



**ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DE LA VOIE DE
CONTOURNEMENT DE LA VILLE DE OUAGADOUGOU : CAS DU
TRONÇON RN1-RN2 ET SES OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE
AVEC GRADE DE MASTER

SPECIALITE GENIE CIVIL BÂTIMENT ET TRAVAUX PUBLICS

Présenté et soutenu publiquement le 16/ 07/2024 par

Alassane ZARE (20210946)

Encadrant 2iE : Abdou LAWANE GANA, Maitre de conférence à 2iE

Maitre de stage : Joseph BATIONO, Directeur des Opérations à OZED Ingénieurs

Jury d'évaluation du stage :

Président : Prof. Daniel YAMEGUEU NGUEWO

Membres et correcteurs : Dr Decroly DJOUBISSIÉ DENOUEWÉ

M. Koffi KOKOLE

Promotion 2023/2024

DEDICACE



CITATION

« Choisissez un travail que vous aimez et vous n'aurez pas à travailler un seul jour de votre vie »

Confucius

REMERCIEMENTS

Nous exprimons notre gratitude envers tous ceux qui, de près ou de loin, de toute façon ou d'une autre, ont apporté leur contribution à la réalisation de cette tâche.

Nos remerciements vont particulièrement à l'endroit de :

- ☞ L'institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), l'ensemble du personnel et le corps professoral pour la qualité de la formation et les reformes de soutien que nous avons bénéficié durant ces deux (02) années de formation ;
- ☞ Professeur Abdou LAWANE GANA, notre encadreur, pour sa disponibilité et sa bonne volonté de nous accompagner dans l'élaboration de ce rapport ;
- ☞ Mr le Directeur Général d'OZED Ingénieurs de nous avoir accepté au sein de son entreprise ;
- ☞ Mr Joseph BATIONO, notre maitre de stage, Ingénieur Génie Civil et Directeur Technique à OZED Ingénieurs pour sa disponibilité, ses conseils et son appui technique ;
- ☞ Mr Yaya DIABRI et SANFO Daouda pour leur suivi et leurs multiples conseils ;
- ☞ Tout le personnel d'OZED Ingénieurs pour leur accueil chaleureux et leur esprit de partage ;
- ☞ Sans oublier mes amis (es), camarades et connaissances pour leur soutien multiforme.

RESUME

Notre stage de fin de formation s'est déroulé à **OZED Ingénieurs** et s'est principalement porté sur l'analyse technique détaillée d'un tronçon de l'embranchement RN1-RN2 notamment du PK6+200 au PK11+200 longs de 5 km dans le cadre du projet de construction des voies de contournement de la ville de Ouagadougou. Pour mener à bien cette mission, nous avons tout d'abord effectué une conception géométrique de la route suivant la norme ICTAVRU après avoir dimensionné la chaussée. Ce qui donne un profil en travers avec 2x2x3.5 m de voie, une sur largeur de 0.5 m et un terre-plein central de 10 m. Le dimensionnement de la chaussée a été fait par la méthode du guide CEBTP et vérifié ensuite par la méthode rationnelle ALIZE LCPC et on obtient 5 cm de béton bitumineux en couche de roulement, 11 cm de grave bitume en couche de base et une fondation de 23 cm en graveleux latéritique amélioré au ciment, le tout reposant sur une couche de forme de 33 cm en grave non traité.

En ce qui concerne les écoulements naturels des eaux, nous avons mis en place des dalots perpendiculairement à l'axe de la chaussée dont leur section varie entre 2x1.00x1.00 à 3x2.50x2.00 et aussi des fossés triangulaires non revêtus de 80x160 de part et d'autre de la chaussée. Le dalot 3x2.50x2.00 a fait l'objet d'une étude structurale et des sections d'aciers variables ont été obtenues pour assurer leur résistance.

Enfin, nous avons évalué le coût de notre projet à la somme de **9 543 428 050 FCFA** (Neuf milliards cinq cent quarante-trois millions quatre cent vingt-huit mille cinquante FCFA) y compris la TVA.

Mots clé :

- 1- Contournement
- 2- Dimensionnement
- 3- Dalot
- 4- Chaussée
- 5- Voie

ABSTRACT

Our end-of-training internship took place at OZED Engineers and mainly focused on the detailed technical analysis of a section of the RN1-RN2 branch, in particular from PK6+200 to PK11+200, 5 km long as part of the project to build the bypass roads of the city of Ouagadougou. To carry out this mission, we first carried out a geometric design of the road according to the ICTAVRU standard after dimensioning the roadway. This gives a cross-section with 2x2x3.5 m of track, an extra width of 0.5 m and a central median of 10 m. The sizing of the pavement was done by the method of the CEBTP guide and then verified by the rational method ALIZE LCPC and we obtain 5 cm of bituminous concrete as a surface course, 11 cm of gravel bitumen as a base layer and a foundation of 23 cm in lateritic gravel improved with cement, the whole resting on a 33 cm form layer of untreated gravel. As far as the natural water flows are concerned, we have installed scuppers perpendicular to the axis of the road, whose cross-section varies between 2x1.00x1.00 and 3x2.50x2.00 and also unlined triangular ditches of 80x160 on either side of the road. The 3x2.50x2.00 scupper was the subject of a structural study and variable steel sections were obtained to ensure their strength. Finally, we have estimated the cost of our project at the sum of **9,543,428,050 FCFA** (Nine billion five hundred forty-three million four hundred twenty-eight thousand fifty FCFA) VAT included.

Keywords

- 1- Circumvention
- 2- Sizing
- 3- Scupper
- 4- Pavement
- 5- Ouagadougou

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE	: Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
ANAM	: Agence Nationale de la Météorologie
APD	: Avant-projet Détaillé
BAEL	: Béton Armé aux États Limites
BCEOM	: Bureau d'étude pour les Equipements d'Outre-Mer
BTP	: Bâtiment et Travaux Publics
C.A.M	: Coefficient d'Agressivité Moyen
C.B. R	: Californian Bearing Ratio
CEBTP	: Centre d'Essais du Bâtiment et des Travaux Publics
CIEH	: Comité Interafricain d'Études Hydrauliques
DGNET	: Direction Générale de la Normalisation et des Études Techniques
EIES	: Étude d'Impact Environnemental et Social
ELS	: État Limite de Service
ELU	: État Limite Ultime
GNT	: Grave Non Traité
GTR	: Guide de Terrassement
ICTAAL	: Instructions sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison
ICTARN	: Instructions sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Routes Nationales
ICTAVRU	: Instructions sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines
IRD	: Institut de Recherche pour le Développement
LCPC	: Laboratoire Central des Pont et Chaussée
LNBTP	: Laboratoire National des Bâtiments et Travaux Publics
MNT	: Modèle Numérique du Terrain
ORSTOM	: Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

PK	: Point Kilométrique
RN	: Route Nationale
SETRA	: Service d'Études sur les Transports, les Routes et leurs Aménagements
TDR	: Termes de Référence
TMJA	: Trafic Moyen Journalier Annuel
TN	: Terrain Naturel
BB	: Béton Bitumineux
GB	: Grave Bitume

SOMMAIRE

DEDICACE	i
CITATION	ii
REMERCIEMENTS	iii
RESUME	iv
ABSTRACT	v
LISTE DES ABREVIATIONS	vi
SOMMAIRE.....	1
LISTE DES TABLEAUX.....	2
LISTE DES FIGURES	4
INTRODUCTION GENERALE.....	5
I. Contexte et problématique.....	5
II. Objectifs de l'étude.....	5
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET ..	7
III. Présentation de la structure d'accueil	7
IV. Présentation du projet	8
CHAPITRE II : METHODOLOGIE DE CONCEPTION	12
I. Dimensionnement structural de la chaussée.....	12
II. Étude géométrique	17
III. Étude hydrologique et hydraulique.....	20
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS	30
V. Dimensionnement structural de la chaussée.....	30
VI. Étude géométrique	37
VII. Étude hydrologique et hydraulique.....	39
VIII. Signalisation routière et sécurité routière.....	51
IX. Étude d'impact environnemental	54
X. Évaluation financière du projet.....	57
CONCLUSION	59
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE.....	viii
ANNEXES	ix

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Classification des sols selon CEBTP	13
Tableau 2: Analyse de portance de la plateforme	14
Tableau 3: Classification des sols suivant SETRA LCPC	14
Tableau 4: Classification du trafic selon CEBTP	17
Tableau 5: Caractéristique du tracé en plan	18
Tableau 6: caractéristique minimale pour le profil en long des voies rapides urbaines	19
Tableau 7: Caractéristiques du profil en travers	19
Tableau 8: Vitesses maximales admissibles dans les fossés	29
Tableau 9: Sites d'emprunts exploitables pour notre structure de chaussée	30
Tableau 10: Valeur de CAM sachant le type de structure de chaussée	32
Tableau 11: Résultats de calcul de trafic	32
Tableau 12: Classification du trafic selon CEBTP	33
Tableau 13: Variantes de structures de chaussée	34
Tableau 14: Avantages et inconvénients des différents matériaux	35
Tableau 15: Vérification des contraintes et déformations	36
Tableau 16: Caractéristique du tracé en plan	38
Tableau 17: caractéristique minimale pour le profil en long des voies rapides urbaines	38
Tableau 18: Caractéristiques du profil en travers	38
Tableau 19: Paramètres physiques des bassins versants	41
Tableau 20: Débits par la méthode rationnelle	41
Tableau 21: Débits par la méthode ORSTOM	42
Tableau 22: Débits par la méthode CIEH	43
Tableau 23: Choix de débits de dimensionnement	43
Tableau 24: Sections des ouvrages de franchissement	44
Tableau 25: Paramètres de calcul de l'ouvrage	44
Tableau 26: Prédimensionnement du dalot	45
Tableau 27: Caractéristiques des matériaux	46
Tableau 28: Charges permanentes sur les éléments de l'ouvrage	47
Tableau 29: Récapitulatif des charges d'exploitation	48
Tableau 30: Combinaison des charges à l'ELS	49

Tableau 31: Sections d'armatures pour l'ensemble du dalot	51
Tableau 32: Récapitulatif du devis quantitatif et estimatif du projet.....	57
Tableau 33: Choix des goussets.....	xxiii
Tableau 34: coefficient de correction du système A	xxix
Tableau 35: Coefficient de pondération bc.....	xxxi
Tableau 36: Récapitulatif des charges d'exploitations	xxxviii
Tableau 37: Forces et moments sur le mur en aile	li
Tableau 38: Calcul des armatures du voile	liv

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte de situation de la zone du projet.....	9
Figure 2: Ouvrage en sortie noyée.....	25
Figure 3: Ouvrage en sortie libre.....	26
Figure 4: Résultats de vérification des contraintes et déformations.....	36
Figure 5: Bassins versants	40
Figure 6: Modèle et chargement de la structure à l'ELS.....	49
Figure 7: Digramme des moments fléchissant	50
Figure 8: Signalisations temporaires du chantier	52
Figure 9: Signalisations permanentes verticales du chantier.....	53
Figure 10: Répartition du coût du projet en fonction des postes de travaux	58
Figure 11: Résultats du calcul avec les épaisseurs de base sur CEBTP	xiii
Figure 12: Résultat avec les épaisseurs initiales choisies.....	xiii
Figure 13: Ajustement statistique des pluies maximales annuelles.....	xvi
Figure 14: caractéristiques du convoi Bc	xxx
Figure 15: Caractéristiques du convoi Bc-Niger	xxxiii
Figure 16: Caractéristiques du convoi Bt	xxxv
Figure 17: Caractéristiques du convoi militaire Mc120	xxxvii

INTRODUCTION GENERALE

I. Contexte et problématique

L'importance du développement urbain, la position du Burkina Faso en tant que pays enclavé et l'aspiration à un accès facile et sans entraves aux services et aux équipements publics font du transport un secteur essentiel dans l'ensemble de ces problématiques de développement et il est considéré par les autorités comme l'une des priorités majeures.

