/PRE/PM/MEE du 07 mai 2001, portant fixation des normes de rejets des pollutions dans l'air, l'eau et les sols.
- L'article 20 de de la loi No 005/97/ADP du 30 janvier 1997 portant code de l'environnement, les travaux, ouvrages, aménagements et activités, ainsi que des

documents de planification assujettis à l'étude ou à la notice d'impact sur l'environnement.

La mise en œuvre d'une route produit inévitablement des impacts sur l'environnement. L'évaluation des impacts environnementaux vise à éviter ou à minimiser les impacts environnementaux potentiellement négatifs, maximiser les effets positifs et améliorer la qualité globale du projet. Les différents impacts possibles de notre projet sont les suivants :

Impacts négatifs

- La destruction des espèces ligneuses situées sur les voies d'accès aux emprunts et les zones d'emprunts,
- Les problèmes de santé et de nuisances diverses liés à la pollution de l'air par la poussière,
- Les déchets liquides et solides des chantiers entraînant un risque faible de pollution de l'air par la poussière,
- Les bruits et les fumées des engins de terrassement,
- Les déchets liquides et solides des chantiers entraînant un risque faible de pollution des eaux de surface et des eaux souterraines,
- Risque d'augmentation des accidents.

Impacts positifs

- La création d'emplois,
- L'amélioration de la circulation,
- Diminution du temps de parcours,
- Amélioration du drainage des eaux de surface,
- La facilitation des activités économiques,
- La construction des ralentisseurs au niveau des écoles primaires pour la protection des élèves.

Mesures d'atténuation

Afin de prévenir, minimiser, atténuer et compenser les impacts négatifs et conforter les impacts positifs du projet, certaines mesures seront prises en fonction de l'impact généré :

- La plantation des arbres d'alignement et d'ombrage tout le long des rues à aménager, pour compenser les éventuels arbres abattus sur l'emprise des rues, des zones d'emprunt et des carrières,
- L'aménagement des carrières en mares au profit de l'élevage (abreuvement du bétail),
- La remise en état ou la revalorisation des sites d'emprunt en vue de remettre le terrain en état de culture,
- Informer et sensibiliser les populations locales du déroulement des travaux et les risques d'accident qui sont associés,
- Création de déviations pour assurer la sécurité des usagers,
- L'arrosage du chantier et des déviations,
- Signaler adéquatement le chantier,
- Limiter la vitesse de circulation des engins de chantier,
- Informer la population riveraine de la réalisation des travaux et des éventuels désagréments.
- Sensibilisation des ouvriers de chantier et des populations riveraines sur les IST et VIH/Sida.

V.7. Estimation du coût du projet

Il s'agit dans un premier temps d'évaluer quantitativement l'ensemble des travaux nécessaires à la réalisation du projet et de procéder ensuite à l'estimation du coût du projet. Le Tableau 36 suivant récapitule l'estimation du coût du projet.

Tableau 36: Estimation du coût du projet

Désignation	Prix
Installation de chantier et concessionnaire	1 332 172 626
Travaux préparatoires	16 643 950
Assainissement	184 022 601
Chaussées, accotements, amorces et revêtement	1 454 435 082
Signalisation et sécurité	143 080 000
Aménagement divers et mesures environnementales et sociales	78 008 000
Montant hors TVA (FCFA)	2 476 971 299
Montant TVA (18%) (FCFA)	445 854 834
Montant toutes taxes comprises (FCFA)	2 922 826 132

CONCLUSION

La présente étude intitulée « Études techniques détaillées des travaux et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46 » avait pour objectifs la détermination d'une structure de chaussée capable de résister au trafic pendant sa durée de vie. D'apporter un aménagement répondant aux normes de conception géométrique, de sécurité, de confort et de réglementation d'assainissements. Toutes ces études menées ont permis d'aboutir à la proposition d'infrastructures répondant aux normes techniques tout en tenant compte de l'aspect économique et environnemental. Ces infrastructures permettront l'amélioration de la circulation dans la ville de Ouagadougou et de décongestionner la circulation sur certains axes vitaux notamment l'avenue Babanguida.

Les données géotechniques du sol support, des matériaux d'emprunt, du trafic et la durée de vie du projet nous ont permis d'avoir une structure constituée de 20 cm de couche de fondation en graveleux latéritique naturel, 20 cm de couche de base en graveleux latéritique naturel amélioré au ciment et 5 cm de couche de roulement en Béton Bitumineux.

Les données sur la pluviométrie de la zone du projet localisé dans la ville de Ouagadougou nous ont permis de ressortir les débits de crues décennaux et d'obtenir les différentes ouvertures hydrauliques pour des ouvrages hydrauliques capables d'évacuer ces débits et assurer le passage des usagers. C'est ainsi que nous avons obtenu 1343,68 ml de caniveaux à construire dont 865 ml à démolir et reconstruire, 482,68 ml à construire. Des dalots de traverse ayant les mêmes ouvertures que les caniveaux traversant la chaussée ou aux points d'entrée sur la route ; un dalot de 3 x 3 x 1,5 sur 12 ml dans le canal de Wemtenga assurant la continuité de la rue 29.46 jusqu'au croisement avec l'avenue des TENSIBA.

L'étude de l'impact environnement du projet, nous a permis de ressortir les différents impacts négatifs et positifs afin de trouver des mesures d'atténuation pour les impacts négatifs.

L'ensemble des études nous a permis de faire une estimation quantitative des travaux et d'en évaluer financièrement notre projet. Cette évaluation révèle un budget total de deux milliards neuf cent vingt-deux millions huit cent vingt-six mille cent trente-deux francs CFA (**2 922 826 132 FCFA TTC**).

Toutes ces études techniques ont donc été menées afin que ces infrastructures assurent ce pour quoi ils ont été conçus. Cependant toute infrastructure routière doit être bien exécutée et suivie d'une bonne politique d'entretien pendant son exploitation. C'est ce qui permettra à la route d'atteindre réellement sa durée de service pour laquelle elle a été conçue.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages et livres

- ✚ Centre Expérimental de Recherches et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP), Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, Ministère de la Coopération, 1980, 155 p.
- ✚ Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées (LCPC). Conception et dimensionnement des structures de chaussées, guide technique, Imprimerie Jullien Nallet, 1994, 243 p.
- ✚ Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques. Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines (ICTAVRU), 2^{ème} édition, mars 2009, 236 p.
- ✚ Ministère de l'Équipement et du Logement, Cahier des prescriptions communes applicables aux marchés de travaux publics relevant des services de l'équipement : Fascicule n° 61 : conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art : Titre II Programme des charges et épreuves des ponts-routes. 75 p.
- ✚ JEAN PERCHAT et Jean ROUX, Pratique du BAEL 91, 467p.
- ✚ SETRA, Aménagement des carrefours interurbains, Décembre 1998, 127p.

ANNEXES

Annexes I: Détails de calculs des contraintes admissibles, des déformations admissibles et de la vérification de la variante retenue avec le logiciel Alizé LCPC.....	64
Annexes II: Valeurs de coefficient de ruissellement en fonction des zones	67
Annexes III: Plans des ouvrages hydrauliques et tableau des relations entre surfaces ..	68
Annexes IV: Calcul hydraulique des caniveaux.....	70
Annexes V: Note de calculs du caniveau 150 x 100 cm²	72
Annexes VI: Plan de coffrage et de ferrailage des caniveaux 150 x 100	85
Annexes VII: Note de calculs du dalot 3 x 3 x 1,5	81
Annexes VIII: Note de calcul du mur en aile	120
Annexes IX: Plan de ferrailage du dalot 3 x 3 x 1,5.....	126
Annexes X: Plan de ferrailage du mur en aile.....	127
Annexes XI: Tracés combinés (profil en long et tracé en plan).....	128
Annexes XII: Panneaux de signalisation	130
Annexes XIII: Vue en dessus du dalot 3 x 3 x1,5	131
Annexes XIV: Tableau du devis quantitatif et estimatif	132

Annexes I: Détails de calculs des contraintes admissibles, des déformations admissibles et de la vérification de la variante retenue avec le logiciel Alizé LCPC

1. Calculs des contraintes et des déformations admissibles

• **Allongement horizontal (Béton bitumineux)**

$$\epsilon_{t, ad} = \epsilon_6 (10^\circ\text{C} ; 25 \text{ Hz}) \times \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b \times \sqrt{\frac{E(10^\circ\text{C})}{E(\theta_{eq})}} \times k_c \times k_r \times k_s \quad (3)$$

Avec : ϵ_6 , comportement à la fatigue pour les matériaux bitumineux

E ($t^\circ\text{C}$), module du matériau à la température $t^\circ\text{C}$

K_c , coefficient de calage du modèle (fonction du type de matériau)

K_r , coefficient du risque de rupture

K_s , coefficient minorateur (fonction de la portance du sol)

b , pente de la loi de fatigue du matériau

NE : nombre d'essieux équivalent

Valeurs des paramètres de calcul de l'allongement horizontal

ϵ_6 (déf)	b	k_c	E (10°C) MPa	E (40°C) MPa	CAM
$100 \cdot 10^{-6}$	$-\frac{1}{5} = -0,2$	1,1	7200	1000	0,8

Source : Conception et dimensionnement des structures de chaussée (Guide technique) LCPC.

$$K_r = 10^{-ub\delta}$$

u : variable associée au risque

δ : dispersion sur les résultats des essais de fatigues

$$r = 5\% \longrightarrow u = -1,645$$

$$\text{Avec } \delta = \sqrt{SN^2 + \left(\frac{(c \times 100) \times Sh}{b}\right)^2} \quad c = 0,02 \text{ cm}^{-1}$$

$$SN = 0,25 \quad Sh = 0,01, \text{ car } h \leq 0,10 \text{ m}$$

$$\underline{AN}: \delta = \sqrt{0,25^2 + \left(\frac{0,02 \times 0,01}{1} \times (-5)\right)^2} = 0,269$$

$$K_r = 10^{-(-1,645 \times -0,2 \times 0,269)} = 0,816$$

$K_s = 1$; car sol de type PF3.

$$NE = N \times CAM = 3,27 \times 10^6 \times 0,8 = 2,61 \times 10^6$$

$$\underline{AN}: \epsilon_{t, ad} = 100 \times 10^{-6} \times \left(\frac{2,61 \times 10^6}{10^6}\right)^{-0,2} \times \sqrt{\frac{7200}{1000}} \times 1,1 \times 0,816 \times 1$$

$$\epsilon_{t, ad} = 198,60 \mu\text{déf}$$

• **Contrainte horizontale (matériaux traités au liant hydraulique)**

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

Avec, k_d le coefficient de discontinuité.

Valeurs des paramètres de calcul de la contrainte horizontale

σ_6 (MPa)	b	k_c	k_d	CAM
0,75	$\frac{1}{15} = -0,067$	1,4	1	1,3

Source : Conception et dimensionnement des structures de chaussée (Guide technique) LCPC.

$$K_r = 10^{-ub\delta}$$

u : variable associée au risque

δ : dispersion sur les résultats des essais de fatigues

$$r = 5\% \quad \longrightarrow \quad u = -1,645$$

$$\text{Avec } \delta = \sqrt{SN^2 + \left(\frac{c \times Sh}{b}\right)^2} ; c = 0,02 \text{ cm}^{-1}$$

$$SN = 1 \quad \quad \quad Sh = 0,03$$

$$\underline{AN}: \delta = \sqrt{1^2 + \left(\frac{(0,02 \times 100) \times 0,03}{1} \times (-15)\right)^2} = 1,345$$

$$K_r = 10^{-(-1,645 \times -0,067 \times 1,345)} = 0,712$$

$$\underline{AN}: \sigma_{t, ad} = 0,75 \times \frac{4,25 \times 10^6}{10^6} \times 1,4 \times 1 \times 0,712 \times 1$$

$$\sigma_{t, ad} = 0,679 \text{ MPa}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

• **Déformation verticale (Sol et GNT)**

$$\epsilon_{Z,ad} = A \times (NE)^{-0,222} \quad (4)$$

A = 16000, car trafic moyen.

NE = N x CAM

AN: NE = 3,27 x 10⁶ x 1 = 3,27 x 10⁶

$$\epsilon_{z,ad} = 572,70 \mu\text{déf}$$

2. vérification de la variante retenue avec le logiciel Alizé LCPC

Tableau 1+2 (synthèse) :

tractions principales majeures dans le plan horizontal XoY et compressions principales majeures selon la verticale ZZ ; déflexion maximale

	niveau calcul	EpsilonT horizontale	SigmaT horizontale	EpsilonZ verticale	SigmaZ verticale
----- <i>surface (z=0.000)</i> -----					
h= 0.050 m	0.000m	-183.1 X-J	-0.070 X-J	14.0 Z-R	0.657 Z-R
E= 1000.0 MPa					
nu= 0.350	0.050m	-114.8 X-R	0.152 Y-J	497.8 Z-R	0.609 Z-R
----- <i>collé (z=0.050m)</i> -----					
h= 0.200 m	0.050m	-114.8 X-R	0.094 Y-J	908.9 Z-R	0.609 Z-R
E= 480.0 MPa					
nu= 0.350	0.250m	-239.3 Y-J	-0.072 Y-R	409.4 Z-R	0.157 Z-R
----- <i>collé (z=0.250m)</i> -----					
h= 0.200 m	0.250m	-239.3 Y-J	-0.020 Y-J	516.5 Z-R	0.157 Z-R
E= 315.0 MPa					
nu= 0.350	0.450m	-233.7 Y-J	-0.069 Y-J	334.0 Z-J	0.063 Z-J
----- <i>collé (z=0.450m)</i> -----					
h infini	0.450m	-233.7 Y-J	-0.005 Y-J	537.1 Z-J	0.063 Z-J
E= 120.0 MPa					
nu= 0.350					

Déflexion maximale = 49.3 mm/100 (entre-jumelage)

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Annexes II: Valeurs de coefficient de ruissellement en fonction des zones

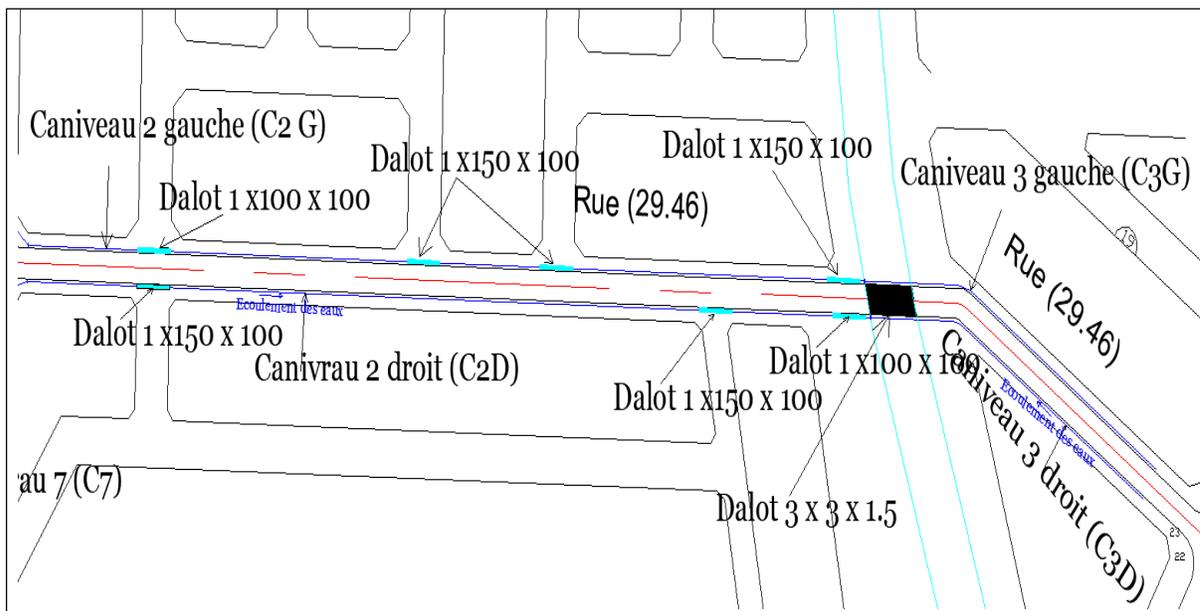
Désignation des zones (d'après les catégories d'urbanisation)	Nature du sol			Facteur correctif en fonction de la pente de la zone	
	léger (1)	moyen (2)	lourd (3)	terrain plat <1%	terrain pentu >7%
Zone agglomérée, secteur dense, centre ville - 160 logts/Ha	0.85	0.9	0.9	0.95	1.05
Secteur diffus, centre de quartier - 110 à 150 logts/Ha	0.75	0.8	0.8	0.95	1.05
Banlieue de métropole - 60 à 100 logts/Ha	0.5	0.55	0.6	0.9	1.1
Banlieue éloignée, semi-collectif et pavillons en bande 40 à 60 logts/Ha	0.4	0.45	0.5	0.9	1.2
Zone pavillonnaire (parcelle de 400m ²) - 20 à 30 logts/Ha	0.3	0.35	0.4	0.9	1.2
Zone résidentielle - 18 à 40 logts/Ha	0.25	0.35	0.4	0.9	1.2
Zone pavillonnaire grand standing - 15 à 20 logts/Ha	0.2	0.3	0.35	0.9	1.2
Village rural traditionnel	0.15	0.2	0.25	0.75	1.25
Zone d'habitat de très faible densité - 1 à 5 logts/Ha	0.08	0.1	0.15	0.75	1.25
Zone d'habitat très ancien	0.4	0.5	0.6	0.9	1.2
Zone industrielle et artisanale	0.4	0.5	0.7	0.9	1
Zone industrielle lourde	0.6	0.7	0.8	0.95	1
Zone portuaire	-	0.8	-	0.95	1
Gare routière et entrepôts	0.75	0.8	0.85	0.95	1
Gare et entrepôt ferroviaire	0.15	0.2	0.3	0.75	1
Services publics : hôpital, centre administratif et zone d'équipement	-	0.85	-	0.95	1.05
Centre de repos et hospitalier, zone d'équipement à dominante verte	0.25	0.45	0.6	0.95	1.1
Centre hôtelier et commercial	0.65	0.7	0.8	0.9	1.1
Terrains de sport, terrain de jeux	0.2	0.3	0.35	0.9	1.1
Aérodrome et terrain militaire	0.15	0.3	0.45	1	1.1
Cimetière urbain	0.3	0.4	0.5	0.75	1.25
Emprise ferroviaire	0.08	0.1	0.15	0.9	1
Emprise autoroute	0.5	0.6	0.65	0.95	1
Emprise route nationale et chemin départemental	0.3	0.4	0.6	0.8	1
Emprise voie urbaine rapide	-	0.8	0.8	1	1
Emprise autres voies urbaines	-	0.9	-	1	1
Emprise échangeurs et carrefours	0.4	0.5	0.6	1	1
Chaussées et parkings	-	0.8	-	0.95	1
Dallage béton	-	0.9	-	0.95	1.05
Pavage serré ou joint coulé	-	0.75	-	0.9	1.1
Pavage large joint sable	0.55	0.6	0.7	0.9	1.1
Circulation piétonne -voies en macadam- accotement stabilisé	0.5	0.6	0.8	0.9	1.1
Allège en gravier	0.3	0.35	0.45	0.9	1.1
Espaces verts - zone de loisir	0.1	0.15	0.25	0.75	1.25
Espaces libres - zone de dégagement et zone non aedificandi	0.1	0.15	0.2	0.75	1.25
Zones boisée urbaine. parcs et jardins	0.05	0.1	0.15	0.5	1.25
Forêts. bois et landes	0.01	0.04	0.08	0.5	1.2
Terrain de culture - céréales	0.06	0.08	0.1	0.75	1.25
Prés et pâturages	0.05	0.07	0.08	0.66	1.25
Carrières ou mines	0.2	-	0.5	0.9	1.25
Terrains nus (sans végétation, ni culture)	0.04	0.15	0.3	0.5	1.5

(1) Sols sableux, graveleux ou très perméables. (2) Terrains ordinaires courants. (3) Sols argileux, rocheux, peu perméables.