Toutefois, la croissance rapide et non maîtrisée de l'urbanisation, associée à une forte pression démographique et à une augmentation du trafic a posé des difficultés dans la gestion de la circulation. En réalité, la forte augmentation du trafic dans la ville de Ouagadougou constatée au cours des dernières années a entraîné l'émergence des problèmes de congestion sur les principales artères de la ville. On peut clairement ressentir dans la partie centrale de la ville, qui regroupe d'une part de nombreuses activités économiques (bureaux, services, commerces, loisirs...) et d'autre part est le centre d'un trafic de plus en plus intense favorisé par l'absence d'une véritable route de contournement.

C'est dans ce cadre que le gouvernement burkinabè, dans sa politique de désengorgement des voies principales de la ville de Ouagadougou dans le but de résoudre les problèmes de mobilité et de fluidité sur les différentes grandes voies et aussi afin de répondre au problème de sécurité des usagers, a mis en place différentes mesures dans le cadre de son programme de modernisation des réseaux routiers urbains. Ces mesures comprennent l'aménagement des artères principales et des voies de communication avec le réseau extérieur de la ville de Ouagadougou.

Pour se faire ce gouvernement à travers le ministère des infrastructures entreprend la réalisation du projet de construction et de bitumage des voies de contournement de la ville de Ouagadougou qui s'étend du Nord au Sud avec un linéaire de 125 km ; ceci nous donnant donc l'occasion lors de notre stage de fin de cycle master de réaliser l'étude technique du tronçon RN1-RN2 partant du PK6+200 au PK11+200 sur un linéaire de 5 km sous le thème intitulé « Étude technique détaillée de la voie de contournement de la ville de Ouagadougou : cas du tronçon RN1-RN2 et ses ouvrages de franchissement ».

II. Objectifs de l'étude

La définition des objectifs est essentielle à l'atteinte des résultats escomptés.

II.1. Objectif général

L'objectif global de cette étude est de proposer une structure de chaussée, des ouvrages de franchissement et d'évacuation des eaux tout au long du tronçon répondant aux normes et aux exigences de durabilité et de qualité.

II.2. Objectifs spécifiques

Spécifiquement, il s'agira pour nous de :

- ✚ Évaluer les débits de crue à partir d'une étude hydrologique et hydraulique permettant de positionner et de dimensionner les ouvrages de franchissement et d'assainissement de la voie ;
- ✚ Dimensionner la structure de la chaussée après un choix judicieux des matériaux ;
- ✚ Dimensionner les ouvrages de franchissement et d'assainissement ;
- ✚ Proposer un plan de signalisation et d'éclairage de la voie ;
- ✚ Évaluer les impacts environnementaux et le coût du projet.

Afin de répondre aux objectifs de cette étude, nous avons structuré notre travail en trois (03) grands chapitres dont le premier est consacré à la présentation de la structure d'accueil et du projet, le deuxième à la présentation des matériels et méthodes utilisés pour aboutir aux résultats et enfin le troisième et dernier chapitre sera réservé à la présentation et à la discussion des résultats obtenus.

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

Afin de mieux aborder notre étude, il est essentiel pour nous de présenter les conditions fondamentales qui ont conduit à la réalisation de ce rapport. Par conséquent, nous réservons ce premier chapitre à la description de la structure d'accueil qui a accepté de nous accueillir pour le stage, puis une brève présentation du projet et enfin nous présenterons les matériels et méthodes qui nous serviront à mener à bien notre étude.

III. Présentation de la structure d'accueil

OZED Ingénieurs, au service des États, des collectivités territoriales, des entreprises et des particuliers, est une entreprise qui accompagne les décideurs dans la réalisation de tous les projets d'infrastructures.

OZED Ingénieurs est une entreprise spécialisée dans le domaine de l'ingénierie, offrant des services de conception, de consultation et de gestion de projets. Forte d'une équipe d'experts multidisciplinaires, l'entreprise s'engage à fournir des solutions innovantes et durables pour répondre aux besoins spécifiques de ses clients.

I.1. Domaine de compétence

OZED Ingénieurs couvre les domaines suivants :

- ◆ Infrastructures : Routes bitumées, routes en terre, Ponts et Ouvrages d'art
- ◆ Ouvrages d'assainissement : canaux de drainage, caniveaux et bassins d'épandage
- ◆ Ouvrages hydrauliques : Barrages, Aménagement hydro-agricoles, Forages d'eau
- ◆ Adduction en eau potable : Réseau d'AEP, château d'eau, réservoirs
- ◆ Bâtiments

I.2. Missions et perspectives

La mission essentielle d'OZED Ingénieurs est de :

- ◆ Assister les décideurs dans le choix des investissements en infrastructures
- ◆ Concevoir les ouvrages alliant le meilleur rapport qualité/coût/Durabilité

- ◆ Veiller à ce que les ouvrages commandés soient exécuter dans les règles de l'art
- ◆ Former les professionnels aux meilleures pratiques du Génie Civil
- ◆ Innover en permanence, rechercher et proposer de nouvelles solutions technologiques plus performantes

IV. Présentation du projet

I. Présentation de la zone d'étude

La zone du projet est localisée dans la province du Kadiogo située au cœur de la Région du Centre. Cette province qui s'étend sur une superficie de 2 805 km² avec une population d'environ 2,2 millions d'habitants, représente la capitale du Burkina Faso.

La province du Kadiogo est divisée en cinq arrondissements : Baskuy, Bogodogo, Boulmiougou, Nongr-Massom et Sig-nonghin, ainsi qu'en six départements : Komki-Ipala, Komsilga, Koubri, Pabré, Saaba et Tanghin-Dassouri, regroupant un total de 148 villages. Elle est bordée au nord, au nord-ouest et à l'est par la région du Plateau Central, à l'ouest par la région du Centre Ouest, et au sud par la région du Centre Sud.

Le projet de contournement prévue ceinture la ville de Ouagadougou et s'étend sur environ 125 km. Il est principalement divisé en deux branches : la branche Nord, qui relie la RN4 à la RN1 en traversant les routes RN3, RN22 et RN2, et la branche sud, qui relie également la RN4 à la RN1 en traversant les routes RN5 et RN6. Dans ce présent mémoire, nous allons nous focaliser sur la branche Nord, précisément l'axe reliant la RN2 à la RN1. Ce tronçon RN1-RN2 nous concernant de son PK6+200 à son PK11+200 long d'environ 5 km, se trouve dans la commune de Tanghin-Dassouri.

La figure ci-dessous illustre la localisation du projet de voies de Contournement.

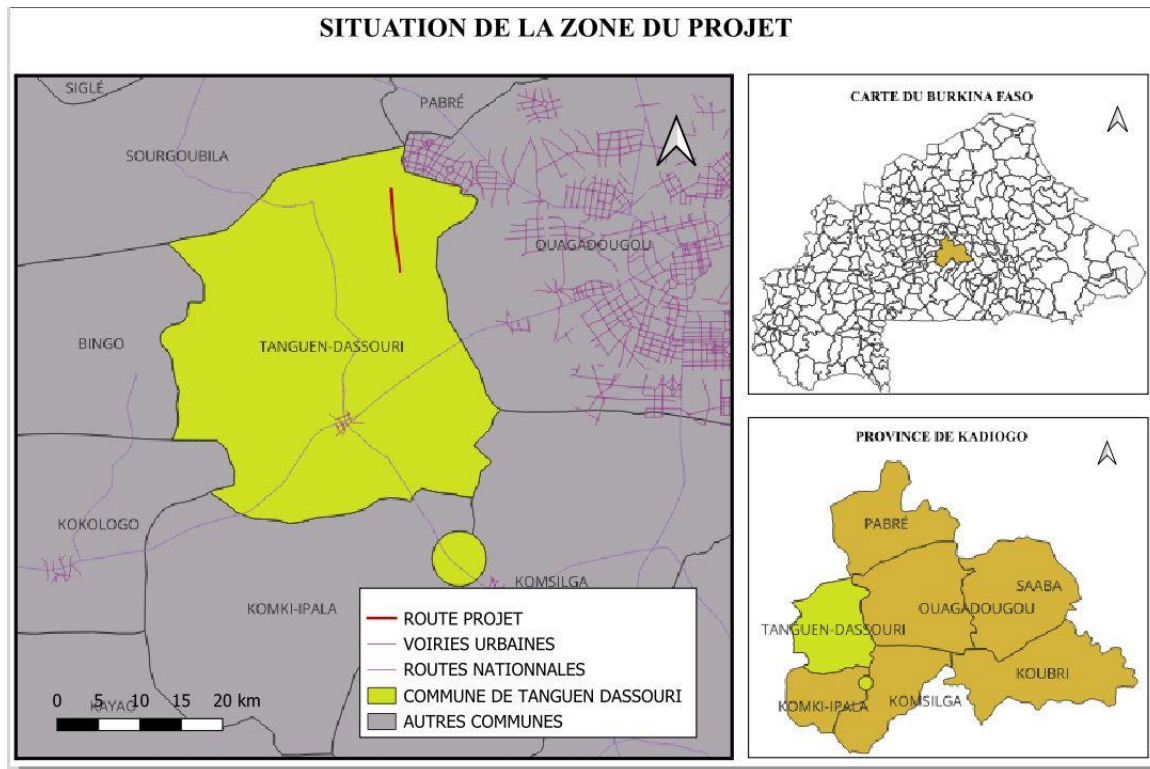


Figure 1: Carte de situation de la zone du projet

✚ Climat et pluviométrie

Le climat de Ouagadougou est caractérisé par des températures élevées toute l'année, avec une saison sèche chaude et ensoleillée et une saison des pluies avec des précipitations abondantes et des températures légèrement plus modérées avec des maximales moyennes comprises entre 35°C et 40°C.

✚ Relief, sol et végétations

La végétation de notre zone de projet est principalement constituée de savane arborée, de steppe herbacée et de zones humides saisonnières, avec une influence significative de l'agriculture et des pressions anthropiques sur les écosystèmes naturels.

La zone de projet est située sur une pénéplaine formée dans un massif précambrien et présente un relief monotone dans la plupart des cas, avec des dénivellations marginales. Il

s'agit d'une altitude moyenne de 270 à 370 m et de quelques particularités avec des points hauts formés par des collines birimiennes ou des affleurements de roches nues.

En ce qui concerne la nature des sols, on peut identifier quatre catégories :

- ◆ Les sols ferrugineux tropicaux avec des concrétions lessiveuses : Lessivés sur des sables, des sablo-argiles ou des argilo-sables ;
- ◆ Les sols peu érodés sur des matériaux gravillonnaires : Les sols présentent généralement une texture sableuse très grossière en surface, avec de nombreuses concrétions.
- ◆ Les sols bruns eutrophes vertiques : Ils sont très rares sur les tronçons étudiés.
- ◆ Les sols hydromorphes minéraux à pseudogley sur des matériaux à textures variées : Il s'agit de sols encombrés à la surface ou sur tout le profil. On trouve principalement ces sols dans les plaines alluviales aux abords du réseau hydrographique (Massili et ses affluents).

Hydrographie

Le réseau hydrographique traversé par les différentes voies de contournement fait partie du bassin du fleuve Nakambé (anciennement Volta blanche) et de ses nombreuses ramifications. Plus précisément situé dans le sous-bassin du Massili, la zone du projet est drainée par ce réseau.

II. Méthodologie de travail

Comme tout ouvrage scientifique, pour atteindre les objectifs escomptés, l'adoption d'une méthodologie de travail reste indispensable. Cette méthodologie renvoie à la méthode et aux matériels utilisés.

IV.1. Méthode

La première étape de notre étude est la collecte des données indispensables d'ordre :

- ◆ Topographique qui représente les levés sur notre emprises larges de 100 m
- ◆ Géotechnique
- ◆ Trafic
- ◆ Pluviométrique (auprès de l'Agence Nationale de la Météorologie (ANAM))

◆ Les échanges avec les experts du domaine

La deuxième phase consiste pour nous l'analyse de ces données afin d'identifier les différentes contraintes sociales, environnementales et économiques du projet.

Enfin nous passons à la rédaction du mémoire sans oublier la réalisation des plans d'exécution des ouvrages.

II.4.2. Matériels

Le traitement et l'analyse de nos données recueillies ont été possibles grâce à des logiciels. Ces derniers ont servi essentiellement dans la modélisation, la simulation des résultats et au dessin d'ingénierie. Parmi ces logiciels, on distingue :

Covadis : qui nous servira dans la conception géométrique de la route et dans le calcul du projet

Qgis : est le logiciel qui nous servira à visualiser nos données géospatiales, à délimiter nos bassins versants et à la production de nos différentes cartes

Pybar : permettant le calcul de structures planes de types poutres.

Excel : qui nous a servi à l'organisation de nos données et à simulation de nos différents obtenus.

Alizé LCPC : qui nous servira dans l'étude et le dimensionnement de notre de chaussée.

Autocad : logiciel qui nous servira dans la réalisation des plans d'ingénieries (plans de coffrage, de ferrailages) des structures en béton armé.

Word : qui nous sert dans la rédaction du présent document.

III. Résultats attendus

- Une note de dimensionnement de structures de chaussées fournie
- Des plans de profils en travers et en long de structures de chaussées fournis ;
- Une note de dimensionnement structurel des réseaux d'assainissement et de franchissement (ouvrages en béton armé) fournie ;
- Des plans de coffrage et ferrailage des ouvrages en béton armé fournis ;

CHAPITRE II : METHODOLOGIE DE CONCEPTION

I. Dimensionnement structural de la chaussée

Le dimensionnement structural d'une chaussée est une étape du projet qui vise à proposer une structure capable de supporter les charges de trafic prévues tout en minimisant les coûts et en maximisant sa durabilité et sa performance.

Il implique l'analyse du trafic, du sol support et des matériaux construction disponibles et des conditions environnementales pour déterminer les épaisseurs appropriées des différentes couches de la chaussée. Pour se faire, nous allons faire usage de deux méthodes à savoir la méthode rationnelle et la méthode empirique. Dans un premier temps, le prédimensionnement sur la base des principes du manuel Guide de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux du CEBTP, d'octobre 1972 et dans un second temps après analyse et choix de notre variante retenue, nous utiliserons le logiciel ALIZE LCPC pour la vérification des contraintes et déformations admissibles des matériaux de nos différentes couches. Tout ceci pour une assurance parfaite de la bonne de notre chaussée face aux agressions du trafics et du climat.

Afin de mener à bien ce travail, nous allons d'abord analyser les données géotechniques qui nous renseigne sur la portance de notre plateforme et les caractéristiques de nos différents sites d'emprunt et ensuite étudier le trafic attendu sur notre chaussée pendant sa période de mise en service.

I.1. Analyse des données géotechniques

L'étude géotechnique est l'étude qui nous fournit les informations nécessaires sur le sol afin de garantir la sécurité, la stabilité et la durabilité des projets d'ingénierie civile.

Dans le cadre de notre projet, cette étude a été effectuée par le Laboratoire National des Bâtiments et des Travaux Publics (LNBTP) en sa phase APS. Cette étude s'est déroulée en deux (02) étapes à savoir la première phase qui est la phase terrain nous a conduit à l'exécution des sondages manuels de profondeur moyenne 80 cm par rapport au TN et espacés de 250 m implantés en quinconce tout au long du tracé et aussi dans les zones défavorables. La deuxième phase constitue les travaux de laboratoire a consisté à la

réalisation des essais d'indentification et de portance et a permis donc la détermination des caractéristiques de notre sol plateforme et le comportement des matériaux en place.

Les différents essais qui ont été réalisés sur ce tronçon sont les suivants :

- ◆ L'analyse granulométrique NF P 94 056
- ◆ Les limites d'Atterberg NF P 94 051
- ◆ Équivalent de sable NF EN 933-8
- ◆ Le Proctor modifié NF P 94 093
- ◆ Le CBR NF P 94 078 (3 énergies de compactage : 10, 25 et 56 coups) à 96 heures d'immersion

I.1.1. Portance du sol support

Les résultats des essais sur le tronçon PK6+200 au PK11+200 sont consignés dans le tableau présenté en annexe 2 et il faut noter que la classification des portances a été faite suivant le guide CEBTP selon le tableau 1 :

Tableau 1: Classification des sols selon CEBTP

Valeurs CBR	Classes	Portance
CBR<5	S1	Portance très faible
5<CBR<10	S2	Portance faible
10<CBR<15	S3	Portance moyenne
15<CBR<30	S4	Portance bonne
CBR>30	S5	Portance très bonne

L'analyse des résultats de ces essais nous révèle que nous sommes en présence d'un sol à classe de portance variable. Les différentes classes sont résumées dans le tableau 2 :

Tableau 2: Analyse de portance de la plateforme

Classe	Nombre	Pourcentage
S1	03	14,3%
S2	08	38,1%
S3	06	28,6%
S4	04	19,0%
S5	00	0%
Total	21	100

Ce tableau montre une prédominance de la classe S2 (38,10%) puis suit la classe S3 représentant 28,6%. Nous allons considérer la classe S3 comme classe de notre plateforme pour le dimensionnement de notre chaussée. Les classes S1 et S2 doivent faire nécessairement l'objet d'une substitution par des matériaux sélectionnés de classe S3 sur une épaisseur minimale de 30 cm.

Cette classe S3 correspond à la classe Pf2 selon la classification de SETRA-LCPC Cette méthode utilise le module $E=5 \times \text{CBR}$ pour les sols grenus et $3 \times \text{CBR}$ pour les sols fins. Notre sol étant des sols grenus, nous allons utiliser le $5 \times \text{CBR}$ pour le calcul de nos modules.

Tableau 3: Classification des sols suivant SETRA LCPC

Module (MPa)	20	50	120	200
Classe de plate-forme	PF1	PF2	PF3	PF4

I.1.2. Vérification des contraintes selon SETRA LCPC

◆ Déformation admissible des matériaux bitumineux

Cette déformation est calculée par la formule suivante :

$$\varepsilon_{t,adm} = \varepsilon_6(10^\circ\text{C}; 25\text{Hz}) \times \sqrt{\frac{E(10^\circ\text{C}; 25\text{Hz})}{E(\theta_{eq}; 25\text{Hz})}} \times \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b \times k_c \times k_r \times k_s$$

ε_6 : Niveau de déformation correspondant à 106 cycles de chargement

k_s : Coefficient de plateforme

k_r : coefficient de risque

b : pente de la droite de fatigue

NE : Nombre d'essieux équivalents calculé à partir du trafic cumulé et du coefficient

$E(10^\circ)$: Module du matériau à 10°C

$E(\theta_{eq})$: Module du matériau à $\theta_{eq}^\circ\text{C}$

Les coefficients k tiennent compte de la Température, du risque, de la qualité de la portance du support.

◆ Déformation admissible des matériaux bitumineux

$$\varepsilon_{t,adm} = \varepsilon_6 \times \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b \times k_c \times k_r \times k_s \times k_d$$

Avec k_d le coefficient de discontinuité

◆ Déformation admissible pour les matériaux granulaires non liés

$$\varepsilon_{adm} = 12000 \times (NE)^{-0,222} \quad \text{Pour } (T \geq T3)$$

$$\varepsilon_{adm} = 16000 \times (NE)^{-0,222} \quad \text{Pour } (T < T3)$$

I.2. Étude du trafic

Le trafic est l'un des paramètres essentiels du dimensionnement des chaussées routières. Elle est définie comme le nombre cumulés de passages d'un essieu équivalent de 13 tonnes devant emprunter la chaussée au cours de sa durée de vie. Il est évalué à partir du trafic moyen journalier annuel (TMJA) estimé en nombre de poids lourds par sens à la date de mise en service obtenu suite à une campagne de comptage. En général, les études de trafic ont lieu avant même la date de mise en service, il convient donc de les actualiser à la date de mise en service avant le calcul pour le trafic de dimensionnement.

Cette actualisation est faite en utilisant la formule ci-après :

$T_n = T_1 \times (1 + \tau)^n$	<ul style="list-style-type: none"> ➤ T_n : Trafic moyen journalier de l'année n ➤ T_1 : Trafic moyen journalier de la première année ➤ τ : le taux d'accroissement annuel du trafic ➤ n : Nombre d'années
---------------------------------	--

A partir de cette actualisation, il est nécessaire de procéder au calcul du nombre d'essieux équivalents après avoir déterminé le nombre cumulé de poids lourds durant la période de service.

◆ Formule de calcul du nombre cumulé de poids lourds

$N = 365 \sum t_n = 365 T_1 [(1 + i)^n - 1] / i$	<ul style="list-style-type: none"> ➤ T_n : Trafic moyen journalier de l'année n ➤ T_1 : Trafic moyen journalier de la première année ➤ τ : le taux d'accroissement annuel du trafic ➤ n : Nombre d'années nombre d'année
--	---

◆ Formule de calcul du nombre d'essieux équivalent

$$NE = N \times CAM$$

Avec N le nombre cumulé de poids lourds et CAM le coefficient d'agressivité moyen.

Ce nombre NE doit être affecté d'un coefficient de répartition transversale selon la norme française NF P-98-082 pour la voie lente.