Tableau III.2.2.a Coefficient de ruissellement d'après [Bourrier, 1997, p. 769]

Annexes III: Plans des ouvrages hydrauliques et tableau des relations entre surfaces

1. Plan illustrant les caniveaux et dalots



2. Relation entre les bassins versants

Rues	Caniveaux	Bassins Versants
Rue 29.46	C1- Droit	BV4.1 // Chc 1d
	C1- gauche	BV7 // Chc 1g
	C2- Droit	BV4.2 + (BV4.3 // Chc 2d)
	C2- Gauche	(BV4.1 // Chc 1d) + (Chc1g // BV7) + BV6 + Chc 2g
	C3- Droit	Chc 3d
	C3- Gauche	BV5 + Chc 3g
Rue 29.80	C7	BV4.2
Rue 29.21	C4-Droit	BV3 // Chc 4d
	C4-Gauche	Chc4 g
	C5- Droit	(BV3 // Chc 4d) + (BV2 // Chc 5d)
	C5- Gauche	Chc 4g + Chc 5g
	C6- Droit	(BV1 // Chc 6d) + (BV3 // Chc 4d) + (BV2 // Chc 5d)
	C6- Gauche	((Chc 4g + Chc 5g) // ((BV3 // Chc 4d) + (BV2 // Chc 5d))) + Chc 6g

Légende : // : Parallèle

+ : Série

BV : Bassin Versant

Chc : Chaussée

Chc 1d : Chaussée bordant le caniveau 1 droit

Chc 1g : Chaussée bordant le caniveau 1 gauche

Annexes IV: Calcul hydraulique des caniveaux

Pour les calculs des sections à partir des débits, nous utiliserons la formule de Manning-Strickler : $Q = K_s \times S \times R^{2/3} \times \sqrt{I}$ avec,

Q, le débit en m³/s

K_s, le coefficient de rugosité

S, la section mouillée en m²

R_H, le rayon hydraulique en m

I, la pente du canal en m/m

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

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

$$R_H = \frac{S}{P} = \frac{h (b + m \times h)}{b + 2h \sqrt{1+m^2}}$$

b, est la largeur du caniveau

h est le tirant d'eau

m est le fruit de berge

Pour cette étude les caniveaux adoptés sont de sections rectangulaires, les formules deviennent donc avec $m = 0$:

$$S = h \times b$$

$$P = b + 2h$$

$$R_H = \frac{h \times b}{b + 2h}$$

$$Q = K_s \times S^{5/3} \times P^{2/3} \times \sqrt{I}$$

$$Q = K_s \times (h \times b)^{5/3} \times (b+2 \times h)^{-2/3} \times \sqrt{I}$$

En tirant h on obtient :

$$h^{5/3} = \frac{Q}{K_s \times \sqrt{I} \times (b+2h)^{-2/3} \times b^{5/3}} = \frac{Q \times (b+2h)^{2/3}}{K_s \times \sqrt{I} \times b^{5/3}}$$

$$h^{5/3} = \left(\frac{Q}{K_s \times \sqrt{I}} \right)^{3/5} \times \left(\frac{(b+2h)^{2/3}}{b^{5/3}} \right)^{3/5}$$

$$h = \left(\frac{Q}{K_s \times \sqrt{I}} \right)^{3/5} \times \frac{(b+2h)^{2/3}}{b}$$

Le calcul des dimensions b et h des caniveaux se fait en fixant une valeur de b et par le calcul solveur de Excel nous obtenons la valeur de h correspondant à la convergence, ensuite on rajoute une revanche $r = 0,2$ m au tirant d'eau qui constituera la hauteur du caniveau.

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

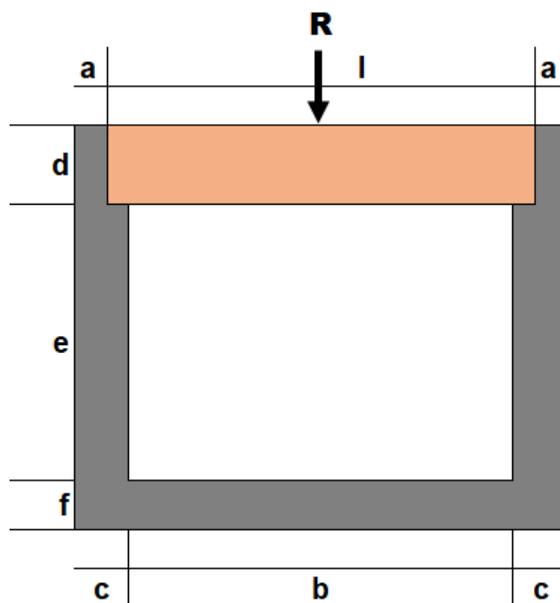
Les caniveaux sont en béton armé par conséquent le coefficient de rugosité sera considéré égale à 70. La vérification de la vitesse se fait par la formule suivante : $V = K_s \times \sqrt{I} \times R_H^{2/3}$

Une valeur trop grande pourrait entraîner l'érosion du fond et une valeur très faible pourrait entraîner des dépôts au fond de l'ouvrage. On fixe $V_{\max} = 3,5$ à 4 m/s et $V_{\min} = 0,3$ m/s.

Récapitulatif du dimensionnement hydraulique des caniveaux

Rue	Caniveau	Débit projet (m ³ /s)	Ks	Pente I (m/m)	b (m)	y (m)	Revanche r (m)	h (m)	Section (cm x cm)	Vitesse (m/s)
29.46	C2- Droit	3,5	70	0,01	1,5	0,67	0,2	0,87	150 x 100	3,50
	C2- Gauche	0,805	70	0,01	0,8	0,41	0,2	0,61	80 x 80	2,42
	C3- Droit	0,061	70	0,01	0,6	0,09	0,2	0,29	60 x 60	1,16
	C3- Gauche	0,267	70	0,01	0,6	0,24	0,2	0,44	60 x 60	1,83
29.80	C7	2,411	70	0,01	1	0,76	0,2	0,96	100 x 100	3,15
29.21 (Wemba Poko)	C1- Droit	0,575	70	0,01	0,8	0,32	0,2	0,52	80 x 80	2,22
	C1- Gauche	0,379	70	0,01	0,5	0,31	0,2	0,51	50 x 50	2,01
	C4 – Droit	2,436	70	0,01	1	0,77	0,2	0,97	100 x 100	3,16
	C4 – Gauche	0,142	70	0,01	0,6	0,15	0,2	0,35	60 x 60	1,53
	C5- Droit	2,454	70	0,01	1	0,77	0,2	0,97	100 x 100	3,16
	C5- Gauche	0,178	70	0,01	0,6	0,18	0,2	0,38	60 x 60	1,64
	C6- Droit	2,353	70	0,01	1	0,75	0,2	0,95	100 x 100	3,14
	C6- Gauche	3,265	70	0,01	1,2	0,79	0,2	0,99	120 x 100	3,42

Annexes V: Note de calculs du caniveau 150 x 100 cm²



Données

1. Géométriques

Épaisseur de la lèvre de feuillure	$a = 0,08$ m
Porté de la dalle	$l = 1,64$ m
Épaisseur du voile	$c = 0,15$ m
Épaisseur de la dalle	$d = 0,20$ m
Hauteur libre du caniveau	$e = 1$ m
Ouverture du caniveau	$b = 1,5$ m
Épaisseur du radier	$f = 0,15$ m
Redent de la feuillure	$g = 0,07$ m
Largeur d'une dalle	$h = 0,5$ m

2. Matériaux

Béton

- Poids volumique : $\gamma_{\text{béton}} = 25 \text{ kN/m}^3$
- Résistance à la compression à 28 jours : $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$
- Résistance à la traction à 28 jours $f_{t28} = 0,6 + 0,06 \times f_{c28} = 2,1 \text{ MPa}$
- Coefficient de sécurité $\gamma_b = 1,5$
- Résistance de calcul du béton en compression à l'ELU: $f_{bu} = 0,85 \times \frac{f_{c28}}{\gamma_b} = 14,17 \text{ MPa}$
- Contrainte limite de béton comprimé à l'ELS $\sigma_{bc} = 0,6 \times f_{c28} = 15 \text{ MPa}$

Acier

- Acier à haute adhérence (HA) de nuance FeE400
- Limite d'élasticité $f_e = 400 \text{ MPa}$
- Coefficient de sécurité $\gamma_s = 1,15$
- Fissuration préjudiciable → calcul à l'ELS
- Contrainte limite des aciers à l'ELS $\xi = \min \left(\frac{2}{3} \times f_e ; \max (0,5 \times f_e ; 110 \sqrt{n \times f_{t28}}) \right) = 201,63 \text{ MPa}$
- $\sigma_{st} = \frac{f_e}{\gamma_s} = 347,83 \text{ MPa}$

Sol

- Poids volumique de la terre $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Coefficient de poussée des terres $k_a = 0,33$
- Angle de frottement interne des terres $\theta = 30^\circ$

Calculs des armatures

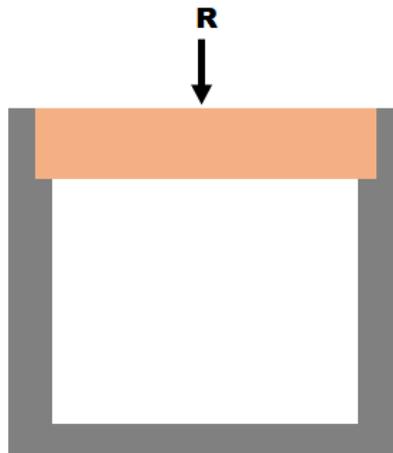
1. La dalle

La dalle est constituée d'une dalle en béton armée d'épaisseur $20 \text{ cm} \geq (l/10)$

Les charges à considérer sur la dalle :

- Son poids propre
- La charge concentrée d'une roue isolée de 10 T (conformément au titre II du fascicule 64), elle sera notée R.

La dalle est dimensionnée en flexion simple.



Poids propre de la dalle : $P_{pd} = \gamma \times d \times 1 \text{ m} = 25 \times 0,2 \times 1 = 5 \text{ kN/ml}$

Charge concentrée : $R = 100 \text{ kN}$

L'effort dû au poids propre de la dalle : $V_{pd} = \frac{5 \times 1,64}{2} = 4,10 \text{ kN}$

L'effort dû à la charge concentrée : $V_R = \frac{100}{2} = 50 \text{ kN}$

Calculs à l'ELS

$$M_{ser} = \frac{P_{pd} \times l^2}{8} + \frac{P_R \times l}{4}$$

$$M_{ser} = \frac{5 \times 1,64^2}{8} + \frac{100 \times 1,64}{4}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

$$M_{ser} = 42,68 \text{ kN.m}$$

Paramètre de déformation

$$\alpha_{ser} = \frac{n \times \overline{\sigma_{bc}}}{n \times \overline{\sigma_{bc}} + \sigma_s}$$
$$\alpha_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63} = 0,53$$

Fibre neutre

$$y_{ser} = \alpha_{ser} \times d$$

$$y_{ser} = 0,53 \times 0,18 = 0,09 \text{ m}$$

$$Z_{ser} = d - y/3$$

$$Z_{ser} = 0,18 - \frac{0,09}{3} = 0,15 \text{ m}$$

Moment résistant

$$M_{r_{ser}} = \frac{1}{2} \times b_0 \times y_{ser} \times \overline{\sigma_{bc}} \times Z_{ser}$$

$$M_{r_{ser}} = 0,5 \times 1 \times 0,09 \times 15 \times 0,15$$

$$M_{r_{ser}} = 105,63 \text{ kN.m}$$

$$M_{ser} < M_{r_{ser}} \rightarrow \text{Pas d'aciers comprimés.}$$

Section d'aciers

$$A_s = \frac{M_{ser}}{z \times \sigma_s} = \frac{42,68 \times 10^{-3}}{0,15 \times 201,63} = 14,27 \text{ cm}^2$$

Section d'aciers retenue

$$A_s = 14,27 \text{ cm}^2 / \text{ml}$$

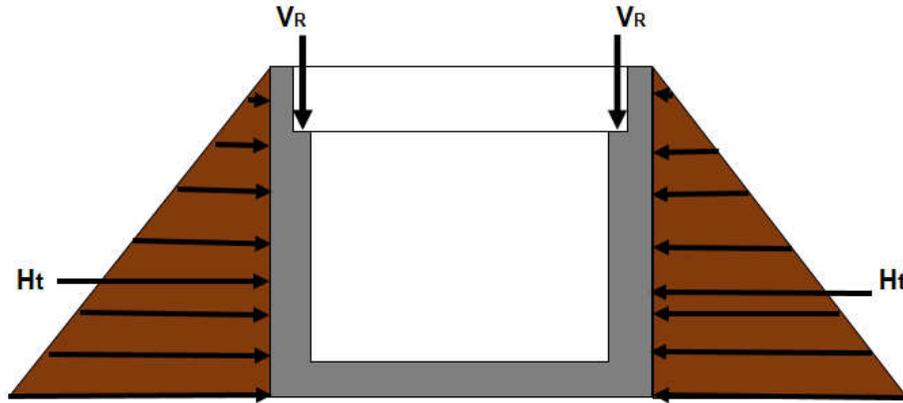
La dalle a une largeur de 0,5 m donc la section d'aciers à considérer suivant la largeur est :

$$A_s = \frac{14,27}{2} = 7,13 \text{ cm}^2$$

Choix des aciers : 7 HA 12 totalisant 7,92 cm² avec un espacement de 10 cm.

2. Les piédroits

Les piédroits sont soumis à l'effort transmis par la dalle chargée et la poussée des terres, alors ils seront dimensionnés en flexion composée.



Poids de la dalle sur un piédroit : $P_{pd} = (\gamma_b \times d \times h) / 2 = (25 \times 0,2 \times 0,5 \times 1) / 2 = 1,25 \text{ kN/ml}$

Effort d'une roue sur un piédroit : $V_R = \frac{100}{2} = 50 \text{ kN}$

Poids propre d'un piédroit : $P_{pp} = \gamma_b \times ((e \times c + (a \times d)) \times 1 = 25 \times 0,166 \times 1 = 4,15 \text{ kN/ml}$

Poussée des terres : $H_t = \frac{1}{2} \times \gamma_b \text{ sol} \times k_a \times (d + e + f)^2 = 0,5 \times 20 \times 0,33 \times 1,35^2 = 6,01 \text{ kN/ml}$

Surcharge sur le remblai : $q = k_a \times 1,2 \times \gamma_q = 0,33 \times 1,2 \times 10 = 3,96 \text{ kN/m}^2$

Calcul des sollicitations

Calculs à l'ELS

$$N_{ser} = (P_{pp} + P_{pd}) + V_R$$

$$N_{ser} = (4,15 + 1,25) + 50$$

$$N_{ser} = 55,40 \text{ kN/ml}$$

$$P_{ser} = H_t$$

$$P_{ser} = 6,01 \text{ kN/ml}$$

$$Q_{ser} = 3,96 \times 1,2 = 4,75 \text{ kN/ml}$$

$$M_{ser} = \frac{P_{ser} \times h^2}{3} + \frac{q_{ser} \times h}{2}$$

$$M_{ser} = \frac{6,01 \times 1,2^2}{3} + \frac{4,75 \times 1,2}{2}$$

$$M_{ser} = 5,74 \text{ kN.m}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Calculs des excentricités

$$e = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} = 0,104 \text{ m} = 10,5 \text{ cm}$$

Vérification de la section de l'ouvrage

Si $e < \frac{B}{6}$, alors la section est entièrement comprimée.

Si $e > \frac{B}{4}$, alors la section est partiellement comprimée.

$\frac{B}{6} = 2,5 \text{ cm} < e = 5 \text{ cm} > \frac{B}{4} = 3,8 \text{ cm}$, alors la section est partiellement comprimée.

$$e_A = e + (d - 0,5 \times h) = 0,104 + ((0,9 \times 1,2) - 0,5 \times 1,2) = 1,08 \text{ m}$$

Calcul du moment fictif

$$M_{ser \text{ fictif}} = N_{ser} \times e_A$$

$$M_{ser \text{ fictif}} = 55,40 \times 0,104$$

$$M_{ser \text{ fictif}} = 61,41 \text{ kN,m}$$

Paramètre de déformation

$$\alpha_{ser} = \frac{n \times \overline{\sigma_{bc}}}{n \times \overline{\sigma_{bc}} + \sigma_s}$$

$$\alpha_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63} = 0,53$$

$$y_{ser} = \alpha_{ser} \times d$$

$$y_{ser} = 0,53 \times 1,08 = 0,57 \text{ m}$$

$$Z_{ser} = d - y/3$$

$$Z_{ser} = 1,08 - \frac{0,57}{3} = 0,89 \text{ m}$$

Section d'aciers

$$A_s = \frac{M_{ser \text{ fictif}}}{z \times \sigma_s} - \frac{N_{ser}}{\sigma_s}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

$$\underline{AN}: A_s = \frac{0,0614}{0,89 \times 201,63} - \frac{0,0554}{201,63} = 0,67 \text{ cm}^2$$

$$\text{Max} \left[\left(\frac{b \times h}{1000} \right); \left(0,23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} \right) \right] = \text{Max} [1,8; 1,96]$$

$$A_s = 1,96 \text{ cm}^2$$

Choix des aciers: 5 HA 10 totalisant 3,93 cm² avec un espacement de 20 cm.

3. Le radier

Le radier est dimensionné en flexion simple. Les charges à considérées sur le radier sont :

- Le poids propre du radier : $P_{pr} = \gamma_b \times f \times (b + 2 \times c) = 25 \times 0,15 \times 1,80$
 $P_{pr} = 6,75 \text{ kN/ml}$
- Le poids propre des piédroits : $P_{pp} = 2 \times \gamma_b \times (e \times c + (a \times d)) \times 1$
 $P_{pp} = 2 \times (25 \times 0,166 \times 1) = 4,15 \times 2 = 8,3 \text{ kN/ml}$
- Le poids propre de la dalle : $P_{pd} = \gamma_b \times d \times h = 25 \times 0,2 \times 0,5 = 2,5 \text{ kN/ml}$

$$\text{Réaction du sol : } R = P_{pr} + P_{pp} + P_{pd} = 6,75 + 8,3 + 2,5 = 17,55 \text{ kN/ml}$$

Calcul des sollicitations

Calculs à l'ELS

$$M_{ser} = \frac{R_{ser} \times l^2}{8}$$

$$M_{ser} = \frac{17,55 \times 1,80^2}{8}$$

$$M_{ser} = 7,11 \text{ kN.m}$$

Paramètre de déformation

$$\alpha_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{n \times \sigma_{bc} + \sigma_{st}}$$

$$\alpha_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63} = 0,53$$

Fibre neutre

$$y_{ser} = \alpha_{ser} \times d$$

$$y_{ser} = 0,53 \times 0,135 = 0,07 \text{ m}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

$$Z_{\text{ser}} = d - y/3$$

$$Z_{\text{ser}} = 0,135 - \frac{0,07}{3} = 0,11 \text{ m}$$

Moment résistant

$$M_{r_{\text{ser}}} = \frac{1}{2} \times b_0 \times y_{\text{ser}} \times \overline{\sigma_{bc}} \times Z_{\text{ser}}$$

$$M_{r_{\text{ser}}} = 0,5 \times 1 \times 0,07 \times 15 \times 0,11$$

$$M_{r_{\text{ser}}} = 59,41 \text{ kN.m}$$

$$M_{\text{ser}} < M_{r_{\text{ser}}} \rightarrow \text{Pas d'aciers comprimés.}$$

Section d'aciers

$$A_s = \frac{M_{\text{ser}}}{z \times \sigma_s} = \frac{7,11 \times 10^{-3}}{0,11 \times 201,63} = 3,17 \text{ cm}^2$$

Condition de non-fragilité

$$A_{s \text{ min}} = 0,23 \times b_0 \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$A_{s \text{ min}} = 0,23 \times 1 \times 0,135 \times \frac{2,1}{400} = 1,63 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{s \text{ min}} \rightarrow \text{donc la section retenue est } A_s = 3,17 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Choix des aciers : 5 HA 10 totalisant 3,93 cm² avec un espacement de 20 cm.