Afin d'obtenir la classe de trafic pour le dimensionnement, le guide CEBTP nous propose le tableau suivant pour la classification des trafics :

Tableau 4: Classification du trafic selon CEBTP

Classe de trafic	Nombre équivalent de poids lourds	Nombre de véhicule/jours
T1	$< 5.10^5$	< 300
T2	5.10^5 à $1,5.10^6$	300 à 1000
T3	$1,5.10^6$ à 4.10^6	1000 à 3000
T4	4.10^6 à 10^7	3000 à 6000
T5	10^7 à 2.10^7	6000 à 12 000

Source : (Guide CEBTP 1984)

II. Étude géométrique

L'étude géométrique d'une route est un processus complexe qui nécessite une approche multidisciplinaire. Elle intègre des aspects techniques, environnementaux et de sécurité pour assurer la viabilité du projet. Le choix du tracé, l'estimation du coût du projet et le calcul des différents plans permettent une définition parfaite du projet routier.

Les caractéristiques géométriques d'une route peuvent être classées sous différentes rubriques à savoir le tracé en plan, le profil en long, le profil en travers et la largeur des ouvrages d'art. La conception de ces différentes caractéristiques obéit à des réglementations ou normes. Pour ces types de projet, les réglementations plus utilisées sont les suivantes.

- ◆ ICTARN : Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Routes Nationales ;
- ◆ ICTAVRU : Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines.
- ◆ ICTAAL : Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison [1].

Choix de la norme : Les caractéristiques de la voie telles que décrit le TDR correspond dans la norme ICTAVRU à une voie rapide à caractère autoroutier de type A. Une vitesse de référence de 100 km/h a été choisie conférant ainsi à notre route la catégorie type A100.

II.1. Tracé en plan

Le tracé en plan est la projection horizontale de l'axe de la chaussée qui est une succession de segment de droite, d'Arc de cercle et de raccordements à courbure variable ou clothoïde.

Ces dernières sont utilisées lorsque l'on constate que le rayon choisi est inférieur au rayon minimal non déversé. Elles permettent d'avoir des courbes douces d'où leur appellation raccordement progressif. Ce tracé prend en compte plusieurs facteurs (contraintes) d'ordre topographique, environnemental, géographique (localité à desservir) et culturel.

Les caractéristiques de référence du tracé

Les paramètres de référence selon la norme ICTAVRU pour une vitesse de référence de 100 km/h de la voie sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 5: Caractéristique du tracé en plan

Catégorie	A80	A100
Rayon non déversé (dévers $\delta=2,5$ %)	400 m	800 m
Rayon au dévers minimal (dévers $\delta=2,5$ %)	300 m	500 m
Rayon minimal absolu (dévers $\delta=2,5$ %)	240 m	425 m
Rayon minimal normal (dévers $\delta=2,5$ %)	650 m	900 m

Source : Norme ICTAVRU, SETRA-France

Le logiciel Covadis sera l'outil de base qui nous permettra de faire le tracé.

II.2. Profil en long

Le profil en long de la ligne centrale est un profil longitudinal du terrain réalisé le long de la ligne centrale de la route (axe de la route). Le déroulement de cette coupe ne se fait pas sur un plan vertical, mais plutôt sur une surface verticale plane d'une surface verticale incurvée en suivant les courbes horizontales de la route. Les longueurs du profil sont calculées en fonction des altitudes de tous les points mesurés dans la ligne centrale lors de la prise des sections en travers sur le terrain. La mesure horizontale est de 1/1000 et la mesure verticale est habituellement de 1/100. Grâce à cette différence d'échelles, il est possible de mieux observer le relief du terrain et de sélectionner plus soigneusement le profil final approprié.

Il existe deux types de profil en long à savoir le profil en long terrain naturel donné par le modèle numérique du terrain (MNT) et le profil en long projet ou ligne rouge.

La conception du profil en long projet nécessite deux types de raccordement (aigle entrant et en aigle sortant) afin de garantir la visibilité au sommet des côtes et confort entre deux parties de déclivités différentes et raccordements et est conditionnée par la côte des ouvrages hydrauliques et du relief du terrain naturel.

Les valeurs caractéristiques minimales de ces raccordements sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6: caractéristique minimale pour le profil en long des voies rapides urbaines

Catégorie	U60	U60 à A80	A100
Déclivité moyenne π	6 %	6 %	6 %
Rayon normal en angle saignant	2 500 m	6 000 m	10 000 m
Rayon minimal en angle saignant	1 500 m	3 000 m	6 000 m
Rayon normal en angle entrant	1 500 m	2 000 m	3 000 m
Rayon minimal en angle saignant	800 m	1 000 m	1 500 m

Source : Instructions sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines (ICTAVRU) SETRA-France

II.3. Profil en travers

La section verticale perpendiculaire à l'axe de la route est le profil en travers d'une route, qui représente les différentes couches et dimensions de la chaussée, des accotements et éventuellement des fossés. Ce profil joue un rôle clé dans la conception de la route, garantissant ainsi sa durabilité, sa sécurité et le confort des usagers.

Les caractéristiques géométriques utilisées dans la conception de nos différents profils en travers sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 7: Caractéristiques du profil en travers

Caractéristiques	Dimensions
Circulation	Chaussée bidirectionnelle
Chaussée	2 × 2 × 3,5 m avec 0,5 m de surlargeur
Terre-Plein Central	10 m
Pente transversale	2,5% (profil en toit) en alignement droit et dans les courbes non déversé

III. Étude hydrologique et hydraulique

On entend par étude hydrologique et hydraulique, l'étude qui a pour but la détermination des débits des bassins versants et la section des ouvrages pouvant transiter ces débits transversalement ou longitudinalement la chaussée. Cette étude se déroule en trois étapes à savoir l'identification des bassins versants, la détermination de leurs caractéristiques physiques et l'estimation des débits et des sections d'ouvrages correspondantes.

III.1. Étude hydrologique

L'étude hydrologique a pour but d'estimer les caractéristiques hydrologiques (débits de projet) nécessaires pour définir non seulement le schéma d'aménagement mais aussi pour le dimensionnement hydraulique des ouvrages et le calage du profil en long projet.

III.1.1. Identification et caractérisations des bassins versants

Le terme « bassin versant » fait référence à la fois à la configuration topographique d'une zone limitée par une ligne de partage des eaux et à la surface d'interception des précipitations qui pourraient être drainées jusqu'au point le plus bas appelé exutoire par l'ensemble du réseau hydrographique de la section en amont.

Dans le cadre de notre étude, nous avons faite usage du logiciel QGIS, qui nous donne une meilleure approche et une meilleure visualisation des différents sens d'écoulements, pour la délimitation de nos différents bassins versants. Il permet également de déterminer certaines caractéristiques physiques comme la surface, le périmètre et les pentes.

III.1.2. Estimation des débits

Il existe plusieurs méthodes pour évaluer les débits dont trois seront utilisées pour l'estimation de nos différents débits à savoir la méthode rationnelle, la méthode ORSTOM et la méthode CIEH. Les calculs de nos différents débits seront faits en considérant une période de retour de 10 ans.

III.1.2.1. Méthode ORSTOM

Les bassins versants dont la superficie varie de quelques dizaines d'hectares à plus de 1500 km² sont soumis à cette méthode déterministe, qui repose sur un modèle global de pluie-débit basé sur la théorie de l'hydrogramme unitaire.

Le débit maximal correspondant au ruissellement superficiel de la crue décennale est défini dans ce modèle par la relation suivante :

$Q_{10} = \frac{A \times P_{10} \times K_{r10} \times \alpha_{10} \times S}{T_{b10}}$	<ul style="list-style-type: none"> ➤ A : le coefficient d'abattement ; ➤ P₁₀ : la hauteur de pluie journalière décennale ➤ K_{r10} : le coefficient de ruissellement correspondant à la crue décennale ➤ α₁₀ : le coefficient de pointe correspondant à la crue décennale ➤ S : la superficie du bassin versant en km² ➤ T_{b10} : temps de base correspondant à la crue décennale
---	---

◆ Description des paramètres ci-dessus

• Le coefficient d'abattement A

Le coefficient d'Abattement A est donné par la formule

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

S étant la superficie du bassin versant en km² et Pan la pluie annuelle exprimée en mm que nous avons déterminé en faisant la moyenne arithmétique des plus maximale mensuelle annuelle des données pluviométriques.

• Pluie journalière décennale P₁₀

P₁₀ peut être déterminée à partir d'ajustements statistiques effectuées sur les observations d'un poste de référence mais aussi par une approche pratique et précise par l'utilisation des cartes d'isohyètes des figures 3 et 4 du manuel « crue et apport ».

Avec les données pluviométriques, nous allons utiliser le logiciel Hyfran Plus qui est un logiciel permettant de faire d'ajustement statistique pour obtenir la pluie de retour à la période souhaitée.

- **Coefficient de ruissellement décennal Kr10**

Kr10 dépend de l'indice global des pentes I_g et la superficie des bassins versants et est déterminé par interpolation entre les valeurs à l'aide des abaques (figure 13 et 14) du manuel « crue et apports ». Kr10 est calculée par interpolation entre les valeurs de Kr70 et K100. Le détail des calculs pour le bassin versant 1 est donnée en annexe 2.

- **Coefficient de point décennal α_{10}**

α_{10} est le quotient du rapport du volume maximal ruisselé sur le volume moyen. Ce coefficient est pris égal à 2,6 en général mais il est à noter qu'il est fonction du réseau hydrographique du bassin.

- **Superficie S**

La superficie de chaque bassin versant est déterminée à partir du logiciel QGIS.

- **Temps de base Tb10**

Tb10 est le temps de base correspondant à la crue décennale et correspond également à l'intervalle de temps entre le commencement et la fin du ruissellement rapide. Sa détermination nécessite une interpolation entre les valeurs des indices globaux des pentes encadrant celui du bassin versant considéré suivant les équations de Tb10 des régions tropicales sèches de la page 49 du manuel « crue et apport ».

III.1.2.2. Méthode CIEH

Le calcul du débit de crue décennale Q_{10} par la méthode CIEH est régit par la formule suivante :

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

Où a, s, p, i ; k, d... sont des paramètres à déterminer et :

S : la superficie su bassin versant en km^2 ; P_{an} : Pluie annuelle moyenne en mm

I_g : indice global des pentes (m/km) ; Kr_{10} : coefficient de ruissellement en %

D_d : densité de drainage en km^{-1}

En fonction des zones de découpage, le « manuel crues et apports nous propose des formules (équation 39 et 40) encore plus simplifiées. Pour le Burkina Faso, nous retenons les deux formules suivantes :

$$(39) Q_{10} = 0,41 \times S^{0,425} \times Kr_{10}^{0,923}$$

$$(40) Q_{10} = 0,254 \times S^{0,46} \times Ig^{0,101} \times Kr_{10}^{0,976}$$

Comme l'équation 39 qui prend en compte de la superficie et du coefficient de ruissellement de l'indice global des pentes, l'équation 40 en plus de ces deux paramètres, prend également en compte l'indice global des pentes I_g donc nous renseigne plus sur le bassin versant. Nous allons donc le retenir pour le calcul de nos différents débits.

III.1.2.3. Méthode rationnelle

Elle est applicable à des petits bassins versants dont la superficie est au plus égale à 4 km², conditions de validé théorique de la méthode.

La formule retenue pour le calcul des débits est la suivante :

$$Q_{10} = 0,278 \times C \times I \times A$$

Où C : coefficient de ruissellement décennal

I : Intensité de l'averse en mm/h

A : Superficie du bassin versant en km²

◆ Description des paramètres

▪ Intensité de l'averse I

Elle est fonction du temps de concentration et des coefficients a et b de Montana et est régie par la formule $I = a \times T_c^{-b}$. Pour la zone de Ouagadougou on retient $a=9,40$ et $b=0,5$.

Le temps de concentration est déterminé par deux formules à savoir la formule de KIRPICH et celle de RICHARDS. Pour l'estimation de nos différents débits, nous allons retenir celle de KIRPICH pour l'évaluation des temps de concentration.

Formule de KIRPICH : KIRPICH nous propose la formule suivante :

$$T_c = \frac{1}{52} \times \frac{L^{1,15}}{H^{0,38}}$$

Avec

- ✓ L la longueur en mètre du plus long cheminement hydraulique ($L=2\sqrt{S}$) ;
- ✓ H la dénivelée en mètre du plus long cheminement hydraulique ;
- ✓ Tc le temps de concentration en mn.

▪ Coefficient de ruissellement C

Le coefficient de ruissellement est fonction de la nature de la couverture végétale et de la pente du bassin versant. Le manuel « BCEOM, Hydraulique Routière » nous a servi de base en sa page 115 tableau 30 à la détermination de nos différents coefficients de ruissellement.

L'application de nos différentes formules nous permet d'avoir nos différents débits présentés dans le tableau ci-après.

III.1.3. Choix des débits de dimensionnement

Pour le choix de nos débits de projet, nous allons opter pour le maximum de nos débits calculés par les trois méthodes dans le but d'être en sécurité.

III.2. Étude Hydraulique

Le rétablissement des écoulements naturels est assuré par la mise en place des ouvrages de franchissement. La transition de nos différents débits hors de notre chaussée est prise en charge par une étude hydraulique qui consiste à déterminer les sections capables de nos ouvrages de franchissement et permettant de garantir sa sécurité et sa durabilité d'une part mais aussi celles des ouvrages mêmes d'autre part.

On entend par ouvrage de franchissement, les petits ouvrages parmi lesquels on distingue les buses, les dalots et les radiers.

III.2.1. Choix du type d'ouvrage

Notre visite du terrain nous a permis de constater l'absence de passage prononcé d'eau sur le long du tronçon. Donc un ouvrage très important n'est pas attendu. Nous allons donc opter pour les dalots pour l'évacuation de nos débits. Cependant il existe plusieurs types de dalots dont on peut citer les dalots cadres fermés ayant pour fondation un radier général, les dalots ordinaires reposant sur des semelles et les portiques similaires au dalot cadre mais ayant les appuis fondés sur des semelles. N'ayant pas de données sur la capacité portante au droit de nos ouvrages, notre choix sera porté sur les dalots cadres fermés.

Des fossés longitudinaux seront dimensionnés pour assurer l'assainissement et le drainage des eaux de chaussée et des talus.

III.2.2. Choix du fonctionnement hydraulique des ouvrages

On distingue essentiellement deux (02) types de fonctionnement pour ces petits ouvrages hydrauliques :

- ✚ **Sortie noyée** : Le niveau d'eau à l'extrémité immédiate de l'ouvrage dépasse son bord supérieur (Ouvrages situés en zone inondable ou en zone littorale marée).

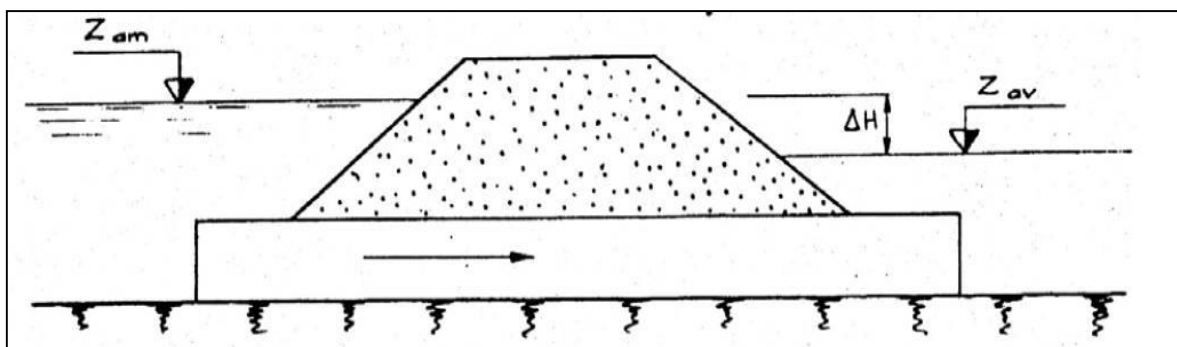


Figure 2: Ouvrage en sortie noyée

- ✚ **Sortie libre** : la sortie est dite libre lorsque le niveau de l'eau à l'exutoire immédiat est au-dessus du bord supérieur de l'ouvrage. Le type d'écoulement dépend donc du niveau amont.
 - ◆ Si le niveau d'eau est tel que $H1/D \leq 1,25$, l'écoulement se fait en surface libre ;
 - ◆ Si le niveau d'eau est tel que $H1/D > 1,25$ alors l'écoulement peut se faire en surface libre ou en charge.

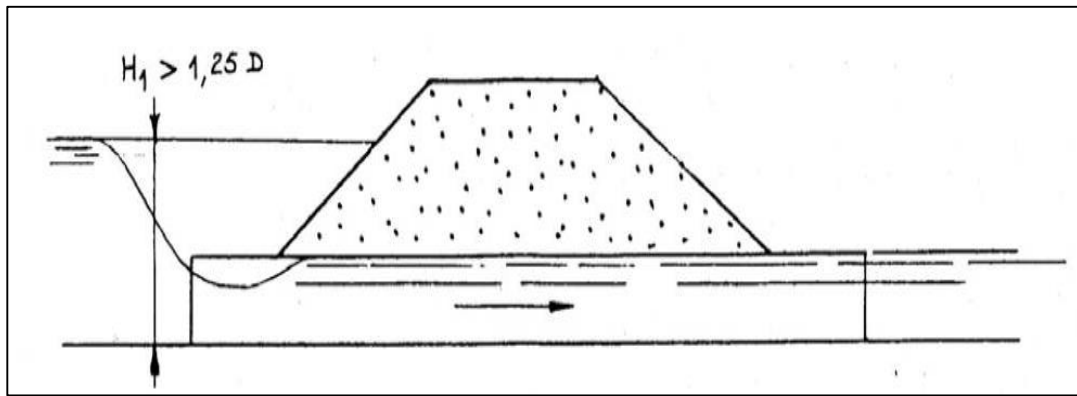


Figure 3: Ouvrage en sortie libre

Choix du type d'écoulement pour nos ouvrages : Le document d'hydraulique routière « Hydraulique Routière BCEOM, 1981 » sera le document de base pour le dimensionnement hydraulique de nos ouvrages. Nous allons proposer d'effectuer ce dimensionnement suivant les indications sur les conditions d'écoulement en sortie libre avec $H1/D \leq 1,25$.

III.2.3. Procédure de dimensionnement

✚ Étape 1 : Détermination de la section d'ouverture

Ces conditions d'écoulement font référence à deux niveaux d'approximation pour le calcul hydraulique des dalots. Sachant Q , le débit projet, on établit une première valeur de la hauteur H admissible pour le dalot en prenant en compte les caractéristiques géométriques du projet au droit de l'ouvrage. Ensuite la largeur B est choisie de telle sorte que la vitesse moyenne calculée par $V=q/B \times H$ ne soit pas supérieure à la vitesse maximale de 3 m/s. q étant le débit d'une ouverture s'il en existe plusieurs.

À cet instant il faut s'assurer également que la relation $0,5 < H/B < 2$ soit vérifiée.

✚ Étape 2 : Détermination de la hauteur d'eau en amont de l'ouvrage

Connaissant les valeurs de B , H et Q on calcule le débit réduit Q^* par la formule suivante :

$$Q^* = \frac{Q}{B \times D \times \sqrt{2 \times g \times H}}$$

Avec :

- ◆ Q le débit projet en m^3/s

- ◆ B la largeur de l'ouvrage en m
- ◆ H la hauteur de l'ouvrage en m
- ◆ g l'accélération de la pesanteur en m²/s
- ◆ Q* le débit réduit (adimensionnel)

Il faut ensuite calculer la profondeur d'eau H₁ en amont de l'ouvrage par la formule H₁=H* x H. H étant la hauteur de l'ouvrage et H* la hauteur réduite déterminée sur l'**abaque 77 du BCEOM**.

Enfin il faut vérifier que H*/H ≤ 1,25

✚ Étape 3 : Détermination de la pente critique I_c

Avant de déterminer la pente critique il faut évaluer le débit critique Q*' correspond à la hauteur d'eau amont H₁.

$$Q^{*'} = \frac{q}{\sqrt{g \times B^5}}$$

- ◆ Q le débit d'une cellule en m³/s
- ◆ g la pesanteur en m²/s
- ◆ B la largeur du dalot en m

Avec Q*', on obtient I_c* par lecture sur l'**abaque figure 82** du document hydraulique routière BCEOM ; ce qui permet de calculer la pente critique I_c par la formule suivante :

$$I_c = I_c^* \times \frac{g}{K^2 \times H^{\frac{1}{3}}} \quad K \text{ étant le coefficient de rugosité de Manning Strickler dépendant}$$

Du matériau utilisé pour la mise en œuvre de l'ouvrage.

✚ Vérification de la vitesse de l'eau dans l'ouvrage

Il s'agit ici de calculer la vitesse de sortie de l'eau de l'ouvrage et de s'assurer que cette dernière soit inférieure à la vitesse maximale de 3 m/s. Elle est calculée par la formule suivante :

$$V = V^* \times K \times I_c^{\frac{1}{2}} \times B^{\frac{2}{3}} \quad \text{avec:}$$

- ◆ V^* la vitesse réduite déterminée sur l'abaque 84 du BCEOM ;
- ◆ K coefficient de Manning Strickler
- ◆ I_c la pente critique
- ◆ B la largeur du dalot

NB/ si cette vitesse n'est acceptable, il faut revoir les dimensions H ou B de l'ouvrage ou soit augmenter le nombre de cellules.

III.3. Dimensionnement hydraulique des fossés latéraux

La mise en place des fossés latéraux des routes est une étape essentielle pour garantir la gestion efficace des eaux de ruissellement et la protection de la chaussée contre l'érosion et les dégâts causés par l'eau. Ces fossés sont généralement réalisés de part et d'autre de la chaussée dans les zones hors agglomération.

Pour le dimensionnement hydraulique des fossés latéraux, le débit considéré pour ce dimensionnement est celui engendré par la chaussée.