Le même principe est utilisé pour la détermination du ferrailage des autres sections de caniveaux.

Récapitulatif des ferrailages

Caniveau 150 x 100 cm²		
	Acier principal	Acier de répartition
Dalette	7 HA 12 e = 10 cm	HA 10 e = 25 cm
Piédroits	5 HA 10 e = 20 cm	HA 10 e = 20 cm
Radier	5 HA 10 e = 20 cm	HA 8 e = 25 cm

Caniveau 120 x 100 cm²		
	Acier principal	Acier de répartition
Dalette	6 HA 12 e = 10 cm	HA 10 e = 25 cm
Piédroits	5 HA 10 e = 20 cm	HA 10 e = 20 cm
Radier	5 HA 10 e = 20 cm	HA 8 e = 25 cm

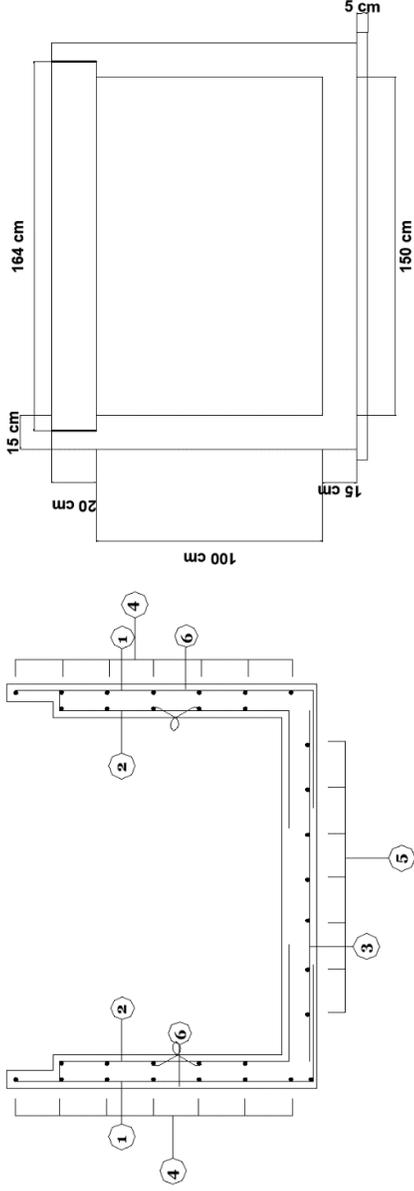
Caniveau 100 x 100 cm²		
	Acier principal	Acier de répartition
Dalette	5 HA 12 e = 10 cm	HA 10 e = 25 cm
Piédroits	5 HA 10 e = 20 cm	HA 10 e = 20 cm
Radier	5 HA 10 e = 20 cm	HA 8 e = 25 cm

Caniveau 80 x 80 cm²		
	Acier principal	Acier de répartition
Dalette	5 HA 12 e = 10 cm	HA 10 e = 25 cm
Piédroits	6 HA 8 e = 20 cm	HA 8 e = 20 cm
Radier	6 HA 8 e = 20 cm	HA 8 e = 20 cm

Caniveau 60 x 60 cm²		
	Acier principal	Acier de répartition
Dalette	4 HA 12 e = 15 cm	HA 10 e = 25 cm
Piédroits	6 HA 8 e = 20 cm	HA 10 e = 20 cm
Radier	6 HA 8 e = 20 cm	HA 8 e = 20 cm

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

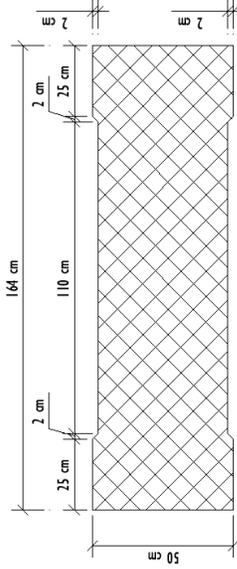
Annexes VI: Plan de coffrage et de ferrailage des caniveaux 150 x 100



Ferrailage du caniveau

Coffrage du caniveau

Numéro	Diamètre	Espacement
1	HA 10	20 cm
2	HA 10	20 cm
3	HA 10	20 cm
4	HA 10	20 cm
5	HA 8	20 cm
6	HA 10	20 cm
7	HA 12	10 cm



Vue en plan



Dallette

Coupe longitudinale

Plan de coffrage et de ferrailage caniveau 150 x 100 cm²

Conception : ZOMBRE Hamed Abdallah Master 2 Route et Ouvrage d'Art

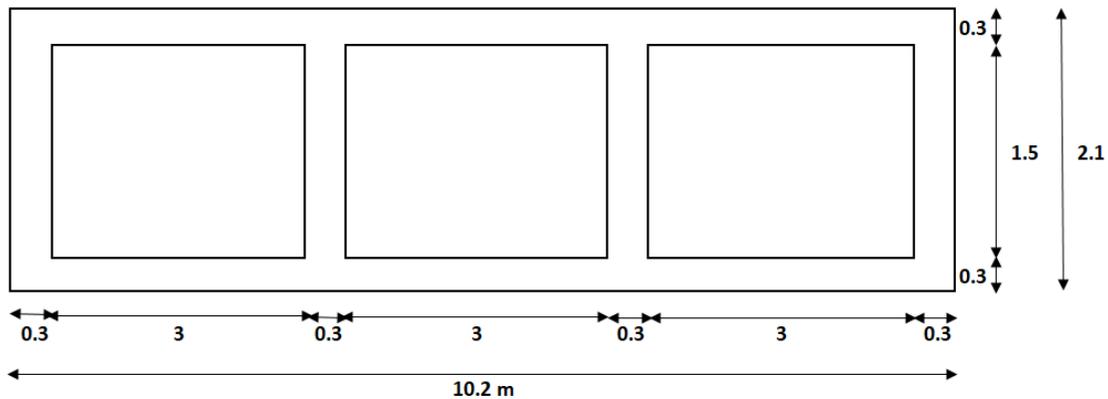
Date : Juin 2019

ZOMBRE Hamed Abdallah

Promotion 2018-2019

Soutenu le 04 Juillet 2019

Annexes VII: Note de calculs du dalot 3 x 3 x 1,5



Hypothèses de calculs

➤ Matériaux

Béton

- Poids volumique : $\gamma_{\text{béton}} = 30 \text{ kN/m}^3$
- Résistance à la compression à 25 jours : $f_{c28} = 30 \text{ MPa}$
- Résistance à la traction à 28 jours $f_{t28} = 0,6 + 0,06 \times f_{c28} = 2,4 \text{ MPa}$
- Coefficient de sécurité $\gamma_b = 1,5$
- Résistance de calcul du béton en compression à l'ELU: $f_{bu} = 0,85 \times \frac{f_{c28}}{\gamma_b} = 17 \text{ MPa}$
- Contrainte limite de béton comprimé à l'ELS $\sigma_{bc} = 0,6 \times f_{c28} = 18 \text{ MPa}$

Acier

- Acier à haute adhérence (HA) de nuance FeE400
- Limite d'élasticité $f_e = 400 \text{ MPa}$
- Coefficient de sécurité $\gamma_s = 1,15$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

- Fissuration préjudiciable : Contrainte limite des aciers à l'ELS $\sigma_{st} = \min \left(\frac{2}{3} \times f_e ; \max (0,5 \times f_e ; 110\sqrt{n \times ft28}) \right) = 215,56 \text{ MPa}$

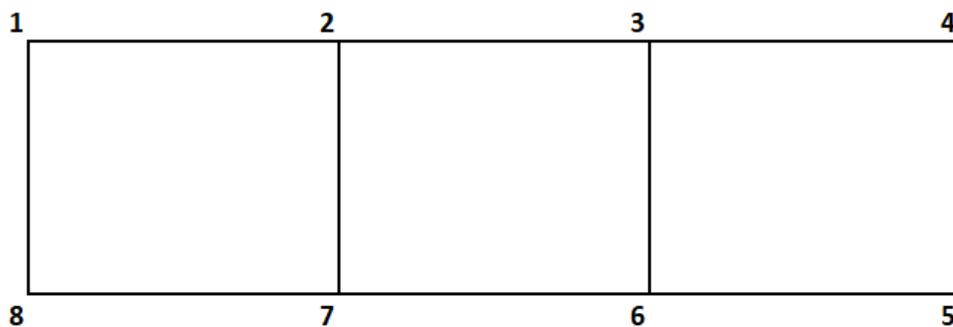
Remblai d'accès

- Poids volumique de la terre $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Angle de frottement interne des terres $\theta = 30^\circ$
- Coefficient de poussée des terres $k_a = 0,33$

Surcharge sur remblai : 10 kN/m^2

Calculs des sollicitations

Schéma statique de l'ouvrage



Désignons par :

Moment d'inertie du tablier et radier : I_1

Moment d'inertie du piédroit : I_2

Le module d'élasticité E . Ce paramètre étant constant (même matériau), on peut le prendre égal à 1.

M_{ij} : moment statique appliqué au nœud i par la barre ij .

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

$m_{i,j}$: moment d'encastrement au nœud i par la barre j (déterminé par les charges appliquées à la barre).

a_i : rotation du nœud i

k_1 : caractéristique de la rigidité des barres horizontales

k_2 : caractéristique de la rigidité des barres verticales

b_i : constante du nœud i

$$k_1 = \frac{2 \times E \times I_1}{L} = \frac{2 \times I_1}{L} \qquad k_2 = \frac{2 \times E \times I_2}{L} = \frac{2 \times I_2}{L}$$

$$M_{i,j} = k \times (2 \times a_i + a_j) + m_{i,j}$$

En considérant une bande de largeurs $b = 1 \text{ m}$:

$$I_1 = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{1000 \times 300^3}{12} = 2,25 \times 10^9 \text{ mm}^4 \quad \rightarrow \quad k_1 = \frac{2 \times 1 \times 2,25 \times 10^9}{3300} = 1,363 \times 10^6$$

$$I_2 = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{300 \times 1000^3}{12} = 2,5 \times 10^{10} \text{ mm}^4 \quad \rightarrow \quad k_2 = \frac{2 \times 1 \times 2,5 \times 10^{10}}{1500} = 3,333 \times 10^7$$

L'équilibre des nœuds s'écrit:

L'équilibre des nœuds s'écrit:

$$\text{Nœud 1 : } M_{1,2} + M_{1,8} = 0$$

$$\text{Nœud 2 : } M_{2,1} + M_{2,3} + M_{2,7} = 0$$

$$\text{Nœud 3 : } M_{3,2} + M_{3,4} + M_{3,6} = 0$$

$$\text{Nœud 4 : } M_{4,3} + M_{4,5} = 0$$

$$\text{Nœud 5 : } M_{5,4} + M_{5,6} = 0$$

$$\text{Nœud 6 : } M_{6,5} + M_{6,7} + M_{6,3} = 0$$

$$\text{Nœud 7 : } M_{7,6} + M_{7,8} + M_{7,2} = 0$$

$$\text{Nœud 8 : } M_{8,7} + M_{8,1} = 0$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Nous obtenons les équations suivantes :

$$\text{Nœud 1: } k_1 \times (2 \times a_1 + a_2) + m_{1,2} + k_2 \times (2 \times a_1 + a_8) + m_{1,8} = 0$$

$$\text{Nœud 2: } k_1 \times (2 \times a_2 + a_1) + m_{2,1} + k_1 \times (2 \times a_2 + a_3) + m_{2,3} + k_2 \times (2 \times a_2 + a_7) + m_{2,7} = 0$$

$$\text{Nœud 3: } k_1 \times (2 \times a_3 + a_2) + m_{3,2} + k_1 \times (2 \times a_3 + a_4) + m_{3,4} + k_2 \times (2 \times a_3 + a_6) + m_{3,6} = 0$$

$$\text{Nœud 4: } k_1 \times (2 \times a_4 + a_3) + m_{4,3} + k_2 \times (2 \times a_4 + a_5) + m_{4,5} = 0$$

$$\text{Nœud 5: } k_2 \times (2 \times a_5 + a_4) + m_{5,4} + k_1 \times (2 \times a_5 + a_6) + m_{5,6} = 0$$

$$\text{Nœud 6: } k_1 \times (2 \times a_6 + a_5) + m_{6,5} + k_1 \times (2 \times a_6 + a_7) + m_{6,7} + k_2 \times (2 \times a_6 + a_3) + m_{6,3} = 0$$

$$\text{Nœud 7: } k_1 \times (2 \times a_7 + a_6) + m_{7,6} + k_1 \times (2 \times a_7 + a_8) + m_{7,8} + k_2 \times (2 \times a_7 + a_2) + m_{7,2} = 0$$

$$\text{Nœud 8: } k_1 \times (2 \times a_8 + a_7) + m_{8,7} + k_2 \times (2 \times a_8 + a_1) + m_{8,1} = 0$$

L'équilibre de tous les nœuds nous permet d'obtenir 8 équations à 8 inconnus:

$$\text{Nœud 1: } 2 k_1 a_1 + k_1 a_2 + 2 k_2 a_1 + k_2 a_8 = - (m_{1,2} + m_{1,8}) = b_1$$

$$\text{Nœud 1: } 2 \times (k_1 + k_2) \times a_1 + k_1 \times a_2 + k_2 \times a_8 = - (m_{1,2} + m_{1,8}) = b_1$$

$$\text{Nœud 2: } 2 k_1 a_2 + k_1 a_1 + 2 k_1 a_2 + k_1 a_3 + 2 k_2 a_2 + k_2 a_7 = - (m_{2,1} + m_{2,3} + m_{2,7}) = b_2$$

$$\text{Nœud 2: } 2 \times (2 k_1 + k_2) \times a_2 + k_1 \times a_1 + k_1 \times a_3 + k_2 \times a_7 = - (m_{2,1} + m_{2,3} + m_{2,7}) = b_2$$

$$\text{Nœud 3: } 2 k_1 a_3 + k_1 a_2 + 2 k_1 a_3 + k_1 a_4 + 2 k_2 a_3 + k_2 a_6 = - (m_{3,2} + m_{3,4} + m_{3,6}) = b_3$$

$$\text{Nœud 3: } 2 \times (2 k_1 + k_2) \times a_3 + k_1 \times a_2 + k_1 \times a_4 + k_2 \times a_6 = - (m_{3,2} + m_{3,4} + m_{3,6}) = b_3$$

$$\text{Nœud 4: } 2 k_1 a_4 + k_1 a_3 + 2 k_2 a_4 + k_2 a_5 = - (m_{4,3} + m_{4,5}) = b_4$$

$$\text{Nœud 4: } 2 \times (k_1 + k_2) \times a_4 + k_1 \times a_3 + k_2 \times a_5 = - (m_{4,3} + m_{4,5}) = b_4$$

$$\text{Nœud 5: } 2 \times (k_1 + k_2) \times a_5 + k_2 \times a_4 + k_1 \times a_6 = - (m_{5,4} + m_{5,6}) = b_5$$

$$\text{Nœud 6: } 2 \times (2 k_1 + k_2) \times a_6 + k_1 \times a_5 + k_1 \times a_7 + k_2 \times a_3 = - (m_{6,5} + m_{6,7} + m_{6,3}) = b_6$$

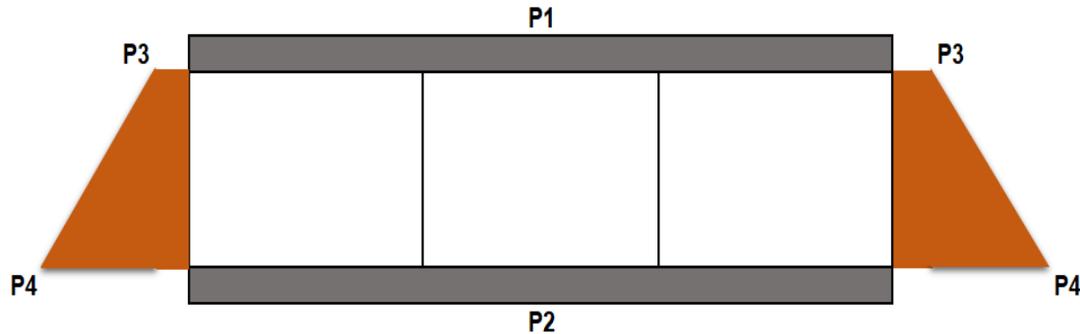
$$\text{Nœud 7: } 2 \times (2 k_1 + k_2) \times a_7 + k_1 \times a_6 + k_1 \times a_8 + k_2 \times a_2 = - (m_{7,6} + m_{7,8} + m_{7,2}) = b_7$$

$$\text{Nœud 8: } 2 \times (k_1 + k_2) \times a_8 + k_1 \times a_7 + k_2 \times a_1 = - (m_{8,7} + m_{8,1}) = b_6$$

Calcul des sollicitations dues aux charges permanentes

- Calcul des charges permanentes

Les charges permanentes sur l'ouvrage se présentent comme suites :



Les charges sont évaluées pour 1 m de largeur.