Pour ce faire, nous allons faire usage de la formule de Manning Strickler suivante :

$$V = K \times R_h^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{i}$$

- K le coefficient de Manning pris égal à 33 pour les fossés en terre ;
- R_h le rayon hydraulique en mètre
- i la pente longitudinale en m/m
- Q le débit en m^3/s
- V la vitesse en m/s

Le débit est alors donné par la formule :

$$Q = V \times S \quad \text{avec } S \text{ la section mouillée en } m^2$$

La vitesse limite ou V_{max} est fonction du type de matériau en place et est donnée dans le tableau 8 :

Tableau 8: Vitesses maximales admissibles dans les fossés

Type de matériaux en place	Vitesse maximale
Sables fin argileux ou limons argileux	0,75 m/s
Limons ou argiles sableuse (sable <50%)	0,9 m/s
Argiles compactes	1,10 m/s
Mélanges de graviers, sables et limons	1,50 m/s
Graviers, cailloux moyens	1,80 m/s

Source : Hydraulique routière BCEOM

Le sol en place est considéré constitué de sable fin argileux ou limons argileux, la vitesse admissible à prendre en compte est de 0,75 m/s.

Choix des pentes de talus des fossés : Nous allons considérer des talus de 3/2 et 2/3 respectivement à gauche et droite.

Calcul du débit ruisselé

Le calcul du débit ruisselé est fait par la méthode rationnelle

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A$$

C=0,95 pour les plateformes, chaussées de routes et cours d'après le tableau 30 de BCEOM (page115).

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

I. Dimensionnement structural de la chaussée

I.1. Caractéristiques géotechniques du sol support

Les résultats géotechniques révèlent que notre à une portance comprise entre S1 et S4. Cependant il est à noter que les classes S1 et S2 représentent 52,4 %. Les sols de classes S3 représentent 28,3%, de ce fait, nous allons opter pour la classe S3 comme portance de notre plateforme. Les classes inférieures feront donc l'objet de substitution par des matériaux sélectionnés sur une épaisseur minimale de 30 cm.

Le rapport géotechnique fourni par la LNBTP nous renseigne de la présence des sites d'emprunts dont les caractéristiques sont les suivantes :

Tableau 9: Sites d'emprunts exploitables pour notre structure de chaussée

PK	Situation	CBR à 95% de l'OPM	Volume exploitable (m3)	Observations
PK10	6km/projet	59	16 100	Conforme pour couche de fondation
PK10	2km/projet	71	10 500	Conforme pour couche de fondation
PK10	2km/projet	62	10 500	Conforme pour couche de fondation
PK17	8km/projet	50	30 333,33	Conforme pour couche de fondation
Volume total			67 433,33	

I.2. Etude du trafic

Le trafic moyen journalier annuel est la base de l'évaluation du niveau de trafic attendu sur une chaussée. Dans le cadre de notre étude, cette donnée a été obtenue auprès de la Direction Générale de la Normalisation et des Études Techniques (DGNET) et il a été constaté un trafic de 835 PL/j datant de 2018.

Il convient pour nous de l'actualiser pour la nouvelle date théorique de mise en service qui est prévu pour 2024. Cette actualisation est régie par la formule suivante :

$$T_{2024} = T_{2018} \times (1 + \tau)^n$$

$$T_{2024} = 835 \times (1 + 0,05)^{2024-2018}$$

$$T_{2024} = 1119 \text{ PL}$$

Ce trafic dont le comptage était effectué sur les routes nationales (RN1 et RN2) et affecté à notre route, il convient pour nous de considérer une portion des 80% de ce trafic sur notre chaussée.

Une analyse portée sur circulation montre deux voies de circulation à savoir une voie rapide où les véhicules circulent à grande vitesse et une voie lente où la circulation est lente et dont l'effet des charges devient très important. Une répartition de ce trafic est donc nécessaire entre ces deux voies. Mais étant donné que nous ne disposons d'aucune information sur la distribution par voie de ce trafic, d'après la norme NFP98-082, pour une voie unidirectionnelle comme la nôtre, nous allons considérer un coefficient de répartition de 90% des véhicules sur la voie lente compte tenu du caractère autoroutier de la voie et de la fluidité circulation [3].

Ce qui nous donne un **TMJA₂₀₂₄ = 806 PL** .

Pour un calcul par accroissement géométrique ou exponentiel, le nombre cumulé de poids lourds est donné par la formule suivante :

$$N = 365 \times \text{TMJA}_{2024} \times \frac{[(1 + \tau)^n - 1]}{\tau}$$

C étant le facteur de cumul calcul comme suit :

$$C = \frac{(1 + \tau)^{n-1}}{\tau}$$

n : durée de vie de la chaussée théorie

τ : taux d'accroissement du trafic

Pour un taux d'accroissement de 5% et une durée n=10 ans, on obtient :

I.2.1. Coefficient d'agressivité moyen (CAM)

L'agressivité du trafic est qualifiée par le coefficient CAM, correspondant à l'agressivité moyenne d'un essieu de charge P (du poids lourds) composant ce trafic par rapport à l'essieu de charge (P0) pris pour référence [4].

Comme aucune étude n'a été menée pour la détermination de l'agressivité des essieux du trafic, nous allons utiliser le tableau des valeurs de CAM fourni par AFNOR 2011.

Tableau 10: Valeur de CAM sachant le type de structure de chaussée

CAM	Types de structures
0,8	Renforcement bitumeux de chaussées souples
1	Chaussées granulaires (GNT, sol)
1,3	Chaussées neuves semi-rigides
1,3	Chaussées rigides
1	Chaussées neuves bitumineuses épaisses
0,8	Chaussées souples et neuves

Source : (AFNOR 2011)

Notre chaussée qui sera souple et neuve, nous avons un **CAM=0,8**.

I.2.2. Estimation du trafic

Deux approches différentes sont utilisées pour le calcul du trafic cumulé, à savoir la méthode rationnelle ou de SETRA-LCPC et la méthode du guide CEBTP.

En l'absence de données sur la variation du trafic au fil des années, il est possible que la présence de cette nouvelle voie entraîne rapidement une hausse du trafic, entraînant ainsi un accroissement exponentiel.

Nous optons pour la méthode du guide CEBTP pour le calcul de notre trafic. Ainsi le tableau ci-dessous résume les détails du calcul du trafic.

Tableau 11: Résultats de calcul de trafic

Trafic .		Données	TMJA	Taux d'accroissement (C)	Durée de vie (n)	CAM
			805 PL		5%	10 ans
Nombre de Poids lourds	Méthode géométrique	Formules			Résultats	
		$N = 365 \times \text{TMJA} \times \left(\frac{2 + (n - 1) \times i}{i} \right)$			9 572 199 PL	
Nombre d'essieux équivalents		$\text{NE} = N \times \text{CAM}$			7 657 759 PL	

Le guide CEBTP propose le tableau suivant pour la classification des trafics

Tableau 12: Classification du trafic selon CEBTP

Classe de trafic	Nombre équivalent de poids lourds	Nombre de véhicule/jours
T1	$< 5.10^5$	< 300
T2	5.10^5 à $1,5.10^6$	300 à 1000
T3	$1,5.10^6$ à 4.10^6	1000 à 3000
T4	4.10^6 à 10^7	3000 à 6000
T5	10^7 à 2.10^7	6000 à 12 000

Source : (Guide CEBTP 1984)

Le nombre cumulé maximal de poids lourds est de 7 657 759 PL. Ce nombre est élément de $[4.10^6; 10^7[$ PL. D'après le tableau de classification de trafic ci-dessus, nous avons un trafic de classe **T4**.

I.3. Prédimensionnement et choix de la structure de la chaussée [5]

Le prédimensionnement de la structure de notre chaussée se fera à l'aide des abaques de la méthode empirique CEBTP qui consiste à la détermination des épaisseurs des matériaux des couches de fonction, de base et de roulement. Il s'agit pour nous de faire des propositions de variantes que nous allons analyser et faire le choix de la variable optimal que nous allons vérifier les contraintes sur Alizé LCPC. Il est à noter qu'en référence au guide CEBTP, les graveleux latéritiques naturels ne sont pas recommandés en structure de chaussée (base comme fondation) pour un trafic T4 ou plus quel que soit la classe de la plateforme support.

I.3.1. Hypothèses de dimensionnement

- ◆ Classe de plateforme : S3 (CEBTP)
- ◆ Trafic T4

Pour ce prédimensionnement, deux paramètres sont utilisés ; il s'agit de la classe de portance du sol support et le trafic qui seront pris comme présentés dans la note d'hypothèse.

Le tableau ci-dessous présente les différentes variantes de couches de chaussée.

Tableau 13: Variantes de structures de chaussée

Variantes Couches	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Roulement	5 cm Béton Bitumineux	5 cm Béton Bitumineux	7 cm Béton Bitumineux
Base	15 cm Grave Bitume	15 cm Grave Bitume	20 cm Grave Ciment
Fondation	25 cm graveleux naturel ou concassé 0/d	25 cm Graveleux améliorée au ciment	25 cm Grave améliorée au ciment

De ces trois variantes, une analyse sur la disponibilité des matériaux, le coût et les conditions de mise en œuvre sera effectuée afin d'opter pour la variante la plus optimale.

Analyse et choix de la variante :

De ces trois variantes, nous retenons le béton bitumineux pour la couche de roulement. Une analyse portée sur la couche de base permet de présenter les avantages et les inconvénients du grave ciment et du grave bitume.

Tableau 14: Avantages et inconvénients des différents matériaux

Matériaux	Avantages	Inconvénients
Grave bitume (GB)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Gain de coût ; ✓ Gain de temps de pose ; ✓ Résistance supérieure à la température négative 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Limité aux couches de faible épaisseur. ✓ Nécessite du matériel adapté. ✓ Souplesse
Grave ciment (GC)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Module élastique élevé. ✓ Rendement important, rapidité d'exécution de l'ouvrage. ✓ Fiabilité et faible déformabilité de la couche d'assise. ✓ Résistance conservée en cas de mise en œuvre à faibles températures. ✓ Comportement mécanique constant sur la période de service. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cout peu élevé ✓ Risque de fissuration ✓ Problème de gestion des fissures et surcoût ✓ Nécessite beaucoup d'attention ✓ Risques d'infiltration encas de fissures

De ce tableau ci-dessus, nous optons pour le grave bitume pour notre couche de base.

Pour le choix final de notre structure de chaussée, la variante 2 sera retenue avec une couche de fondation en graveleux amélioré au ciment (2 à 3%) communément appelé « sol ciment » afin d'éviter un grand écart de module entre les deux couches (fondation et base) mais à conditions qu'un CBR à 95% de l'OPM supérieur 100 à 3 jours d'immersion soit atteint.

I.4. Vérification des contraintes sur Alizé LCPC

La vérification des contraintes consiste à une comparaison des valeurs admissibles de déformation des matériaux sous l'action du trafic aux valeurs réelles de déformation obtenues. Pour se faire la connaissance des critères dimensionnant reste indispensable. Ainsi, pour les matériaux non liés comme la GNT, le critère est la déformation verticale ε_z (EpsiZ) à la tête de la couche, pour les matériaux traités au liant hydraulique le critère dimensionnant est la contrainte de traction par flexion en partie inférieure de la couche (SigmaT). En ce qui concerne les matériaux bitumineux, le critère dimensionnant est la déformation horizontale ε_t (EpsiT) en bas de la couche[6].

Il convient pour nous donc de porter un regard sur ces paramètres afin de mieux vérifier nos différentes contraintes sur nos matériaux sélectionnés.

Les contraintes admissibles des différents matériaux de la structure de la chaussée sont obtenues à l'aide du logiciel Alizé. En ce qui concerne le graveleux latéritique amélioré au ciment, il n'existe pas sur la bibliothèque du logiciel. Pour se faire, nous avons donc utilisé un matériau dont le module avoisine celui du sol ciment.

Tableau 15: Vérification des contraintes et déformations

Matériaux	Déformations admissibles
Roulement : BB	$\epsilon_t = 152,5\mu\text{def}$
Base : GB	$\epsilon_t = 126,3\mu\text{def}$
Fondation : Graveleux latéritique amélioré au ciment	$\epsilon_z = 444,9\mu\text{def}$
Couche de forme : graveleux latéritique	$\epsilon_z = 370,8\mu\text{def}$
Plateforme support : Pf2	$\epsilon_z = 370,8\mu\text{def}$

A la suite, une première itération avec les épaisseurs obtenues au prédimensionnement. Il a été constaté que ces épaisseurs engendrent des déformations très inférieures aux déformations admissibles. Une optimisation a été donc faite afin de rendre économique le projet. Ci-joint en annexe 3 les résultats des itérations.

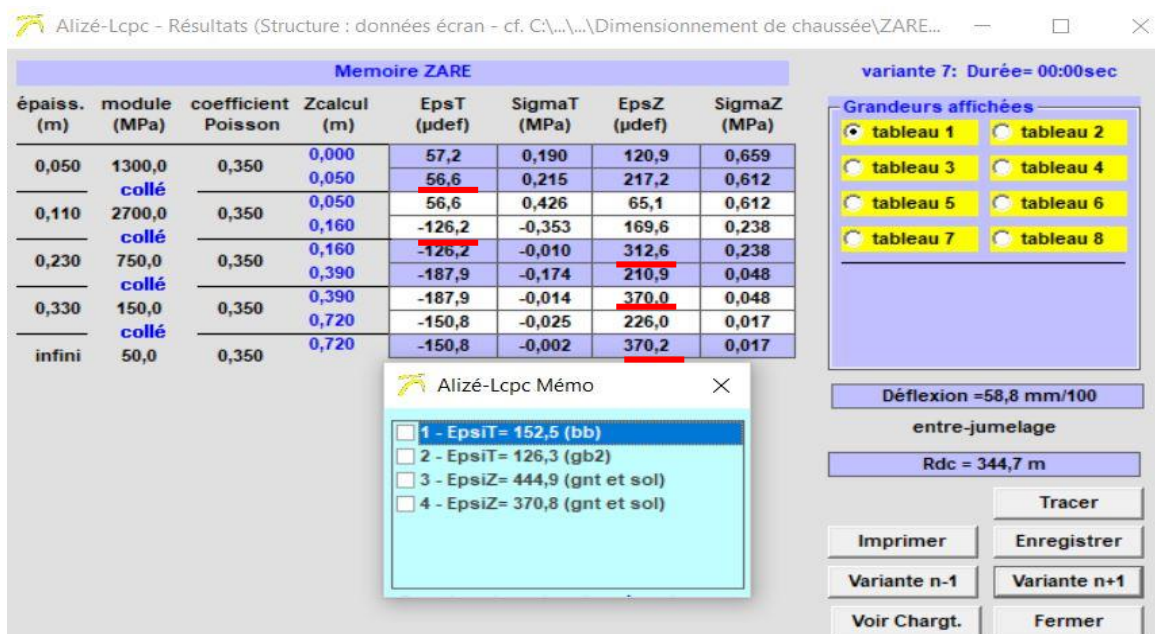


Figure 4: Résultats de vérification des contraintes et déformations

Les contraintes des matériaux ainsi vérifiées, ce dimensionnement nous a permis d'avoir structure de chaussée composée de :

- ☞ 5 cm de Béton Bitumineux (BB) en couche de roulement ;
- ☞ 11 cm de Grave Bitume (GB) en couche de base ;
- ☞ 23 cm de graveleux latéritique amélioré au ciment en couche de fondation
- ☞ 33 cm de couche de forme en graveleux latéritique

Dispositions : La couche de fondation étant en matériau traité au liant hydraulique, il est essentiel d'interposer entre la couche de base et de fondation de la géogrille pour empêcher ou limiter les éventuelles remontées de fissures au niveau de la couche de fondation.

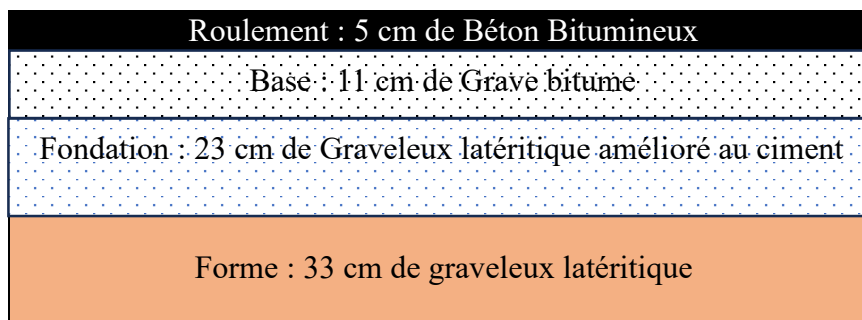


Figure 5 : Représentation graphique de la structure de chaussée

II. Étude géométrique

Choix de la norme et du matériel : Les caractéristiques de la voie telles que décrit le TDR correspond dans la norme ICTAVRU à une voie rapide à caractère autoroutier de type A. Une vitesse de référence de 100 km/h a été choisie conférant ainsi à notre route la catégorie type A100. Ce tracé sera réalisé à partir de logiciel Covadis conformément aux dispositions de la présente norme.

II.1. Tracé en plan

Le tracé en plan qui se fait suivant le modèle numérique du terrain générer à partir des levés topographiques sur l'emprise de la voie a été fait en insérer l'axe en plan dans la zone d'emprise et respecte les caractéristiques de référence de la trace ci-dessous avec pour option une voie de type A et une vitesse de référence de 100 km/h.

◆ Les caractéristiques de référence du tracé

Les paramètres de référence selon la norme ICTAVRU pour une vitesse de référence de 100 km/h de la voie sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 16: Caractéristique du tracé en plan

Catégorie	A80	A100
Rayon non déversé (dévers $\delta=2,5$ %)	400 m	800 m
Rayon au dévers minimal (dévers $\delta=2,5$ %)	300 m	500 m
Rayon minimal absolu (dévers $\delta=2,5$ %)	240 m	425 m
Rayon minimal normal (dévers $\delta=2,5$ %)	650 m	900 m

Source : Instructions sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines (ICTAVRU) SETRA-France

Le logiciel Covadis a été l'outil de base qui nous a permis de faire le tracé.

II.2. Profil en long

Les valeurs caractéristiques minimales de ces raccordements sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 17: caractéristique minimale pour le profil en long des voies rapides urbaines

Catégorie	U60	U60 à A80	A100
Déclivité moyenne π	6 %	6 %	5 %
Rayon normal en angle saignant	2 500 m	6 000 m	10 000 m
Rayon minimal en angle saignant	1 500 m	3 000 m	6 000 m
Rayon normal en angle entrant	1 500 m	2 000 m	3 000 m
Rayon minimal en angle saignant	800 m	1 000 m	1 500 m

Source : Instructions sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines (ICTAVRU) SETRA-France

II.3. Profil en travers

Les caractéristiques géométriques utilisées dans la conception de nos différents profils en travers sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 18: Caractéristiques du profil en travers

Caractéristiques	Dimensions
Circulation	Chaussée bidirectionnelle
Chaussée	2 × 2 × 3,5 m avec 0,5 m de surlargeur
Terre-Plein Central	10 m
Pente transversale	2,5% (profil en toit) en alignement droit et dans les courbes non déversé
Pente des talus	En remblai : 2V/3H
	En déblai : 1V/1H
Fossés latéraux	160x80 triangulaire talus 3/2-2/3

III. Étude hydrologique et hydraulique

L'étude hydrologique et hydraulique passe d'abord par la collecte des données générales (données pluviométriques, topographiques pour la détermination des exutoires, géotechniques et aussi environnementales), puis par la délimitation des bassins versants et enfin par le calcul des débits et des sections capables d'ouvrages de franchissement et d'assainissement.

III.1. Etude hydrologique

III.1.1. Données générales

Les données pluviométriques utilisées pour le calcul de nos différents débits nous ont été fournies par l'Agence Nationale de la Météorologie (ANAM) et proviennent de la station de l'aéroport International de Ouagadougou. Elles couvrent les périodes de 2005 à 2023 et sont présentées en annexe 3. De ces données nous en tirons la pluie maximale journalière P_{10} et la pluie annuelle moyen Pan.

◆ Pluie maximale journalière P_{10}

Durant les périodes de 2005 à 2023, On constate un minimum de pluie de 43,8 mm en 2011 et un maximal de 263,1 mm en 2009. Un ajustement statistique a été effectué avec le logiciel Hyfran Plus en utilisant la loi normale de GUMBEL (loi de doublement exponentielle). Nous en obtenons une pluie journalière maximale de 99,4 mm.

Le résultat de l'ajustement est présenté en annexe.

◆ Pluie annuelle moyenne

De 2005 à 2023, on enregistre des pluies maximales annuelles comprises entre 596,8 et 1010,3 mm. En faisant la moyenne arithmétique, on obtient une pluie annuelle moyenne (Pan) de 853 mm.

III.1.2. Délimitation des bassins versants

Comme nous l'avons souligné si bien haut, nos bassins versants ont été délimités avec QGIS et dont les caractéristiques physiques sont présentées comme suit :