- Sur le tablier

Poids propre tablier : $P_{pt} = \gamma_b \times e \times 1 = 25 \times 0,3 \times 1 = 7,5 \text{ kN/ml}$

Poids propre des guides roues : $P_{pgr} = \frac{\gamma \times e \times h \times l \times 2}{lr + 2 \times e} = \frac{25 \times 0,3 \times 0,8 \times 7,9 \times 2}{11,5 + 2 \times 0,3} = 10,12 \text{ kN/ml}$

Couche de roulement : $Cr = \gamma_{bb} \times e \times 1 = 24 \times 0,05 \times 1 = 1,2 \text{ kN/ml}$

Barrière : $B = 0,65 \times 2 = 1,3 \text{ kN/ml}$

Charge permanente totale sur le tablier : $P_1 = P_{pt} + P_{pgr} + Cr = 7,5 + 10,12 + 1,2 + 1,3$

$P_1 = 20,12 \text{ kN/ml}$

- Sur le radier

Poids propre du radier : $P_{pr} = \gamma_b \times e \times 1 = 25 \times 0,3 \times 1 = 7,5 \text{ kN/ml}$

Poids propre des piédroits : $P_{pp} = \frac{\gamma_b \times e \times h \times 3}{2 \times l + 3 \times e} = \frac{25 \times 0,3 \times 2,1 \times 3}{2 \times 3,5 + 3 \times 0,3} = 5,98 \text{ kN/ml}$

Charge permanente totale sur le radier : $P_2 = P_{pr} + P_{pp} = 7,5 + 5,98 + 20,12$

$P_2 = 33,6 \text{ kN/ml}$

➤ Sur un piédroit extérieur

Poussée de terre sur un piédroit uniquement :

$P = k_a \times \gamma_t \times h$ avec h hauteur du remblai par rapport au point considéré.

$$P_3 (h = 0) = 0,33 \times 20 \times 0 = 0 \text{ kN/ml}$$

$$\mathbf{P_3 = 0 \text{ kN/ml}}$$

$$P_4 (h = 2,1) = 0,33 \times 20 \times 2,1 = 13,86 \text{ kN/ml}$$

$$\mathbf{P_4 = 13,86 \text{ kN/ml}}$$

- Calculs des moments d'encastements

$$m_{i,j} = \frac{-P_1 \times l^2}{12}$$

$$m_{1,2} = \frac{-20,12 \times 3^2}{12} = -15,09 \text{ kN.m}$$

$$m_{2,1} = -m_{1,2} = 15,09 \text{ kN.m}$$

$$m_{2,3} = \frac{-20,12 \times 3^2}{12} = -15,09 \text{ kN.m}$$

$$m_{3,2} = -m_{2,3} = 15,09 \text{ kN.m}$$

$$m_{3,4} = \frac{-20,12 \times 3^2}{12} = -15,09 \text{ kN.m}$$

$$m_{4,3} = -m_{3,4} = 15,09 \text{ kN.m}$$

$$m_{i,j} = \frac{-P_2 \times l^2}{12}$$

$$m_{8,7} = \frac{-33,60 \times 3^2}{12} = -25,20 \text{ kN.m}$$

$$m_{7,8} = -m_{8,7} = 25,20 \text{ kN.m}$$

$$m_{7,6} = \frac{-33,60 \times 3^2}{12} = -25,20 \text{ kN.m}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

$$m_{6,7} = -m_{7,6} = 25,20 \text{ kN.m}$$

$$m_{6,5} = \frac{-33,60 \times 3^2}{12} = -25,20 \text{ kN.m}$$

$$m_{5,6} = -m_{6,5} = 25,20 \text{ kN.m}$$

$$m_{8,1} = -(P_4 - P_3) \times \frac{H^2}{20} + P_3 \times \frac{H^2}{12}$$

$$m_{8,1} = -(13,86 - 0) \times \frac{1,5^2}{20} + 0 \times \frac{1,5^2}{12} = -1,56 \text{ kN.m}$$

$$m_{1,8} = (P_4 - P_3) \times \frac{H^2}{30} + P_3 \times \frac{H^2}{12}$$

$$m_{1,8} = (13,86 - 0) \times \frac{1,5^2}{30} + 0 \times \frac{1,5^2}{12} = 1,04 \text{ kN.m}$$

$$m_{7,2} = m_{2,7} = 0 \text{ kN.m}$$

$$m_{6,3} = m_{3,6} = 0 \text{ kN.m}$$

$$m_{5,4} = -(P_4 - P_3) \times \frac{H^2}{20} + P_3 \times \frac{H^2}{12}$$

$$m_{5,4} = -(13,86 - 0) \times \frac{1,5^2}{20} + 0 \times \frac{1,5^2}{12} = -1,56 \text{ kN.m}$$

$$m_{4,5} = (P_4 - P_3) \times \frac{H^2}{30} + P_3 \times \frac{H^2}{12}$$

$$m_{4,5} = (13,86 - 0) \times \frac{1,5^2}{30} + 0 \times \frac{1,5^2}{12} = 1,04 \text{ kN.m}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

$$\text{Noeud 1: } 6,938 \times 10^7 \cdot a_1 + 1,363 \times 10^6 \cdot a_2 + 3,333 \times 10^7 \cdot a_8 = 14,05$$

$$\text{Noeud 2: } 7,211 \times 10^7 \cdot a_2 + 1,363 \times 10^6 \cdot a_1 + 3,333 \times 10^7 \cdot a_7 + 1,363 \times 10^6 \cdot a_3 = 0$$

$$\text{Noeud 3: } 7,211 \times 10^7 \cdot a_3 + 1,363 \times 10^6 \cdot a_2 + 1,363 \times 10^6 \cdot a_4 + 3,333 \times 10^7 \cdot a_6 = 0$$

$$\text{Noeud 4: } 6,938 \times 10^7 \cdot a_4 + 1,363 \times 10^6 \cdot a_3 + 3,333 \times 10^7 \cdot a_5 = -16,13$$

$$\text{Noeud 5: } 6,938 \times 10^7 \cdot a_5 + 1,363 \times 10^6 \cdot a_6 + 3,333 \times 10^7 \cdot a_4 = -23,64$$

$$\text{Noeud 6: } 7,211 \times 10^7 \cdot a_6 + 1,363 \times 10^6 \cdot a_5 + 1,363 \times 10^6 \cdot a_7 + 3,333 \times 10^7 \cdot a_3 = 0$$

$$\text{Noeud 7: } 7,211 \times 10^7 \cdot a_7 + 1,363 \times 10^6 \cdot a_6 + 3,333 \times 10^7 \cdot a_2 + 1,363 \times 10^6 \cdot a_8 = 0$$

$$\text{Noeud 8: } 6,938 \times 10^7 \cdot a_8 + 1,363 \times 10^6 \cdot a_7 + 3,333 \times 10^7 \cdot a_1 = 26,76$$

La résolution du système d'équations donne:

$$a_1 = 2,21941 \times 10^{-8}$$

$$a_2 = 3,739 \times 10^{-9}$$

$$a_3 = -1,35282 \times 10^{-9}$$

$$a_4 = -8,93129 \times 10^{-8}$$

$$a_5 = -2,97964 \times 10^{-7}$$

$$a_6 = 6,42631 \times 10^{-9}$$

$$a_7 = -8,94167 \times 10^{-9}$$

$$a_8 = 3,75205 \times 10^{-7}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Nous déduisons les moments :

M _{1,2}	-15,02 kN.m	M _{2,1}	15,13 kN.m
M _{2,3}	-15,08 kN.m	M _{3,2}	15,09 kN.m
M _{3,4}	-15,22 kN.m	M _{4,3}	14,84 kN.m
M _{7,2}	-0,47 kN.m	M _{2,7}	-0,05 kN.m
M _{6,3}	0,38 kN.m	M _{3,6}	0,12 kN.m
M _{8,7}	-24,19 kN.m	M _{7,8}	25,69 kN.m
M _{7,6}	-25,22 kN.m	M _{6,7}	25,21 kN.m
M _{6,5}	-25,59 kN.m	M _{5,6}	24,40 kN.m
M _{8,1}	24,19 kN.m	M _{1,8}	15,02 kN.m
M _{5,4}	-24,40 kN.m	M _{4,5}	-14,85 kN.m

Calculs des moments isostatiques au milieu du tablier, radier et piédroit :

$$\text{Tablier : } M_{Ot} = \frac{P_1 \times l^2}{8} = \frac{20,12 \times 3^2}{8} = 22,64 \text{ kN.m}$$

$$\text{Radier : } M_{Or} = \frac{-P_2 \times l^2}{8} = \frac{-33,60 \times 3^2}{8} = -37,80 \text{ kN.m}$$

$$\text{Piédroit : } M_{Op} = \frac{P_3 \times H^2}{8} + \frac{(P_4 - P_3) \times H^2}{16} = \frac{0 \times 1,5^2}{8} + \frac{(13,86 - 0) \times 1,5^2}{16} = 1,95 \text{ kN.m}$$

Moments suivant les différentes parties de l'ouvrage :

Tablier :

- Travée 1

$$\text{Appui gauche } Mat_g = M_{1,2} = -15,02 \text{ kN.m}$$

$$\text{Appui droit } Mat_d = -M_{2,1} = -15,13 \text{ kN.m}$$

$$\text{Au milieu de la travée } M_{t} = \frac{Mat_g + Mat_d}{2} + M_{Ot} = \frac{-15,02 - 15,13}{2} + 22,64 = 7,56 \text{ kN.m}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

- Travée 2

$$\text{Appui gauche } Mat_g = M_{2,3} = -15,08 \text{ kN.m}$$

$$\text{Appui droit } Mat_d = -M_{3,2} = -15,09 \text{ kN.m}$$

$$\text{Au milieu de la travée } Mt_t = \frac{Mat_g + Mat_d}{2} + Mo_t = \frac{-15,08 - 15,09}{2} + 22,64 = 7,55 \text{ kN.m}$$

- Travée 3

$$\text{Appui gauche } Mat_g = M_{3,4} = -15,22 \text{ kN.m}$$

$$\text{Appui droit } Mat_d = -M_{4,3} = -14,84 \text{ kN.m}$$

$$\text{Au milieu de la travée } Mt_t = \frac{Mat_g + Mat_d}{2} + Mo_t = \frac{-15,22 - 14,84}{2} + 22,64 = 7,60 \text{ kN.m}$$

Radier :

- Travée 1

$$\text{Appui gauche } Mar_g = M_{8,7} = -24,19 \text{ kN.m}$$

$$\text{Appui droit } Mar_d = -M_{7,8} = -25,69 \text{ kN.m}$$

$$\text{Au milieu de la travée } Mr_t = \frac{Mag_t + Mad_t}{2} + Mo_t = \frac{-24,19 - 25,69}{2} - 37,80 = -62,74 \text{ kN.m}$$

- Travée 2

$$\text{Appui gauche } Mar_g = M_{7,6} = -25,22 \text{ kN.m}$$

$$\text{Appui droit } Mar_d = -M_{6,7} = -25,21 \text{ kN.m}$$

$$\text{Au milieu de la travée } Mr_t = \frac{Mag_t + Mad_t}{2} + Mo_t = \frac{-25,22 - 25,21}{2} - 37,80 = -63,01 \text{ kN.m}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

- Travée 3

$$\text{Appui gauche } M_{a_g} = M_{6,5} = -25,59 \text{ kN.m}$$

$$\text{Appui droit } M_{a_d} = -M_{5,6} = -24,40 \text{ kN.m}$$

$$\text{Au milieu de la travée } M_{r_t} = \frac{M_{a_g} + M_{a_d}}{2} + M_{o_t} = \frac{-25,58 - 24,40}{2} - 37,80 = -62,79 \text{ kN.m}$$

Piédroit extrême gauche:

$$\text{Appui inférieur } M_{a_i_p} = M_{8,1} = 24,19 \text{ kN.m}$$

$$\text{Appui supérieur } M_{a_s_p} = -M_{1,8} = -15,02 \text{ kN.m}$$

$$\text{Au milieu de la travée } M_{t_p} = \frac{M_{a_i_p} + M_{a_s_p}}{2} + M_{o_t} = \frac{24,19 - 15,02}{2} + 1,95 = 6,53 \text{ kN.m}$$

Piédroit intérieur gauche:

$$\text{Appui inférieur } M_{a_i_p} = M_{7,2} = -0,47 \text{ kN.m}$$

$$\text{Appui supérieur } M_{a_s_p} = -M_{2,7} = 0,05 \text{ kN.m}$$

$$\text{Au milieu de la travée } M_{t_p} = \frac{M_{a_i_p} + M_{a_s_p}}{2} + M_{o_t} = \frac{-0,47 + 0,05}{2} + 1,95 = 1,74 \text{ kN.m}$$

Piédroit intérieur droit:

$$\text{Appui inférieur } M_{a_i_p} = M_{6,3} = 0,38 \text{ kN.m}$$

$$\text{Appui supérieur } M_{a_s_p} = -M_{3,6} = -0,12 \text{ kN.m}$$

$$\text{Au milieu de la travée } M_{t_p} = \frac{M_{a_i_p} + M_{a_s_p}}{2} + M_{o_t} = \frac{0,38 - 0,12}{2} + 1,95 = 2,08 \text{ kN.m}$$

Piédroit extrême droit:

$$\text{Appui inférieur } M_{a_i_p} = M_{5,4} = -24,40 \text{ kN.m}$$

$$\text{Appui supérieur } M_{a_s_p} = -M_{4,5} = 14,85 \text{ kN.m}$$

$$\text{Au milieu de la travée } M_{t_p} = \frac{M_{a_i_p} + M_{a_s_p}}{2} + M_{o_t} = \frac{-24,40 + 14,85}{2} + 1,95 = -2,83 \text{ kN.m}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Calculs des réactions d'appuis

Tablier :

- Travée 1

$$\text{Appui gauche : } \frac{\text{Madt}-\text{Magt}}{1} + \frac{\text{P1} \times \text{l}}{2} = \frac{-15,13 + 15,02}{3} + \frac{20,12 \times 3}{2} = 30,14 \text{ kN/ml}$$

$$\text{Appui droit : } \frac{\text{Magt}-\text{Madt}}{1} + \frac{\text{P1} \times \text{l}}{2} = \frac{-15,02 + 15,13}{3} + \frac{20,12 \times 3}{2} = 30,22 \text{ kN/ml}$$

- Travée 2

$$\text{Appui gauche : } \frac{\text{Madt}-\text{Magt}}{1} + \frac{\text{P1} \times \text{l}}{2} = \frac{-15,09 + 15,08}{3} + \frac{20,12 \times 3}{2} = 30,18 \text{ kN/ml}$$

$$\text{Appui droit : } \frac{\text{Magt}-\text{Madt}}{1} + \frac{\text{P1} \times \text{l}}{2} = \frac{-15,08 + 15,09}{3} + \frac{20,12 \times 3}{2} = 30,18 \text{ kN/ml}$$

- Travée 3

$$\text{Appui gauche : } \frac{\text{Madt}-\text{Magt}}{1} + \frac{\text{P1} \times \text{l}}{2} = \frac{-14,84 + 15,22}{3} + \frac{20,12 \times 3}{2} = 30,30 \text{ kN/ml}$$

$$\text{Appui droit : } \frac{\text{Magt}-\text{Madt}}{1} + \frac{\text{P1} \times \text{l}}{2} = \frac{-15,22 + 14,84}{3} + \frac{20,12 \times 3}{2} = 30,06 \text{ kN/ml}$$

Radier :

- Travée 1

$$\text{Appui gauche : } \frac{\text{Madt}-\text{Magt}}{1} + \frac{\text{P2} \times \text{l}}{2} = \frac{-25,69 + 24,19}{3} + \frac{33,60 \times 3}{2} = 49,90 \text{ kN/ml}$$

$$\text{Appui droit : } \frac{\text{Magt}-\text{Madt}}{1} + \frac{\text{P2} \times \text{l}}{2} = \frac{-24,19 + 25,69}{3} + \frac{33,60 \times 3}{2} = 50,90 \text{ kN/ml}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

- Travée 2

$$\text{Appui gauche : } \frac{\text{Madt}-\text{Magt}}{1} + \frac{\text{P2} \times \text{l}}{2} = \frac{-25,21 + 25,22}{3} + \frac{33,60 \times 3}{2} = 50,40 \text{ kN/ml}$$

$$\text{Appui droit : } \frac{\text{Magt}-\text{Madt}}{1} + \frac{\text{P2} \times \text{l}}{2} = \frac{-25,22 + 25,21}{3} + \frac{33,60 \times 3}{2} = 50,40 \text{ kN/ml}$$

- Travée 3

$$\text{Appui gauche : } \frac{\text{Madt}-\text{Magt}}{1} + \frac{\text{P2} \times \text{l}}{2} = \frac{-24,40 + 25,59}{3} + \frac{33,60 \times 3}{2} = 50,80 \text{ kN/ml}$$

$$\text{Appui droit : } \frac{\text{Magt}-\text{Madt}}{1} + \frac{\text{P2} \times \text{l}}{2} = \frac{-25,59 + 24,40}{3} + \frac{33,60 \times 3}{2} = 50 \text{ kN/ml}$$

Calcul des efforts de compression à prendre en compte pour les piédroits

$$\text{Piédroit extrême gauche : } P_{\text{extg}} = \text{Rat}_g - \text{Rar}_g = 30,14 - 49,90 = -19,76 \text{ kN}$$

$$\text{Piédroit intérieur gauche: } P_{\text{int}} = (\text{Radt}_1 + \text{Ragt}_2) - (\text{Radr}_1 + \text{Ragr}_2) = 60,39 - 101,30 = -40,91 \text{ kN}$$

$$\text{Piédroit intérieur droit: } P_{\text{int}} = (\text{Radt}_2 + \text{Ragt}_3) - (\text{Radr}_2 + \text{Ragr}_3) = 60,49 - 101,19 = -40,71 \text{ kN}$$

$$\text{Piédroit extrême droit : } P_{\text{extd}} = \text{Rat}_d - \text{Rar}_d = 30,06 - 50 = -19,95 \text{ kN}$$

Récapitulatif des moments maximum

		Mo	Mag ou M_{inf} *	Mt	Ma_d ou M_{sup} *
Tablier		22,12	15,22	7,60	15,13
Piédroit	Gauche	1,95	24,19	6,53	15,02
	Intérieur		0,47	2,08	0,12
	Droit		24,40	2,83	14,85
Radier		37,80	25,59	63,01	25,69

* Ma pour le tablier et le radier, M_{inf} ou M_{sup} pour les piédroits.

Détermination des surcharges routières sur l'ouvrage

Largeur roulable

C'est la largeur mesurée entre bordure ou dispositif de retenue. Ici $L_r = 11,5$

Largeur chargeable

La largeur chargeable L_c est définie comme suit: $L_c = L_r$ s'il y a des bordures ou L_r diminuée de 50 cm le long de chaque dispositif de retenue, lorsqu'il existe.

$$L_c = L_r - 2 \times 0,5 = 11,5 - 2 \times 0,5 = 10,5 \text{ m}$$

Classe de l'ouvrage

On distingue trois classes en fonction de la largeur roulable.

$$1^{\text{ère}} \text{ classe : } L_r \geq 7\text{m}$$

$$2^{\text{ème}} \text{ classe : } 5,5 < L_r < 7\text{m}$$

$$3^{\text{ème}} \text{ classe : } L_r \leq 5,5 \text{ m}$$

Avec $L_r = 10,5$, nous avons un ouvrage de classe première.

Nombre de voies

$$.n = E \left(\frac{L_c}{3} \right)$$

$$.n = E \left(\frac{10,5}{3} \right) = 3 \text{ voies}$$

Largeur de voies

$$.v = \frac{L_c}{n}$$

$$.v = \frac{L_c}{n} = 3,5 \text{ m}$$

Système A

Le système A se compose d'une charge uniformément répartie dont l'intensité dépend de la longueur L chargée exprimée en m. A(L) est ensuite multipliée par un coefficient a1, assimilable à un coefficient de dégressivité transversale, donné dans le tableau suivant :

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

$$A(L) = 2,3 + \frac{360}{L+12}$$

La densité de charge effective q(L) se calcul par l'expression suivante :

$$q(L) = \max(a_1 \times A(L), (4 - 0,002 \times L)) \text{ kN/m}^2$$

La valeur de calcul de la surcharge A vaut alors : $Q_A = \gamma_q \times a_2 \times q(L)$

Le coefficient a2 se définit par : $a_2 = \frac{v_0}{v}$, v étant la largeur d'une voie et v0 est fonction de la classe du pont.

Classe du pont	V0
I	3,5
II	3
III	2,75

Application numérique

Pour une travée chargée :

$$A(L) = 2,3 + \frac{360}{L+12} = 2,3 + \frac{360}{3,8+12} = 25,08 \text{ kN/m}^2$$

$$.a_1 \times A(L) = 0,9 \times 25,08 = 22,58 \text{ kN/m}^2$$

$$4 - 0,002 \times L = 4 - 0,002 \times 3,8 = 3,99 \text{ kN/m}^2$$

$$.q(L) = 22,58 \text{ kN/m}^2$$

Pour deux travées chargées:

$$A(L) = 2,3 + \frac{360}{L+12} = 2,3 + \frac{360}{7,6+12} = 20,67 \text{ kN/m}^2$$

$$.a_1 \times A(L) = 0,9 \times 20,67 = 18,60 \text{ kN/m}^2$$

$$4 - 0,002 \times L = 4 - 0,002 \times 7,6 = 3,98 \text{ kN/m}^2$$

$$.q(L) = 18,60 \text{ kN/m}^2$$

$$.q(L)_{\max} = 22,58 \text{ kN/m}^2$$

Effort de freinage

$$f_A = \frac{1}{20+0,0035 \times S} \times A(l)$$

$$f_A = \frac{22,58}{20+0,0035 \times 82,95} = 1,11 \text{ kN/m}^2$$

Système B

Les surcharges de types B considérées pour ce dimensionnement sont :

- Sous-système $B_{C_{Niger}}$ se composant de camion type
- Sous-système Bt se composant de groupe de deux essieux

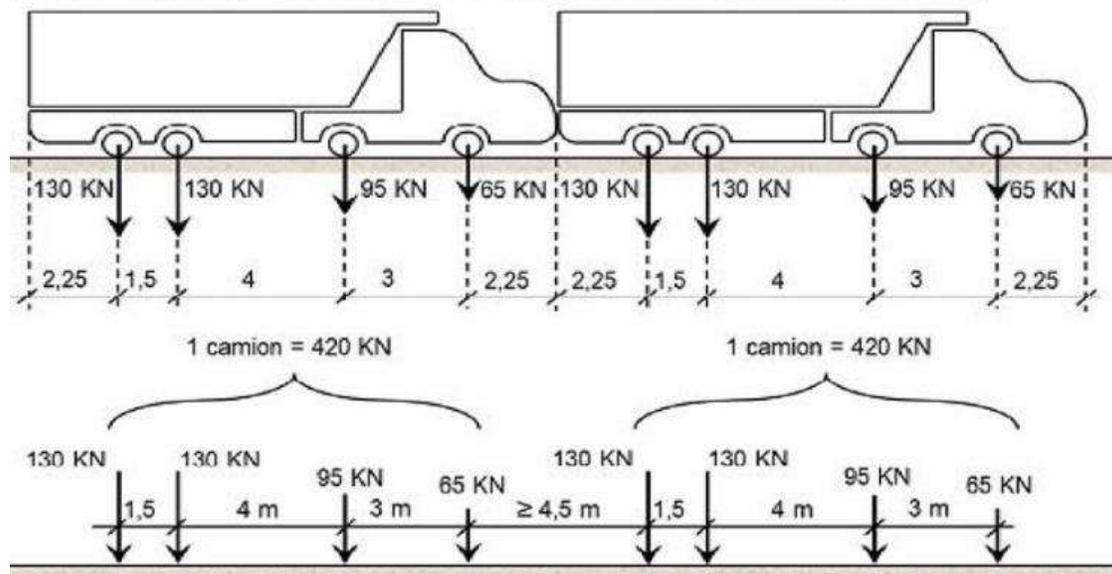
➤ **Sous-système $B_{C_{Niger}}$**

Le sous-système Bc se compose de camions de poids individuel égal à 300 kN. On dispose transversalement sur la chaussée autant de files de camions Bc que la chaussée comporte de voies de circulation et longitudinalement le nombre de camions par file est limité à 2. Pour l'application du sous-système $B_{C_{Niger}}$, les camions Bc de 300 kN seront remplacés par des camions de 420 kN.

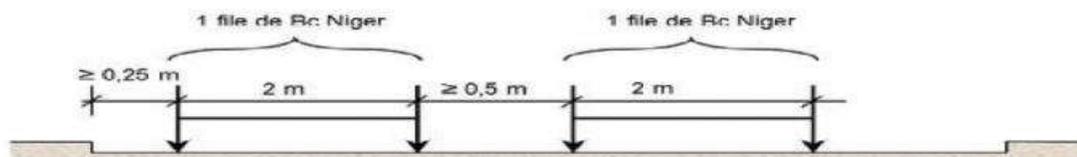
La figure ci-après présente les caractéristiques du convoi Bc ; les charges sont données par essieu. Il est affecté d'un coefficient de pondération bc (dégressivité transversale).

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

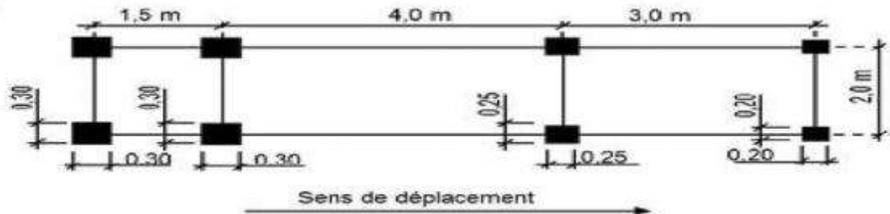
Longitudinalement : (masse relative à une file de camions et charge donnée par un essieu)



Transversalement



En plan



Les valeurs de bc sont données dans le tableau suivant :

Tableau : valeurs de bc

Classe	Nombre de voies				
	1	2	3	4	5
1	1,2	1,1	0,95	0,8	0,7
2	1	1	-	-	-
3	1	0,8	-	-	-

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Pour notre étude $bc = 0,95$

On peut disposer sur le dalot de 4 files d'un camion par file.

Disposition des essieux sur le dalot

Types d'essieux	Nombre d'essieux sur l'ouvrage	Poids d'un essieu (kN)	Poids total des essieux (kN)
Essieux avant	08	65 et 95	640
Essieux arrière	08	130	1040

Soit un total de 1680 kN.

Calcul de la charge sur le tablier par ml

Calcul de la surface d'encombrement : $S_{bc} = t_x \times t_y$

$$T_x = 4 + 3 + 1,5 = 8,5 \text{ m}$$

$$T_y = 2 \times (2 + 0,5 + 2) + 0,5 = 9,5 \text{ m}$$

$$S_{bc} = 8,5 \times 9,5 = 80,75 \text{ m}^2$$

$$Bc_1 = \frac{1680 \times 1}{80,75} = 20,80 \text{ kN/ml}$$

Calcul de la charge sur le radier par ml

$$Bc_2 = \frac{1680 \times 1}{10,5 \times 10,2} = 15,69 \text{ kN/ml}$$

Calcul du coefficient de majoration dynamique : $\delta_{bc} = 1 + \frac{0,4}{1+0,2 \times l} + \frac{0,6}{1+4 \times \frac{G}{S}}$

Avec $l = \max$ (largeur roulable ; portée de la travée) donc $l = 11,5 \text{ m}$,

G poids total du tablier : $G = 18,82 \times 10,2 \times 11,5 + 1,3 \times 10,2 = 2220,85 \text{ kN}$

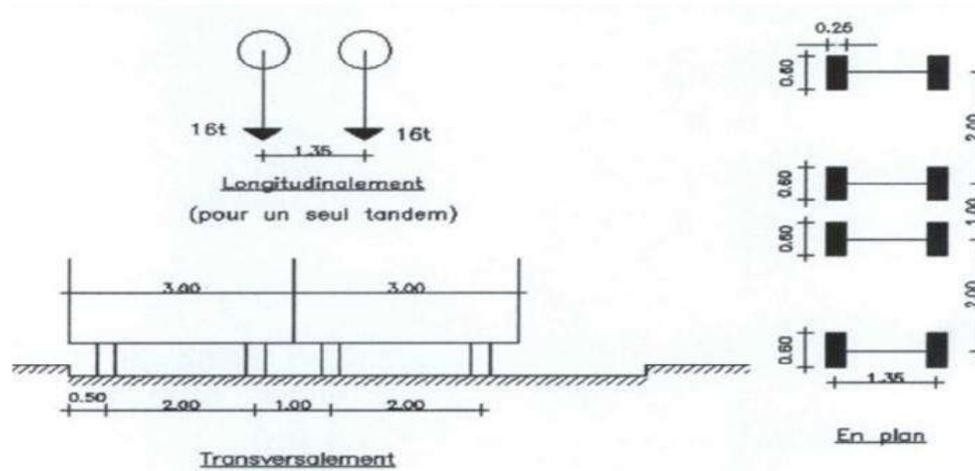
S poids total des essieux sur la travée.

$$\delta_{bc} = 1 + \frac{0,4}{1+0,2 \times 11,5} + \frac{0,6}{1+4 \times \frac{2220,85}{1680}} = 1,22$$

➤ **Sous-système B_t**

Le sous-système B_t se compose de deux tandems à deux essieux de quatre roues chacun, le poids de chaque essieu étant de 160 kN. Le système B_t ne s'applique qu'aux ponts de première et deuxième classe. Le nombre de camions est limité à deux dans le sens transversal.

Il est affecté d'un coefficient de pondération b_t égal à 1 pour les ponts de première classe, et 0,9 pour ceux de deuxième classe.



$$S = 160 \times 4 = 640 \text{ kN}$$

Calcul de la surface d'encombrement : $S_{bt} = t_x \times t_y$

$$S_{bt} = 1,35 \times 5 = 6,75 \text{ m}^2$$

Calcul de la charge sur le tablier :

$$B_{t1} = \frac{640 \times 1}{6,75} = 94,81 \text{ kN/ml}$$

Calcul de la charge sur le radier

$$B_{t2} = \frac{640 \times 1}{10,5 \times 10,2} = 5,98 \text{ kN/ml}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Calcul du coefficient de majoration dynamique : $\delta_{bt} = 1 + \frac{0,4}{1+0,2 \times l} + \frac{0,6}{1+4 \times \frac{G}{S}}$

Avec $l = \text{max}$ (largeur roulable ; portée de la travée) donc $l = 11,5\text{m}$,

G poids total du tablier : $G = 18,82 \times 10,2 \times 11,5 + 1,3 \times 10,2 = 2220,85 \text{ kN}$

S poids total des essieux sur la travée.

$$\delta_{bt} = 1 + \frac{0,4}{1+0,2 \times 11,5} + \frac{0,6}{1+4 \times \frac{2220,85}{640}} = 1,16$$

Pour le calcul des sollicitations sur le tablier on prendra : $\delta_b = \text{max} (\delta_{bc} ; \delta_{bt})$

$$\delta_b = \text{max} (1,22 ; 1,16) = 1,22$$

Calculs des sollicitations

- Sur le tablier

$$Q_B = B \times \delta_b \times b$$

$$Q_{Bc} = 20,80 \times 1,22 \times 0,95 = 24,11 \text{ kN/ml}$$

$$Q_{Bt} = 94,81 \times 1,22 \times 1 = 115,67 \text{ kN/ml}$$

$$Q_t = \text{max} (Q_{Bc}, Q_{Bt}) = Q_{Bt}$$

- Sur le radier

$$Q_r = 15,69 \times 1,22 \times 0,95 = 18,18 \text{ kN/ml}$$

$$Q_{Bt} = 5,98 \times 1,22 \times 1 = 7,30 \text{ kN/ml}$$

$$Q_r = \text{max} (Q_{Bc}, Q_{Bt}) = Q_{Bc}$$

- Surcharge du remblai sur un piédroit extérieur

$$Q_q = k_a \times 1,2 \times q$$

$$Q_q = 0,33 \times 1,2 \times 10 \times 1 = 3,96 \text{ kN/ml}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

- Calcul des charges sur le sol de fondation

$$Q_{\text{sol}} = P_{\text{rad}} + Q_{\text{rad}} + Q_{\text{tab}} = 33,6 + 18,18 + 7,30 = 59,08 \text{ kN/m}^2$$

Contrainte admissible du sol $\sigma_{\text{sol}} = 0,15 \text{ MPa}$ soit 150 kN/m^2

$\sigma_{\text{sol}} > Q_{\text{sol}} \rightarrow$ donc pas de risque de tassement

Calculs des moments d'encastrement

En procédant de la même manière que pour les charges permanentes on obtient :

Le tablier

$$m_{i,j} = \frac{-P_1 \times l^2}{12}$$

$$m_{1,2} = \frac{-115,67 \times 3^2}{12} = -86,75 \text{ kN.m}$$

$$m_{2,1} = -m_{1,2} = 86,75 \text{ kN.m}$$

$$m_{2,3} = \frac{-115,67 \times 3^2}{12} = -86,75 \text{ kN.m}$$

$$m_{3,2} = -m_{2,3} = 86,75 \text{ kN.m}$$

$$m_{3,4} = \frac{-115,67 \times 3^2}{12} = -86,75 \text{ kN.m}$$

$$m_{4,3} = -m_{3,4} = 86,75 \text{ kN.m}$$

Le radier

$$m_{i,j} = \frac{-P_2 \times l^2}{12}$$

$$m_{8,7} = \frac{-18,18 \times 3^2}{12} = -13,64 \text{ kN.m}$$

$$m_{7,8} = -m_{8,7} = 13,64 \text{ kN.m}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

$$m_{7,6} = \frac{-18,18 \times 3^2}{12} = -13,64 \text{ kN.m}$$

$$m_{6,7} = -m_{7,6} = 13,64 \text{ kN.m}$$

$$m_{6,5} = \frac{-18,18 \times 3^2}{12} = -13,64 \text{ kN.m}$$

$$m_{5,6} = -m_{6,5} = 13,64 \text{ kN.m}$$

$$.m_{8,1} = - (P_4 - P_3) \times \frac{H^2}{20} + P_3 \times \frac{H^2}{12}$$

$$.m_{8,1} = - (3,96 - 3,96) \times \frac{1,5^2}{20} + 3,96 \times \frac{1,5^2}{12} = 0,74 \text{ kN.m}$$

$$m_{1,8} = (P_4 - P_3) \times \frac{H^2}{30} + P_3 \times \frac{H^2}{12}$$

$$m_{1,8} = (3,96 - 3,96) \times \frac{1,5^2}{30} + 3,96 \times \frac{1,5^2}{12} = 0,74 \text{ kN.m}$$

$$m_{7,2} = m_{2,7} = 0 \text{ kN.m}$$

$$m_{6,3} = m_{3,6} = 0 \text{ kN.m}$$

$$m_{5,4} = - (P_4 - P_3) \times \frac{H^2}{20} + P_3 \times \frac{H^2}{12}$$

$$m_{5,4} = - (3,96 - 3,96) \times \frac{1,5^2}{20} + 3,96 \times \frac{1,5^2}{12} = 0,74 \text{ kN.m}$$

$$m_{4,5} = (P_4 - P_3) \times \frac{H^2}{30} + P_3 \times \frac{H^2}{12}$$

$$m_{4,5} = (3,96 - 3,96) \times \frac{1,5^2}{30} + 3,96 \times \frac{1,5^2}{12} = 0,74 \text{ kN.m}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

$$\text{Noeud 1: } 6,938 \times 10^7 \cdot a_1 + 1,363 \times 10^6 \cdot a_2 + 3,333 \times 10^7 \cdot a_8 = 86,01$$

$$\text{Noeud 2: } 7,211 \times 10^7 \cdot a_2 + 1,363 \times 10^6 \cdot a_1 + 3,333 \times 10^7 \cdot a_7 + 1,363 \times 10^6 \cdot a_3 = 0$$

$$\text{Noeud 3: } 7,211 \times 10^7 \cdot a_3 + 1,363 \times 10^6 \cdot a_2 + 1,363 \times 10^6 \cdot a_4 + 3,333 \times 10^7 \cdot a_6 = 0$$

$$\text{Noeud 4: } 6,938 \times 10^7 \cdot a_4 + 1,363 \times 10^6 \cdot a_3 + 3,333 \times 10^7 \cdot a_5 = -87,50$$

$$\text{Noeud 5: } 6,938 \times 10^7 \cdot a_5 + 1,363 \times 10^6 \cdot a_6 + 3,333 \times 10^7 \cdot a_4 = -14,38$$

$$\text{Noeud 6: } 7,211 \times 10^7 \cdot a_6 + 1,363 \times 10^6 \cdot a_5 + 1,363 \times 10^6 \cdot a_7 + 3,333 \times 10^7 \cdot a_3 = 0$$

$$\text{Noeud 7: } 7,211 \times 10^7 \cdot a_7 + 1,363 \times 10^6 \cdot a_6 + 3,333 \times 10^7 \cdot a_2 + 1,363 \times 10^6 \cdot a_8 = 0$$

$$\text{Noeud 8: } 6,938 \times 10^7 \cdot a_8 + 1,363 \times 10^6 \cdot a_7 + 3,333 \times 10^7 \cdot a_1 = 12,89$$

La résolution du système d'équations donne:

$$.a_1 = 1,49706 \times 10^{-6}$$

$$.a_2 = -4,33011 \times 10^{-8}$$

$$.a_3 = 4,34857 \times 10^{-8}$$

$$.a_4 = -1,51152 \times 10^{-6}$$

$$.a_5 = 5,19502 \times 10^{-7}$$

$$.a_6 = -3,0499 \times 10^{-8}$$

$$.a_7 = 3,06835 \times 10^{-8}$$

$$.a_8 = -5,33962 \times 10^{-7}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Nous déduisons les moments :

M _{1,2}	-82,73 kN.m	M _{2,1}	88,67 kN.m
M _{2,3}	-86,81 kN.m	M _{3,2}	86,81 kN.m
M _{3,4}	-88,69 kN.m	M _{4,3}	82,69 kN.m
M _{2,7}	-1,86kN.m	M _{7,2}	0,60 kN.m
M _{6,3}	-0,58 kN.m	M _{3,6}	1,88 kN.m
M _{8,7}	-15,05 kN.m	M _{7,8}	12,99 kN.m
M _{7,6}	-13,59 kN.m	M _{6,7}	13,59 kN.m
M _{6,5}	-13,01 kN.m	M _{5,6}	15,01 kN.m
M _{8,1}	15,05 kN.m	M _{1,8}	82,74 kN.m
M _{5,4}	-15,01 kN.m	M _{4,5}	-82,70 kN.m

Calculs des moments isostatiques au milieu du tablier, radier et piédroit :

$$\text{Tablier : } M_{Ot} = \frac{P_1 \times l^2}{8} = \frac{115,67 \times 3^2}{8} = 130,13 \text{ kN.m}$$

$$\text{Radier : } M_{Or} = \frac{-P_2 \times l^2}{8} = \frac{-18,18 \times 3^2}{8} = -20,45 \text{ kN.m}$$

$$\text{Piédroit : } M_{Op} = \frac{P_3 \times H^2}{8} + \frac{(P_4 - P_3) \times H^2}{16} = \frac{3,96 \times 1,5^2}{8} + \frac{(3,96 - 3,96) \times 1,5^2}{16} = 1,11 \text{ kN.m}$$

Moments suivant les différentes parties de l'ouvrage :

Tablier :

- Travée 1

$$\text{Appui gauche } Mat_g = M_{1,2} = -82,73 \text{ kN.m}$$

$$\text{Appui droit } Mat_d = -M_{2,1} = -88,67 \text{ kN.m}$$

$$\text{Au milieu de la travée } M_{t} = \frac{Mat_g + Mat_d}{2} + M_{Ot} = \frac{-82,73 - 88,67}{2} + 130,13 = 44,43 \text{ kN.m}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

- Travée 2

$$\text{Appui gauche } \text{Mat}_g = M_{2,3} = -86,81 \text{ kN.m}$$

$$\text{Appui droit } \text{Mat}_d = -M_{3,2} = -86,81 \text{ kN.m}$$

$$\text{Au milieu de la travée } \text{Mt}_t = \frac{\text{Mat}_g + \text{Mat}_d}{2} + \text{Mo}_t = \frac{-86,81 - 86,81}{2} + 130,13 = 43,32 \text{ kN.m}$$

- Travée 3

$$\text{Appui gauche } \text{Mat}_g = M_{3,4} = -88,69 \text{ kN.m}$$

$$\text{Appui droit } \text{Mat}_d = -M_{4,3} = -82,69 \text{ kN.m}$$

$$\text{Au milieu de la travée } \text{Mt}_t = \frac{\text{Mat}_g + \text{Mat}_d}{2} + \text{Mo}_t = \frac{-88,69 - 82,69}{2} + 130,13 = 44,44 \text{ kN.m}$$

Radier :

- Travée 1

$$\text{Appui gauche } \text{Mar}_g = M_{8,7} = -15,05 \text{ kN.m}$$

$$\text{Appui droit } \text{Mar}_d = -M_{7,8} = -12,99 \text{ kN.m}$$

$$\text{Au milieu de la travée } \text{Mr}_t = \frac{\text{Magt} + \text{Madt}}{2} + \text{Mo}_t = \frac{-15,05 - 12,99}{2} - 20,45 = -34,47 \text{ kN.m}$$

- Travée 2

$$\text{Appui gauche } \text{Mar}_g = M_{7,6} = -13,59 \text{ kN.m}$$

$$\text{Appui droit } \text{Mar}_d = -M_{6,7} = -13,59 \text{ kN.m}$$

$$\text{Au milieu de la travée } \text{Mr}_t = \frac{\text{Magt} + \text{Madt}}{2} + \text{Mo}_t = \frac{-13,59 - 13,59}{2} - 20,45 = -34,05 \text{ kN.m}$$

- Travée 3

$$\text{Appui gauche } \text{Mar}_g = M_{6,5} = -13,01 \text{ kN.m}$$

$$\text{Appui droit } \text{Mar}_d = -M_{5,6} = -15,01 \text{ kN.m}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

$$\text{Au milieu de la travée } M_{r_t} = \frac{M_{a_g} + M_{a_d}}{2} + M_{o_t} = \frac{-13,01 - 15,01}{2} - 20,45 = -34,46 \text{ kN.m}$$

Piédroit extrême gauche:

$$\text{Appui inférieur } M_{a_i} = M_{8,1} = 15,05 \text{ kN.m}$$

$$\text{Appui supérieur } M_{a_s} = - M_{1,8} = -82,74 \text{ kN.m}$$

$$\text{Au milieu de la travée } M_{t_p} = \frac{M_{a_i} + M_{a_s}}{2} + M_{o_t} = \frac{15,05 - 82,74}{2} + 1,11 = -32,73 \text{ kN.m}$$

Piédroit intérieur gauche:

$$\text{Appui inférieur } M_{a_i} = M_{7,2} = 0,60 \text{ kN.m}$$

$$\text{Appui supérieur } M_{a_s} = - M_{2,7} = 1,86 \text{ kN.m}$$

$$\text{Au milieu de la travée } M_{t_p} = \frac{M_{a_i} + M_{a_s}}{2} + M_{o_t} = \frac{0,60 + 1,86}{2} + 1,11 = 2,35 \text{ kN.m}$$

Piédroit intérieur droit:

$$\text{Appui inférieur } M_{a_i} = M_{6,3} = 0,58 \text{ kN.m}$$

$$\text{Appui supérieur } M_{a_s} = - M_{3,6} = - 1,88 \text{ kN.m}$$

$$\text{Au milieu de la travée } M_{t_p} = \frac{M_{a_i} + M_{a_s}}{2} + M_{o_t} = \frac{0,58 - 1,88}{2} + 1,11 = -0,12 \text{ kN.m}$$

Piédroit extrême droit:

$$\text{Appui inférieur } M_{a_i} = M_{5,4} = -15,01 \text{ kN.m}$$

$$\text{Appui supérieur } M_{a_s} = - M_{4,5} = 82,70 \text{ kN.m}$$

$$\text{Au milieu de la travée } M_{t_p} = \frac{M_{a_i} + M_{a_s}}{2} + M_{o_t} = \frac{-15,01 + 82,70}{2} + 1,11 = 34,96 \text{ kN.m}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Calculs des réactions d'appuis

Tablier :

- Travée 1

$$\text{Appui gauche : } \frac{\text{Madt}-\text{Magt}}{1} + \frac{\text{P1} \times \text{l}}{2} = \frac{-88,67 + 82,73}{3} + \frac{115,67 \times 3}{2} = 171,52 \text{ kN/ml}$$

$$\text{Appui droit : } \frac{\text{Magt}-\text{Madt}}{1} + \frac{\text{P1} \times \text{l}}{2} = \frac{-82,73 + 88,67}{3} + \frac{115,67 \times 3}{2} = 171,50 \text{ kN/ml}$$

- Travée 2

$$\text{Appui gauche : } \frac{\text{Madt}-\text{Magt}}{1} + \frac{\text{P1} \times \text{l}}{2} = \frac{-86,81 + 86,81}{3} + \frac{115,67 \times 3}{2} = 173,51 \text{ kN/ml}$$

$$\text{Appui droit : } \frac{\text{Magt}-\text{Madt}}{1} + \frac{\text{P1} \times \text{l}}{2} = \frac{-86,81 + 86,81}{3} + \frac{115,67 \times 3}{2} = 173,51 \text{ kN/ml}$$

- Travée 3

$$\text{Appui gauche : } \frac{\text{Madt}-\text{Magt}}{1} + \frac{\text{P1} \times \text{l}}{2} = \frac{-82,69 + 88,69}{3} + \frac{115,67 \times 3}{2} = 175,51 \text{ kN/ml}$$

$$\text{Appui droit : } \frac{\text{Magt}-\text{Madt}}{1} + \frac{\text{P1} \times \text{l}}{2} = \frac{-88,69 + 82,69}{3} + \frac{115,67 \times 3}{2} = 171,50 \text{ kN/ml}$$

Radier :

- Travée 1

$$\text{Appui gauche : } \frac{\text{Madt}-\text{Magt}}{1} + \frac{\text{P2} \times \text{l}}{2} = \frac{-12,99 + 15,05}{3} + \frac{18,18 \times 3}{2} = 27,96 \text{ kN/ml}$$

$$\text{Appui droit : } \frac{\text{Magt}-\text{Madt}}{1} + \frac{\text{P2} \times \text{l}}{2} = \frac{-15,05 + 12,99}{3} + \frac{18,18 \times 3}{2} = 26,58 \text{ kN/ml}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

- Travée 2

$$\text{Appui gauche : } \frac{\text{Madt} - \text{Magt}}{1} + \frac{\text{P2} \times \text{l}}{2} = \frac{-13,59 + 13,59}{3} + \frac{18,18 \times 3}{2} = 27,27 \text{ kN/ml}$$

$$\text{Appui droit : } \frac{\text{Magt} - \text{Madt}}{1} + \frac{\text{P2} \times \text{l}}{2} = \frac{-13,59 + 13,59}{3} + \frac{18,18 \times 3}{2} = 27,27 \text{ kN/ml}$$

- Travée 3

$$\text{Appui gauche : } \frac{\text{Madt} - \text{Magt}}{1} + \frac{\text{P2} \times \text{l}}{2} = \frac{-15,01 + 13,01}{3} + \frac{18,18 \times 3}{2} = 26,60 \text{ kN/ml}$$

$$\text{Appui droit : } \frac{\text{Magt} - \text{Madt}}{1} + \frac{\text{P2} \times \text{l}}{2} = \frac{-13,01 + 15,01}{3} + \frac{18,18 \times 3}{2} = 27,94 \text{ kN/ml}$$

Calcul des efforts de compressions à prendre en compte pour les piédroits

$$\text{Piédroit extrême gauche : } P_{\text{extg}} = \text{Rat}_g - \text{Rar}_g = 171,52 - 27,96 = 143,57 \text{ kN}$$

$$\text{Piédroit intérieur gauche: } P_{\text{int}} = (\text{Radt}_1 + \text{Ragt}_2) - (\text{Radr}_1 + \text{Ragr}_2) = 348,99 - 53,85 = 295,14 \text{ kN}$$

$$\text{Piédroit intérieur droit: } P_{\text{int}} = (\text{Radt}_2 + \text{Ragt}_3) - (\text{Radr}_2 + \text{Ragr}_3) = 349,02 - 53,87 = 295,14 \text{ kN}$$

$$\text{Piédroit extrême droit : } P_{\text{extd}} = \text{Rat}_d - \text{Rar}_d = 171,50 - 27,94 = 143,57 \text{ kN}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Récapitulatif des sollicitations

Partie Ouvrage	Sollicitations en kN.m/ml et en kN/m	Charges permanentes G	Charges routières max	
Tablier	Moment Fléchissant	à gauche	15.22	88.69
		à droit	15.13	88.67
		milieu	7.60	44.44
Radier	Moment Fléchissant	à gauche	25.59	15.05
		à droit	25.69	15.01
		milieu	63.01	34.47
Piédroit interne	Moment Fléchissant	Inférieur	0.47	0.640
		Supérieur	0.12	1.880
		milieu	2.08	2.35
	Effort Normal		40.91	295.14
Piédroit extrême	Moment Fléchissant	Inférieur	24.40	15.05
		Supérieur	15.02	82.74
		milieu	6.53	34.96
	Effort Normal		19.95	143.57

Combinaisons des actions

ELU: 1,35 x G + 1,6 x Q

ELS: 1,35 x G + 1,2 x Q

Partie Ouvrage	Sollicitations en kN.m/ml et en kN/m	ELU	ELS	
Tablier	Moment Fléchissant	à gauche	162.45	121.65
		à droit	162.30	121.53
		milieu	81.36	60.93
Radier	Moment Fléchissant	à gauche	58.63	43.65
		à droit	58.70	43.70
		milieu	140.22	104.37
Piédroit intérieur	Moment Fléchissant	Inférieur	1.66	1.24
		Supérieur	3.17	2.38
		milieu	6.57	4.90
	Effort Normal		527.45	395.08
Piédroit extérieur	Moment Fléchissant	Inférieur	57.02	42.46
		Supérieur	152.66	114.31
		milieu	64.75	48.48
	Effort Normal		256.64	192.23

Détermination des sections d'aciers

Matériaux		
ELU		
Acier	feE400	
fe	400	
δs	1,15	
Fsu	347,8	MPa
Béton	B30	
Fc28	30	MPa
δb	1,5	
Ft28	2,4	MPa
Fbu	17,00	MPa
σbc ⁻	18	MPa
ELS		
Acier	feE400	
Fissuration préjudiciable		
fe	400	
η	1,6	
σst ⁻	215,56	MPa
Béton	B30	

Le calcul des sections d'armature se fera à l'ELS

❖ Le tablier

- En travée

$$M_{ser} = 60,93 \text{ kN.m}$$

Paramètre de déformation

$$\alpha_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{n \times \sigma_{bc} + \sigma_s}$$

$$\alpha_{ser} = \frac{15 \times 18}{15 \times 18 + 215,56} = 0,56$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Fibre neutre

$$y_{\text{ser}} = \alpha_{\text{ser}} \times d$$

$$y_{\text{ser}} = 0,56 \times 0,27 = 0,13 \text{ m}$$

$$Z_{\text{ser}} = d - y/3$$

$$Z_{\text{ser}} = 0,27 - \frac{0,135}{3} = 0,22 \text{ m}$$

Moment résistant

$$M_{r_{\text{ser}}} = \frac{1}{2} \times b_0 \times y_{\text{ser}} \times \overline{\sigma_{bc}} \times Z_{\text{ser}}$$

$$M_{r_{\text{ser}}} = 0,5 \times 1 \times 0,15 \times 18 \times 0,22 = 0,297$$

$$M_{r_{\text{ser}}} = 297 \text{ kN.m}$$

$$M_{\text{ser}} < M_{r_{\text{ser}}} \rightarrow \text{Pas d'aciers comprimés.}$$

Section d'aciers

$$A_s = \frac{M_{\text{ser}}}{z \times \sigma_s} = \frac{60,93 \times 10^{-3}}{0,22 \times 215,56} = 12,85 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Choix 9 HA 14 totalisant 13,85 cm², avec un espacement de 15 cm.

$$\text{Acier de répartition : } A_r = \frac{A_s}{4} = \frac{13,85}{4} = 3,46 \text{ cm}^2$$

Choix HA 10, avec un espacement de 20 cm.

- Sur appuis

$$M_{\text{ser}} = 121,65 \text{ kN.m}$$

Paramètre de déformation

$$\alpha_{\text{ser}} = \frac{n \times \overline{\sigma_{bc}}}{n \times \overline{\sigma_{bc}} + \sigma_s}$$

$$\alpha_{\text{ser}} = \frac{15 \times 18}{15 \times 18 + 215,56} = 0,56$$

Fibre neutre

$$y_{ser} = \alpha_{ser} \times d$$

$$y_{ser} = 0,56 \times 0,27 = 0,15 \text{ m}$$

$$Z_{ser} = d - y/3$$

$$Z_{ser} = 0,27 - \frac{0,15}{3} = 0,22 \text{ m}$$

Moment résistant

$$M_{r_{ser}} = \frac{1}{2} \times b_0 \times y_{ser} \times \overline{\sigma_{bc}} \times Z_{ser}$$

$$M_{r_{ser}} = 0,5 \times 1 \times 0,15 \times 18 \times 0,22 = 0,297$$

$$M_{r_{ser}} = 297 \text{ kN.m}$$

$$M_{ser} < M_{r_{ser}} \rightarrow \text{Pas d'aciers comprimés.}$$

Section d'aciers

$$A_s = \frac{M_{ser}}{z \times \sigma_s} = \frac{121,65 \times 10^{-3}}{0,22 \times 215,56} = 25,66 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Choix 17 HA 14 totalisant 26,17 cm², avec un espacement de 5 cm.

$$\text{Acier de répartition : } A_r = \frac{A_s}{4} = \frac{26,17}{4} = 6,54 \text{ cm}^2$$

Choix HA 10, avec un espacement de 20 cm.

❖ Le radier

- En travée

$$M_{ser} = 104,37 \text{ kN.m}$$

Paramètre de déformation

$$\alpha_{ser} = \frac{n \times \overline{\sigma_{bc}}}{n \times \overline{\sigma_{bc}} + \sigma_s}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

$$\alpha_{\text{ser}} = \frac{15 \times 18}{15 \times 18 + 215,56} = 0,56$$

Fibre neutre

$$y_{\text{ser}} = \alpha_{\text{ser}} \times d$$

$$y_{\text{ser}} = 0,56 \times 0,27 = 0,15 \text{ m}$$

$$Z_{\text{ser}} = d - y/3$$

$$Z_{\text{ser}} = 0,27 - \frac{0,135}{3} = 0,22 \text{ m}$$

Moment résistant

$$M_{r_{\text{ser}}} = \frac{1}{2} \times b_0 \times y_{\text{ser}} \times \overline{\sigma_{bc}} \times Z_{\text{ser}}$$

$$M_{r_{\text{ser}}} = 0,5 \times 1 \times 0,15 \times 18 \times 0,22 = 0,297$$

$$M_{r_{\text{ser}}} = 297 \text{ kN.m}$$

$$M_{\text{ser}} < M_{r_{\text{ser}}} \rightarrow \text{Pas d'aciers comprimés.}$$

Section d'aciers

$$A_s = \frac{M_{\text{ser}}}{z \times \sigma_s} = \frac{104,37 \times 10^{-3}}{0,22 \times 266,67} = 22,01 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Choix 15 HA 14 totalisant 23,09 cm², avec un espacement de 10 cm.

$$\text{Acier de répartition : } A_r = \frac{A_s}{4} = \frac{23,09}{4} = 5,77 \text{ cm}^2$$

Choix HA 10, avec un espacement de 20 cm.

- Sur appuis

$$M_{\text{ser}} = 43,70 \text{ kN.m}$$

Paramètre de déformation

$$\alpha_{\text{ser}} = \frac{n \times \overline{\sigma_{bc}}}{n \times \overline{\sigma_{bc}} + \sigma_s}$$

$$\alpha_{\text{ser}} = \frac{15 \times 18}{15 \times 18 + 215,56} = 0,56$$

Fibre neutre

$$y_{\text{ser}} = \alpha_{\text{ser}} \times d$$

$$y_{\text{ser}} = 0,56 \times 0,27 = 0,15 \text{ m}$$

$$Z_{\text{ser}} = d - y/3$$

$$Z_{\text{ser}} = 0,27 - \frac{0,135}{3} = 0,22 \text{ m}$$

Moment résistant

$$M_{r_{\text{ser}}} = \frac{1}{2} \times b_0 \times y_{\text{ser}} \times \overline{\sigma_{bc}} \times Z_{\text{ser}}$$

$$M_{r_{\text{ser}}} = 0,5 \times 1 \times 0,15 \times 18 \times 0,22 = 0,297$$

$$M_{r_{\text{ser}}} = 297 \text{ kN.m}$$

$$M_{\text{ser}} < M_{r_{\text{ser}}} \rightarrow \text{Pas d'aciers comprimés.}$$

Section d'aciers

$$A_s = \frac{M_{\text{ser}}}{z \times \sigma_s} = \frac{43,70 \times 10^{-3}}{0,22 \times 215,56} = 9,22 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Choix 9 HA 12 totalisant 10,18 cm², avec un espacement de 15 cm.

$$\text{Acier de répartition : } A_r = \frac{A_s}{4} = \frac{10,18}{4} = 2,54 \text{ cm}^2$$

Choix HA 10, avec un espacement de 20 cm.

❖ Piédroit extérieur

▪ En travée

$$N_{\text{ser}} = 192,23 \text{ kN/ml}$$

$$M_{\text{ser}} = 48,48 \text{ kN.m}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Calculs des excentricités

$$e = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} = 0,25 \text{ m} = 25 \text{ cm}$$

Vérification de la section de l'ouvrage

Si $e < \frac{B}{6}$, alors la section est entièrement comprimée.

Si $e > \frac{B}{4}$, alors la section est partiellement comprimée.

$\frac{B}{6} = 5 \text{ cm} < e = 25 \text{ cm} > \frac{B}{4} = 8 \text{ cm}$, alors la section est partiellement comprimée.

$$e_A = e + (d - 0,5 \times h) = 0,25 + (0,27 - 0,5 \times 0,3) = 0,37 \text{ m}$$

Calcul du moment fictif

$$M_{ser \text{ fictif}} = N_{ser} \times e_A$$

$$M_{ser \text{ fictif}} = 192,23 \times 0,372$$

$$M_{ser \text{ fictif}} = 71,54 \text{ kN.m}$$

Paramètre de déformation

$$\alpha_{ser} = \frac{n \times \overline{\sigma}_{bc}}{n \times \overline{\sigma}_{bc} + \sigma_s}$$

$$\alpha_{ser} = \frac{15 \times 18}{15 \times 18 + 215,56} = 0,56$$

$$y_{ser} = \alpha_{ser} \times d$$

$$y_{ser} = 0,56 \times 0,27 = 0,15 \text{ m}$$

$$Z_{ser} = d - y/3$$

$$Z_{ser} = 0,27 - \frac{0,15}{3} = 0,22 \text{ m}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Section d'aciers

$$A_s = \frac{M_{ser \text{ fictif}}}{z \times \sigma_s} - \frac{N_{ser}}{\sigma_s}$$

$$\text{AN: } A_s = \frac{0,0715}{0,22 \times 215,56} - \frac{0,192}{215,56} = 6,16 \text{ cm}^2$$

$$\text{Max} \left[\left(\frac{b \times h}{1000} \right); \left(0,23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} \right) \right] = \text{Max} [3 ; 3,73] = 3,73 \text{ cm}^2 < A_s$$

$$A_s = \mathbf{6,16 \text{ cm}^2}$$

Choix des aciers: 4 HA 14 totalisant 6,16 cm² avec un espacement de 20 cm.

$$\text{Acier de répartition : } A_r = \frac{A_s}{4} = \frac{6,16}{4} = 1,54 \text{ cm}^2$$

Choix HA 10, avec un espacement de 20 cm.

- Sur appuis

$$N_{ser} = 192,23 \text{ kN/ml}$$

$$M_{ser} = 114,31 \text{ kN.m}$$

Calculs des excentricités

$$.e = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} = 0,60 \text{ m} = 60 \text{ cm}$$

Vérification de la section de l'ouvrage

Si $e < \frac{B}{6}$, alors la section est entièrement comprimée.

Si $e > \frac{B}{4}$, alors la section est partiellement comprimée.

$\frac{B}{6} = 5 \text{ cm} < e = 60 \text{ cm} > \frac{B}{4} = 8 \text{ cm}$, alors la section est partiellement comprimée.

$$e_A = e + (d - 0,5 \times h) = 0,60 + (0,27 - 0,5 \times 0,3) = 0,71 \text{ m}$$

Calcul du moment fictif

$$M_{ser \text{ fictif}} = N_{ser} \times e_A$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

$$M_{\text{ser}} \text{ fictif} = 192,23 \times 0,71$$

$$M_{\text{ser}} \text{ fictif} = 137,37 \text{ kN.m}$$

Paramètre de déformation

$$\alpha_{\text{ser}} = \frac{n \times \overline{\sigma_{bc}}}{n \times \overline{\sigma_{bc}} + \sigma_s}$$

$$\alpha_{\text{ser}} = \frac{15 \times 18}{15 \times 18 + 215,56} = 0,56$$

$$y_{\text{ser}} = \alpha_{\text{ser}} \times d$$

$$y_{\text{ser}} = 0,56 \times 0,27 = 0,15 \text{ m}$$

$$Z_{\text{ser}} = d - y/3$$

$$Z_{\text{ser}} = 0,27 - \frac{0,15}{3} = 0,22 \text{ m}$$

Section d'aciers

$$A_s = \frac{M_{\text{ser}} \text{ fictif}}{z \times \sigma_s} - \frac{N_{\text{ser}}}{\sigma_s}$$

$$\underline{\text{AN:}} A_s = \frac{0,1143}{0,22 \times 215,56} - \frac{0,192}{215,56} = 15,72 \text{ cm}^2$$

$$\text{Max} \left[\left(\frac{b \times h}{1000} \right); \left(0,23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} \right) \right] = \text{Max} [3 ; 3,73] = 3,73 \text{ cm}^2 < A_s$$

$$A_s = 20,06 \text{ cm}^2$$

Choix des aciers: 14 HA 14 totalisant 21,55 cm² avec un espacement de 8 cm.

$$\text{Acier de répartition : } A_r = \frac{A_s}{4} = \frac{21,55}{4} = 5,39 \text{ cm}^2$$

Choix des aciers HA 10, avec un espacement de 20 cm.

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

❖ Piedroit intérieur

- En travée

$$N_{ser} = 395,08 \text{ kN/ml}$$

$$M_{ser} = 4,90 \text{ kN.m}$$

Calculs des excentricités

$$e = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} = 0,01 \text{ m} = 1 \text{ cm}$$

Vérification de la section de l'ouvrage

Si $e < \frac{B}{6}$, alors la section est entièrement comprimée.

Si $e > \frac{B}{4}$, alors la section est partiellement comprimée.

$\frac{B}{6} = 5 \text{ cm} > e = 1 \text{ cm}$, alors la section est entièrement comprimée.

Section d'aciers

$$A_{s'} = \frac{M_{ser} + (N_{ser} - b \times h \times \sigma_{bc}) \left(d - \frac{h}{2}\right)}{15 \times \sigma_{bc} (d - d')}$$

$$A_s = \frac{N_{ser} - b \times h \times \sigma_{bc}}{15 \times \sigma_{bc}} - A_{s'}$$

$$\underline{\text{AN:}} A_s = \frac{4,90 \times 10^{-3} - 1 \times 0,3 \times 18}{15 \times 18} - \frac{4,90 \times 10^{-3} + (395,08 \times 10^{-3} \times 1 \times 0,3 \times 18) \times \left(0,27 - \frac{0,3}{2}\right)}{15 \times 18 \times (0,27 - 0,027)} = 1,45 \text{ cm}^2$$

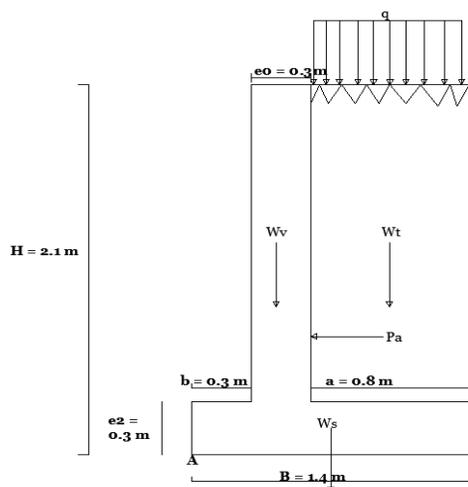
Nous adopterons les mêmes armatures obtenues pour les piedroits extérieurs, soit:

Choix des aciers: 4 HA 14 totalisant 6,16 cm² avec un espacement de 20 cm.

$$\text{Acier de répartition : } A_r = \frac{A_s}{4} = \frac{6,16}{4} = 1,54 \text{ cm}^2$$

Choix HA 10, avec un espacement de 20 cm.

Annexes VIII: Note de calcul du mur en aile



Mur en aile

Vérification de la stabilité du mur

Nous étudierons la stabilité par rapport au point A, indiqué dans la figure.

Le tableau suivant récapitule les sollicitations du mur en aile.

Désignation	Section (m ²)	Bras de levier (m)	Forces verticales (kN/m)	Moments verticaux (kN.m)	Forces horizontales (kN)	Moments horizontaux (kN.m)
Mur	0,54	0,45	16,2	7,29		
Semelle	0,42	0,7	0,42	0,29		
Terre sur le talon	1,44	1	28,8	28,8		
Surcharge sur remblai (q)		1	10	10		
Charge horizontale due à la surcharge (q)		0,9			5,94	5,35
Poussée des terres		0,6			10,69	6,41
Total			55,42	46,38	16,63	11,76

Stabilité externe

Stabilité du mur vis-à-vis du glissement

$$F_s = \frac{c \times B + \sum F_v \times \tan \phi}{\sum F_h} > 1.5$$

$$F_s = \frac{55,42 \times \tan(30)}{16,63} = 1,92 > 1,5 \rightarrow \text{Donc le mur est stable vis-à-vis du glissement.}$$

Stabilité du mur vis-à-vis du renversement

$$\frac{\sum M \text{ stabilisant}}{\sum M \text{ renversant}} = \frac{M_v}{M_h} \geq F_s = 1,5$$

$$\underline{AN} : \frac{46,38}{11,76} = 3,94 > 1,5 \rightarrow \text{Donc le mur est stable vis-à-vis du renversement.}$$

Stabilité du mur vis-à-vis du sol de fondation (excentricité)

$$e \leq \frac{B}{3} \text{ avec } e = \frac{B}{2} - d \text{ et } d = \frac{M_s - M_r}{\sum F_v} = \frac{46,38 - 11,76}{55,42} = 0,624 \text{ m}$$

$$e = \frac{1,4}{2} - 0,624 = 0,076 \text{ m}$$

$$e < \frac{B}{6} = 0,23 \text{ m} \rightarrow \text{La résultante se trouve dans le tiers central et l'excentricité est vérifiée.}$$

Stabilité du mur vis-à-vis du poinçonnement

Il est question de comparer $q_{\text{réf}}$ à la contrainte du sol.

$$q_{\text{réf}} = \frac{Q}{B - 2e} = \frac{55,42}{1,4 - 2 \times 0,076} = 44,40 \text{ kPa}$$

$$q_{\text{adm}} = 150 \text{ kPa} > 44,40 \text{ kPa} \rightarrow \text{Pas de poinçonnement de la semelle.}$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Stabilité interne

Les calculs se feront à l'ELS car la fissuration est préjudiciable.

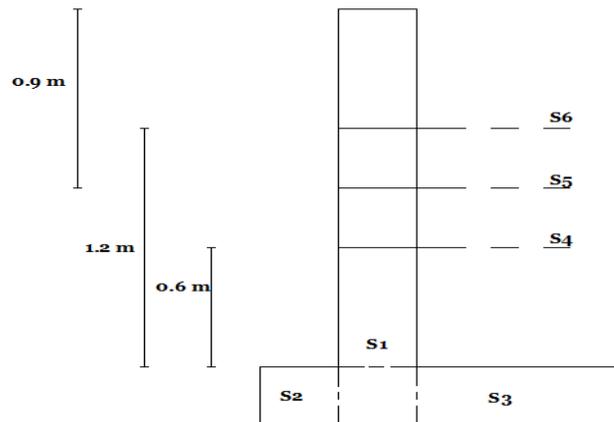
Caractéristique des matériaux

Béton : B30

$$\sigma_{bc} = 0,6 \times 30 = 18 \text{ MPa}$$

Acier : HA Fe 400

$$\sigma_{st} = 215,56 \text{ MPa}$$



Les différentes sections du mur

Actions sur le voile

Section	S1	S4	S5	S6
Hauteur (m)	1,8	0,6	0,9	1,2
Effort Normal N (kN/ml)	16,2	5,4	8,1	10,8
Poussée des terres (kN)	10,69	1,19	2,67	4,75
Poussées dues à la surcharge (kN)	5,94	1,98	2,97	3,96
Moment du à la poussée des terres (MG) (kN.m)	6,42	0,24	0,8	1,90
Moment du à la surcharge (Mq) (kN.m)	5,35	0,59	1,34	2,38

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Actions sur la semelle

- La section S2

Moment résultant

$$M_r = M_v - M_h$$

$$M_r = 46,38 - 11,76 = 34,62 \text{ kN.m}$$

L'effort normal

$$N = \sum F_v = 55,42 \text{ kN}$$

L'excentricité A

$$e_A = \frac{34,62 \times 10^{-3}}{55,42} = 0,62 \text{ m}$$

$$\frac{B}{3} = 0,47 \text{ m}$$

$$\frac{2B}{3} = 0,93 \text{ m}$$

$\frac{B}{3} < e_A = 0,62 < \frac{2B}{3}$; Alors la résultante des forces se trouve dans le tiers central et par conséquent la section est entièrement comprimée.

Calcul de la contrainte sous la fondation

$$\sigma = \frac{\sum F_v}{2 \times e_A} = \frac{55,42}{2 \times 0,62} = 44,35 \text{ kN/m}^2$$

Calcul du moment d'encastrement

$$M_{S2} = \sigma \times b \times \frac{b}{2}$$

$$\underline{\text{AN}}: M_{S2} = \sigma \times b \times \frac{b}{2} = 44,35 \times 0,3 \times 0,15 = 2 \text{ kN.m/ml}$$

- La section S3

$$\text{Poussée des terres } P_1 = 20 \times 1,8 = 36 \text{ kN/m}^2$$

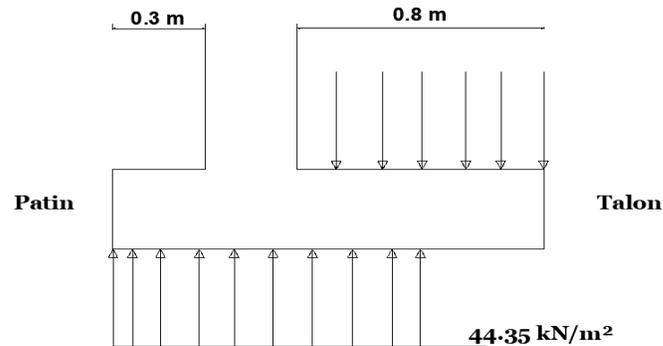
$$\text{Surcharge du au remblai} = P_q = 10 \text{ kN/m}^2$$

$$P = 36 + 10 = 46 \text{ kN/m}^2$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Calcul du moment d'encastrement

$$M_{S3} = 46 \times 0,8 \times \frac{0,8}{2} - (44,35 \times 0,4 \times \frac{0,4}{2}) = 11,17 \text{ kN.m}$$



Charges agissants dur la semelle

Calcul des sections d'armatures du mur en aile

Les sections du voile

- ❖ La section S1

$$M = 11,76 \text{ kN.m}$$

$$N = 16,2 \text{ kN}$$

Calcul de l'excentricité e

$$e = \frac{M}{N} = \frac{11,76}{16,2} = 0,73 \text{ m}$$

$$e_A = e + 0,4 \times h_0$$

$$e_A = 0,73 + 4 \times 0,3 = 0,85 \text{ m}$$

Calcul du moment fictif

$$M_{\text{ser fictif}} = N \times e_A$$

$$M_{\text{ser fictif}} = 16,2 \times 0,85 = 13,71 \text{ kN.m}$$

Calcul des paramètres de déformation

$$\alpha_{\text{ser}} = \frac{n \times \bar{\sigma}_{bc}}{n \times \bar{\sigma}_{bc} + \sigma_s}$$

$$\alpha_{\text{ser}} = \frac{15 \times 18}{15 \times 18 + 215,56} = 0,56$$

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Fibre neutre

$$y_{ser} = \alpha_{ser} \times d$$

$$y_{ser} = 0,56 \times 0,27 = 0,15 \text{ m}$$

$$Z_{ser} = d - y/3$$

$$Z_{ser} = 0,27 - \frac{0,15}{3} = 0,22 \text{ m}$$

Calcul de la section d'armature

$$A_{st} = \frac{M_{ser \text{ fictif}}}{z \times \sigma_{st}} - \frac{N_{ser}}{\sigma_{st}}$$

$$\text{AN: } A_{st} = \frac{(13,71 \times 10^{-3})}{0,22 \times 215,56} - \frac{16,2}{215,56} = 2,14 \text{ cm}^2$$

Choix 4 HA 10 totalisant 3,14 cm² avec un espacement de 25 cm.

Acier de répartition : $A_r = 0,1 \times e_1 = 3 \text{ cm}^2 \rightarrow$ choix de 6 HA 8 espacement de 15 cm

En résolvant de la même manière nous obtenons pour les autres sections :

Désignation	S4	S5	S6
Moment (kN.m)	0,83	2,14	4,28
Effort normal (kN)	5,4	8,1	10,8
Section (cm ²)	0,06	0,28	0,67
Choix armature	HA 10 esp = 20 cm	HA 10 esp = 20 cm	HA 10 esp = 20 cm
Acier de répartition	$A_r = 0,1 \times e_1 = 3 \text{ cm}^2 \rightarrow$ choix de HA 8 espacement de 10 cm		

Nous avons décidé de prolonger les armatures de la section d'encastrement du voile avec la semelle jusqu'au sommet du voile.

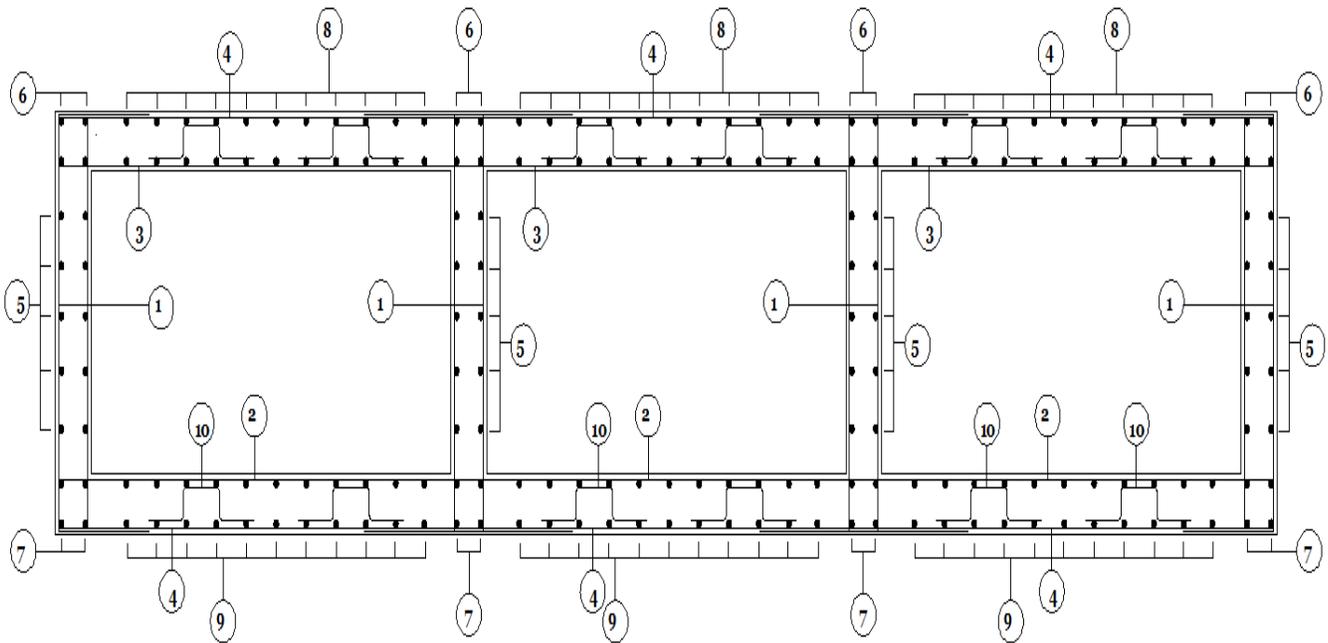
Les sections de la semelle

Désignation	S2 (Patin)	S3 (Talon)
Moment (kN.m)	2	11,17
Section (cm ²) $A_{st} = \frac{M}{z \times \sigma_{st}}$	0,42	2,36
Choix armature	4 HA 10 avec espacement de 25 cm	4 HA 10 avec espacement de 25 cm

Nous avons décidé d'uniformiser les armatures du talon et celles du patin.

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Annexes IX: Plan de ferrailage du dalot 3 x 3 x 1,5

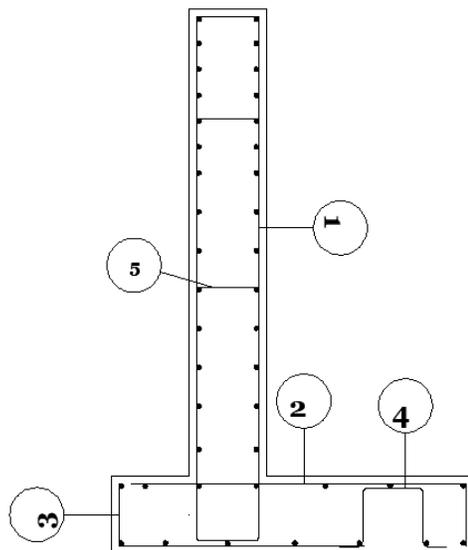


Numéro	Diamètre	Espacement
1	4 HA 14	20 cm
2	15 HA 14	10 cm
3	9 HA 14	15 cm
4	15 HA 12	15 cm
5	HA 14	20 cm
6	4 HA 14	8 cm
7	4 HA 14	15 cm
8	HA 14	20 cm
9	HA 14	20 cm
10	HA 10	2/m ²

MAITRE D'OUVRAGE MINISTRE DES INFRASTRUCTURES	MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES ROUTIERES (DGR)	MAITRE D'OEUVRE  21 BP 411 Ouagadougou 01 Tel: (226) 25 34 21 11 Fax: (226) 25 34 21 12	 Institut International d'Études de l'État et de l'Équipement CONCEPTION: ZOMBRE Hamed Abdallah Étudiant en Master 2	TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE VOIRIE PARALLELE A BABANGUIDA : RUES WEMBA POKO (29.21) et 29.46 Plan de ferrailage du dalot 3 x 3 x 1,5	Date : Juin 2019 Plan N° 3
---	--	--	--	--	--------------------------------------

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Annexes X: Plan de ferrailage du mur en aile

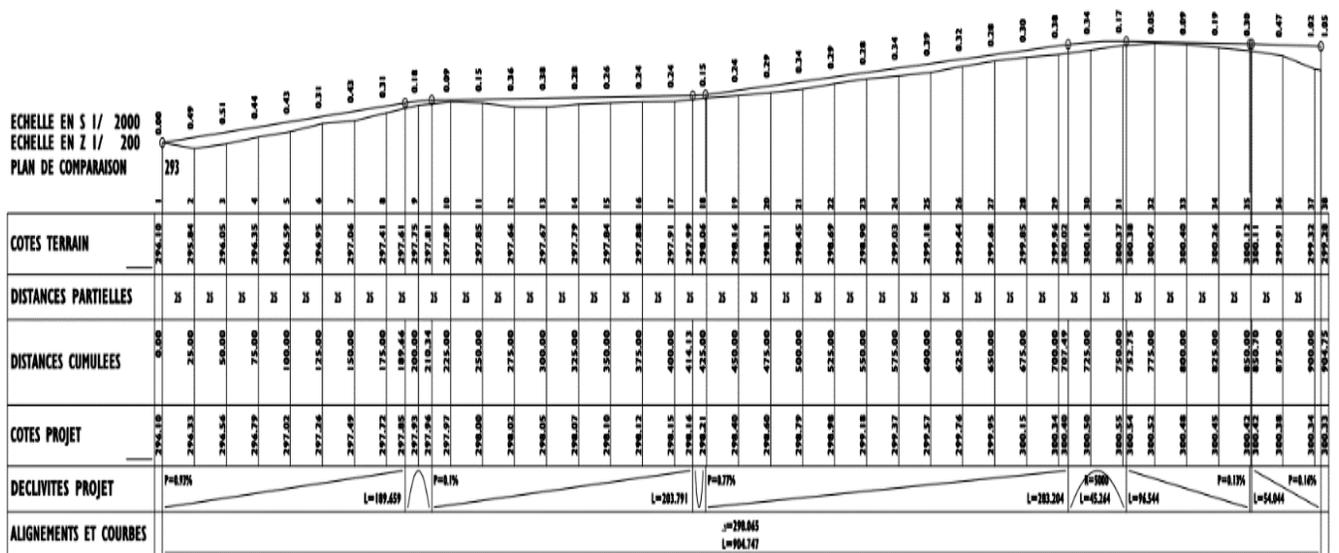
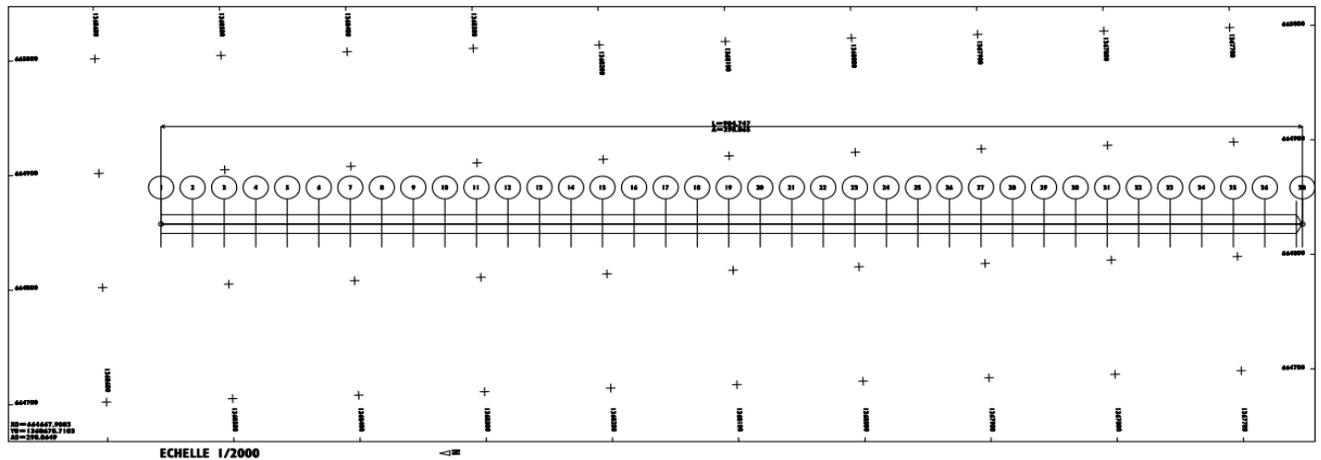


Numéro	Diamètre	Forme	Espacement (cm)	Longueur développée (m)	Nombre
1	HA 10		30	2,52	9
2	HA 10		20	1,28	5
3	HA 10		20	1,13	5
4	HA 10		2 /m ²	0,43	2
5	HA 8		25	0,3	2

MAITRE D'OUVRAGE MINISTRE DES INFRASTRUCTURES	MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES ROUTIERES (DGR)	MAITRE D'OEUVRE INSTITUT NATIONAL ZIEMBA DE RECHERCHE ET DE FORMATION EN INGENIERIE	Institut National Ziemba de l'Enseignement de l'Ingénieur	TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE VOIRIE PARALLELE A BABANGUIDA : RUES WEMBA POKO (29.21) et 29.46	Date : Juin 2019 Plan N° 4
			CONCEPTION: ZOMBRE Hamed Abdallah Etudiant en Master 2	Plan de ferrailage du mur en aile	

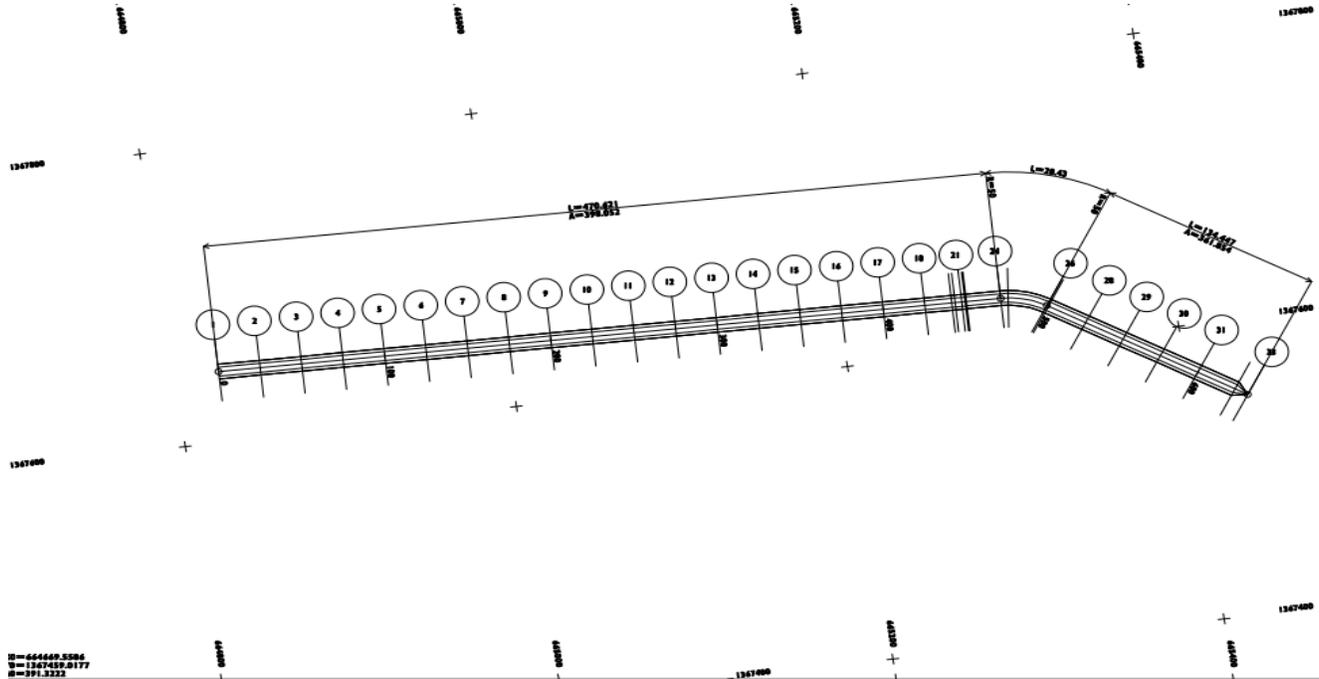
Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Annexes XI: Tracés combinés (profil en long et tracé en plan)

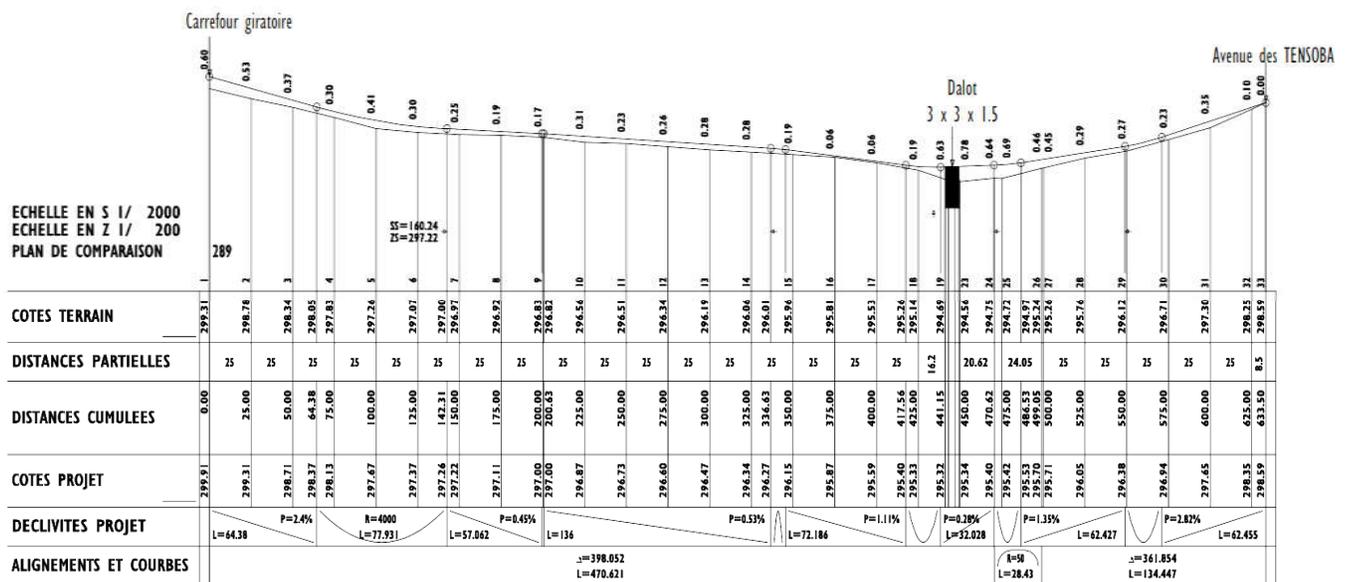


MAITRE D'OUVRAGE MINISTRE DES INFRASTRUCTURES	MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES ROUTIERES (DGR)	MAITRE D'OEUVRE 		TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE VOIRIE PARALLELE A BABANGUIDA : RUES WEMBA POKO (29.21) et 29.46 CONCEPTION : ZOMBRE Hamed Abdallah Etudiant en Master 2	Date : Mai 2019 Plan N° 1
---	--	----------------------------	--	---	-------------------------------------

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46



U=664648.5284
V=1347452.0177
W=391.3322



MAITRE D'OUVRAGE MINISTRE DES INFRASTRUCTURES	MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES ROUTIERES (DGR)	MAITRE D'OEUVRE TED	ZIE ZOMBRE Hamed Abdallah Etudiant en Master 2	TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE VOIRIE PARALLELE A BARANGUIDA : RUES WEMBA POKO (29.21) et 29.46 TRACE COMBINE DE LA RUE 29.46	Date : Mai 2019 Plan N° 2
---	---	-------------------------------	--	--	------------------------------

Annexes XII: Panneaux de signalisation



AB3a
Cédez le passage à l'intersection. Signal de position



AB4
Arrêt à l'intersection dans les conditions définies à l'article R.415-6 du code de la route. Signal de position



AB25
Carrefour à sens giratoire



C20a
Passage pour piétons.



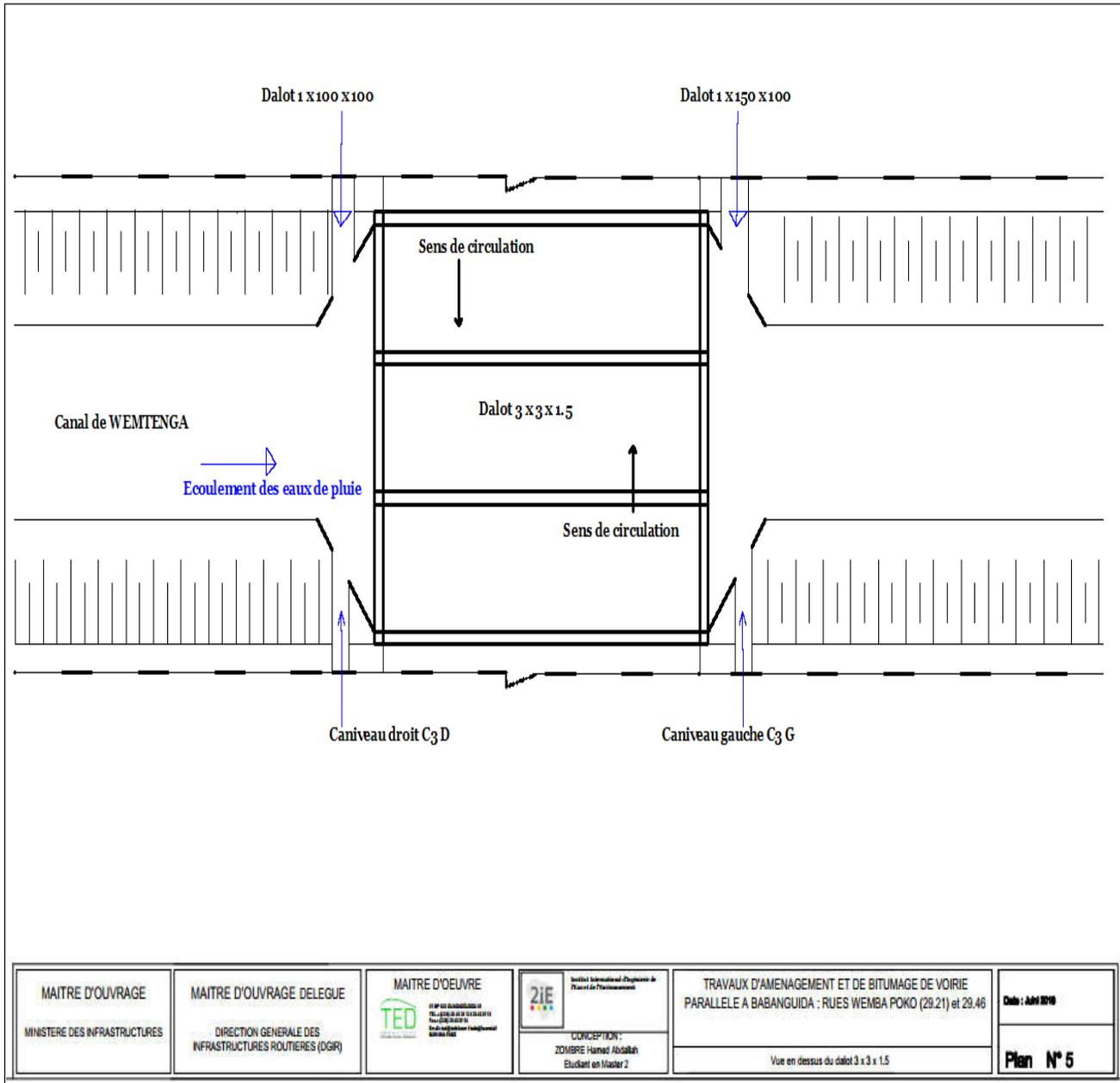
B21a1
Contournement obligatoire par la droite



J5
Signalisation des têtes d'îlots directionnels à contournement par la droite

Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Annexes XIII: Vue en dessus du dalot 3 x 3 x 1,5



Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries dans la ville de Ouagadougou : Rues Wemba Poko (29.21) et 29.46

Annexes XIV: Tableau du devis quantitatif et estimatif

N°	DESIGNATION	UNITE	Quantité	Prix Unit.	Prix Total
I INSTALLATION DU CHANTIER					
1.1	Installation générale du chantier	Ft	1.00	500,000,000	500,000,000
1.2	Amenée et repli du matériel	Ft	1.00	100,000,000	100,000,000
1.3 Déplacement et divers réseaux existant					
	Déplacement et reprise du réseau d'eau potable	Provision	ens	118,542,697	118,542,697
	Déplacement et reprise du réseau d'électricité	Provision	ens	211,153,574	211,153,574
	Déplacement et reprise du réseau téléphonique	Provision	ens	252,476,355	252,476,355
1.4	Aménagement et entretien d'une voie de déviation	Ft		150,000,000	150,000,000
Sous- total-I					1,332,172,626
II TERRASSEMENT SUR CHAUSSEES, PISTES CYCLABLES, ACCOTEMENTS ET AMORCES					
2.1	Nettoyage de l'emprise	m2	39,283.00	150	5,892,450
2.2	Exécution des déblais	m3	1,625.00	4,500	7,312,500
2.3	Exécution des remblais	m3	205.00	7,000	1,435,000
2.4	Purge et exécution de sol de mauvaise qualité	m3	167.00	12,000	2,004,000
Sous- total-II					16,643,950
III ASSAINISSEMENT - DRAINAGE					
3.1	Curage et nettoyage de caniveaux et dalot à conserver	ml	235.00	5,000	1,175,000
3.2	Démolition de caniveaux et dalots concernés	ml	96.00	18,522	1,778,112
3.3 Réalisation de caniveaux divers					
3.3.1	60 x60	ml	356.68	45,500	16,228,940
3.3.2	80 x 80	ml	85.00	50,000	4,250,000
3.3.3	100 x 100	ml	906.00	70,000	63,420,000
3.4 Fourniture et pose de dalètes de dimensions divers					
3.4.1	Largeur 60 cm	ml	175.96	27,750	4,882,949
3.4.2	Largeur 80	ml	53.27	30,000	1,598,000
3.4.3	Largeur 100	ml	688.56	35,000	24,099,600
3.5 Réalisation de dalots de sections diverses					
3.5.1	60 x 60	ml	30.00	135,000	4,050,000
3.5.2	70 x 70	ml	12.00	145,000	1,740,000
3.5.3	100 x 100	ml	84.00	200,000	16,800,000
3.5.4	300 x 300 x 150 ses dépendances et accès sur la rue 29.46	Ft	1.00	44,000,000	44,000,000
Sous-total III					184,022,601
IV CHAUSSEES, ACCOTEMENTS ET AMORCES					
4.1	Exécution de la couche de fondation en graveleux latéritique	m3	9962.5	6,000	59,775,000
4.2	Exécution de la couche de base en graveleux latéritique amélioré au ciment	m3	7970	38,000	302,860,000
4.3	Fourniture et pose de bordures arasées	ml	461.10	12,000	5,533,200
4.4	Fourniture et pose de bordures plates séparateur de chaussée et piste cyclable	ml	461.10	5,845	2,695,130
4.5	Fourniture et pose de bordures type GSS2 pour TPC	ml	860.00	12,000	10,320,000
Sous-total-IV					381,183,330
V REVETEMENTS SUR CHAUSSEES, ACCOTEMENT ET AMORCES					
5.1	Imprégnation sur chaussée	m2	23,096.00	727	16,790,792
5.2	Exécution de revêtement en béton bitumineux 0/10 épaisseur 5 cm	m3	1,154.80	275,000	317,570,000
5.3	Réalisation de paire ralentisseurs	paire	3.00	2,500,000	7,500,000
Sous-Total-V					341,860,792
VI SIGNALISATION ET SECURITE					
6.1	Marquage de chaussée				
6.2	Marquage en peinture blanche pour ligne continue	ml	1,535.00	4,000	6,140,000
6.3	Marquage en peinture blanche pour ligne discontinue	ml	5,379.50	4,000	21,518,000
6.4	Marquage spéciale (stop, passage piéton, etc)	m²	50.40	5,000	252,000
6.5	Fourniture et installation de feux tricolores et des coffrets d'alimentation	u	9.00	12,000,000	108,000,000
6.6 Fourniture et fixation de divers types de panneaux					
	Panneaux de signalisation de type A	u	4.00	150,000	600,000
6.6.1	Panneaux de signalisation de type B	u	5.00	150,000	750,000
6.6.2	Panneau de signalisation de type AB	u	24.00	150,000	3,600,000
6.6.3	Panneau de signalisation de type C	u	10.00	150,000	1,500,000
6.6.4	Fourniture et mise en place de garde corps métallique	ml	24.00	30,000	720,000
Sous-Total-VI					143,080,000
VII AMENAGEMENT DIVERS ET MESURE ENVIRONNEMENTALES ET SOCIALES					
7.1	Aménagement en remblai d'emprunt entre caniveaux et concessions	m3	828.00	7,000	5,796,000
	Aménagement paysager du TPC/ revêtement en pavés du TPC et du giratoire	m2	1,176.000	15,000	17,640,000
7.2	Plantation d'alignement et ombrage avec entretien jusqu'à la réception définitive	u	12.00	6,000	72,000
7.3	Fourniture et mise en place de de candélabres simple foyer (9 m)	u	15.00	1,200,000	18,000,000
7.4	Fourniture et mise en place de de candélabres double foyer (12 m)	u	22.00	1,500,000	33,000,000
7.5	Mise en œuvre du PGES et Remise en état des emprunts et des sites	Ft	ens	3,500,000	3,500,000
Sous-Total-VII					78,008,000
TOTAL en F CFA Hors Taxes					2,476,971,299
T.V.A.					18%
TOTAL en F CFA T.T.C.					2,922,826,132