CATRES DE DELIMITATION DES BASSINS VERSANTS

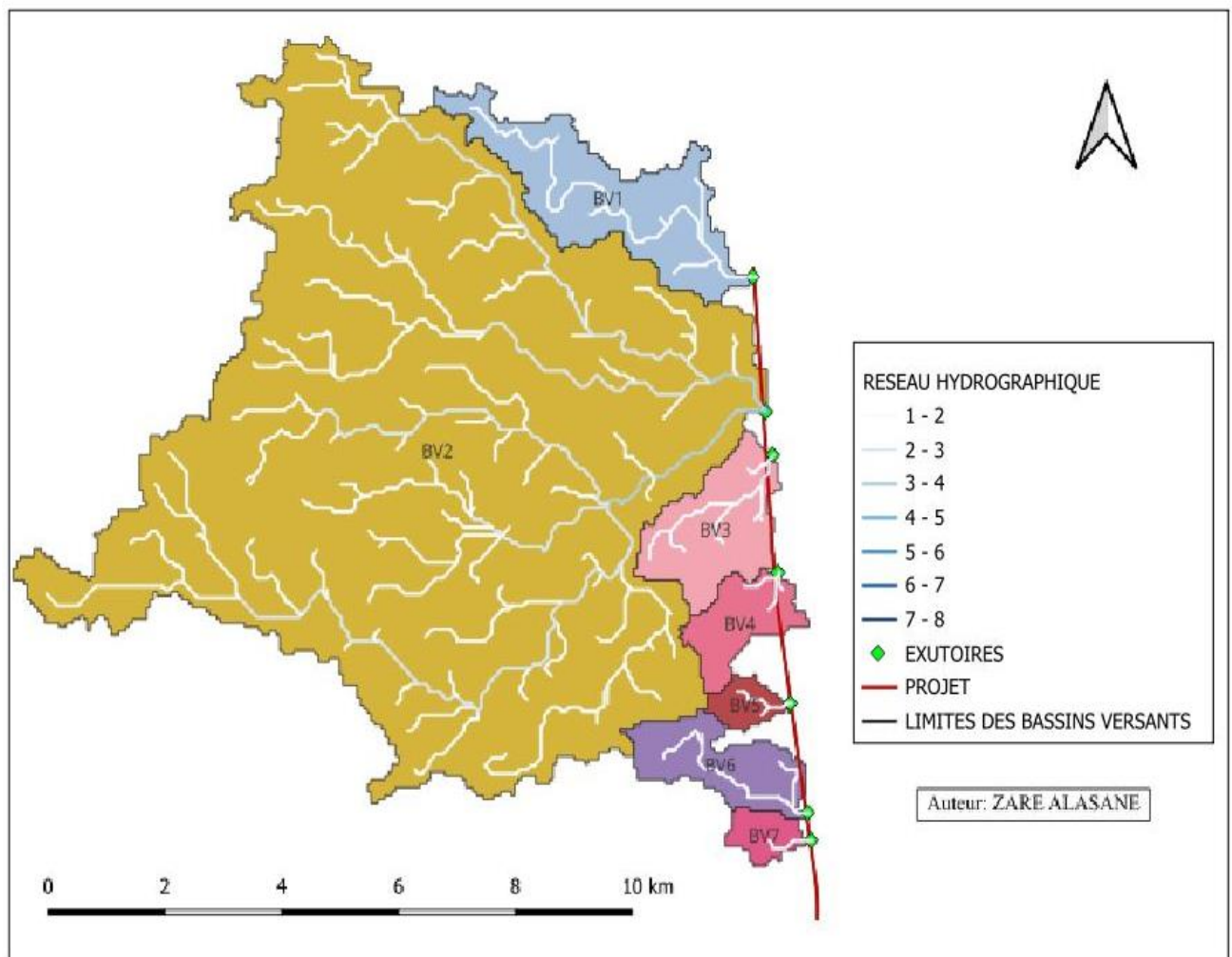


Figure 5: Bassins versants

Tableau 19: Paramètres physiques des bassins versants

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES BASSINS VERSANTS								
Bassins versants	S(km ²)	P (km)	Icomp	L (km)	DH (m)	Ig (m/km)	IT (m/km)	Igcor (m/km)
1	1,59	11,46	2,56	5,44	13,9	2,56	10,65	5,25
2	19,12	33,97	2,19	15,77	33	2,09	2,77	2,32
3	0,95	5,82	1,69	2,54	8,1	3,19	8,76	5,98
4	0,50	4,56	1,82	2,04	6,5	3,19	9,90	6,55
5	0,19	2,52	1,64	1,09	7,7	7,08	11,64	9,36
6	0,71	5,82	1,95	2,64	12,3	4,65	15,47	10,06
7	0,20	2,46	1,54	1,03	7,5	7,26	8,50	7,88

III.1.3. Estimation des débits

◆ Méthode rationnelle

Les résultats des débits par la méthode rationnelle est présenté dans le tableau 20 :

Tableau 20: Débits des bassins versants par la méthode rationnelle

CALCUL DES DEBITS DES BASSINS VERSANTS PAR LA METHODE RATIONNELLE								
Paramètres Bassins versants.	Superficies A (km ²)	Pente H/L (%)	C	a	b	Tc	I	Q10 (m ³ /s)
Bassin 1	1,594	0,55	0,52	9,4	0,5	57,85	74,16	17,09
Bassin 2	19,118	0,38						
Bassin 3	0,946	0,42	0,52	9,4	0,5	52,61	77,76	10,63
Bassin 4	0,497	0,46	0,52	9,4	0,5	39,51	89,73	6,45
Bassin 5	0,187	0,89	0,52	9,4	0,5	21,12	122,73	3,32
Bassin 6	0,707	0,73	0,52	9,4	0,5	37,97	91,53	9,35
Bassin 7	0,203	0,83	0,52	9,4	0,5	22,36	119,27	3,50

◆ Méthode ORSTOM

Tableau 21: Débits par la méthode ORSTOM

CALCUL DES DEBITS DES BASSINS VERSANTS PAR LA METHODE ORSTOM							
Paramètres Bassins versants.	A	P ₁₀	K _{r10}	α ₁₀	T _{b10}	S	Débits Q10 (m ³ /s)
BV1	0,97	99,4	0,27	2,6	494	1,594	3,61
BV2	0,84	99,4	0,22	2,6	1516	19,118	10,08

◆ Méthode CIEH

Tableau 22: Débits par la méthode CIEH

CALCUL DES DEBITS PAR LA METHODE CIEH				
Paramètres	Superficies S (km ²)	Ig (m/km)	Kr10	Débits Q10 (m3/s)
Bassin versants				
BV1	1,594	5,253	0,27	9,17
BV2	19,118	2,319	0,22	13,30

◆ Choix des débits projets

Le choix des débits projets est d'opter le maximum des trois débits proposer par les trois différentes méthodes et le type d'ouvrage a été proposer pour chaque débit.

Tableau 23: Choix de débits de dimensionnement

Récapitulatif des débits projets						
Bassins versants	Superficies (km ²)	Méthodes			Choix débit projet	Choix du type d'ouvrage
		Rationnelle	ORSTOM	CIEH		
1	1,594	17,09	3,61	9,17	17,09	Dalot
2	19,118		10,08	13,30	13,30	Dalot
3	0,946	10,63	0,06	0,08	10,63	Dalot
4	0,497	6,45	7,15	7,16	6,45	Dalot
5	0,187	3,32	3,77	3,98	3,32	Dalot
6	0,707	9,35	15,86	7,60	9,35	Dalot
7	0,203	3,50	2,92	3,82	3,50	Dalot

III.2. Etude hydraulique

Le calcul des sections des différentes ouvrages capables de véhiculer les débits projets ci-dessus choisis. Les sections obtenues lors de notre dimensionnement sont présentées dans le tableau suivant avec les vitesses bien vérifiées et leur position sur le terrain bien définies.

Les détails sont présentés en annexe 4.

Tableau 24: Sections des ouvrages de franchissement

Bassins versants	Débits (m ³ /s)	Nbre cellules	Largeur (m)	Hauteur (m)	Vitesse (m/s)	Localisation
1	17,09	3	2,5	2	2,95	Pk6+260
2	13,30	3	1,5	1,5	2,835	Pk7+250
3	10,63	3	1,5	1,5	2,857	Pk7+670
4	6,45	2	1,5	1,5	2,766	Pk8+580
5	3,32	2	1	1	2,52	Pk9+560
6	9,35	2	2	1,5	2,898	Pk10+410
7	3,50	1	1,5	1,5	2,857	Pk10+615

III.3. Dimensionnement Structural du dalot [9],[10],[11]

Le dalot qui fera l'objet de notre étude structural est le dalot de section 3x250x200 long de 24 25 m et qui véhicule un débit de 17,09 m³/s transversalement à la chaussée. Dimensionner un ouvrage consiste à proposer l'épaisseur pour les différentes parties de l'ouvrage et aussi proposer un ferrailage en vue de constituer le dossier d'exécution. Cette partie dimensionnement a pour objectif de présenter une note de calcul du dalot 3x250x200. Spécifiquement, il s'agira ici de proposer un ferrailage valable de ce dalot.

Avant d'entamer le dimensionnement de tout ouvrage, il est primordial d'effectuer son prédimensionnement afin de déterminer les différentes épaisseurs que l'on confirmera après vérification des contraintes au dimensionnement.

Le dalot sera un dalot cadre fermé compte tenu de l'absence des essais de portances au droit de chaque ouvrage. Il s'agira donc pour nous de déterminer sa classe et les paramètres nécessaires pour la suite de nos calculs. Le tableau suivant récapitule de ces paramètres et le détail des calculs se trouve aux annexes 10-11-12-13.

Tableau 25: Paramètres de calcul de l'ouvrage

Désignations	Dimensions	Unité
Largeur roulable	24	m
Largeur chargeable	24	m
Nombre de voie	8	u
Largeur d'une voie	3	m
Classe de l'ouvrage	Classe I	
Section de l'ouvrage	3x250x200	
Épaisseurs de tablier, piédroits et radier	25	cm

III.3.1. Prédimensionnement

Le prédimensionnement de nos dalots consistera à proposer des dimensions aux éléments de la structure (tablier, piédroits, radier) suivant le guide de conception SETRA traitant les ponts cadres et portiques.

L'épaisseur de notre dalot est déterminée d'une part par les conditions de son élancement égal à **1/15** d'où l'épaisseur égale à **1/15** et d'autre part, nous avons les conditions suivant la hauteur H du remblai comme suit :

$$\begin{aligned} \text{☞ Pour } H < 2 \text{ m} & \longrightarrow e \approx \frac{1}{10} - 5 \text{ cm} \\ \text{☞ Pour } 2 \leq H < 4 \text{ m} & \longrightarrow e \approx \frac{1}{10} \\ \text{☞ Pour } 4 \leq H < 8 \text{ m} & \longrightarrow e \approx \frac{1}{10} + 5 \text{ cm} \end{aligned}$$

Le choix de l'épaisseur de notre dalot sera le maximum entre les épaisseurs données par ces deux conditions.

$$e = \max\left(\frac{1}{15}; \frac{1}{10}\right)$$

Nous avons un ouvrage de section **3x250x200** d'où l'épaisseur de ces éléments de structure tels que le tablier, les piédroits et le radier est de **25 cm**.

Nous résumons ci-dessous les résultats du prédimensionnement et les détails sont présentés en annexe 7.

Tableau 26: Prédimensionnement du dalot

Désignations		Épaisseurs (cm)	Largeur (cm)
Tablier		25	
Piédroits		25	
Radier		25	
Mur en aile	Voile	25	50
	Patin	25	
	Talon	25	

III.3.2. Hypothèses de calcul

✚ Normes de bases de calcul

- ◆ Fascicule 61 titre II pour le règlement des charges
- ◆ BAEL 91 modifié 99 pour le calcul béton armé

✚ Caractéristiques des matériaux

Les caractéristiques des matériaux (béton et acier) considérés pour le calcul de notre ouvrage sont résumées dans le tableau ci-dessous et le détail est en annexe 8 :

Tableau 27: Caractéristiques des matériaux

Béton	
Contrainte de calcul du béton f_{bu} à l'ELU	$f_{bu} = 14,17$ MPa
Contrainte de calcul du béton f_{bu} à l'ELS	$\sigma_b = 15$ MPa
Résistance caractéristique à la traction f_{t28}	$f_{t28} = 2,1$ MPa
Module de déformation longitudinale E_{ij}	$E_{ij} = 32164,20$ MPa
Module de déformation différée E_{vj}	$E_{vj} = 10\ 818,87$ MPa
Enrobage	3 cm
Acier	
Nuance	HA, FeE400
Limite d'élasticité de l'acier	$f_e = 400$ MPa
Module de déformation longitudinale	$E_s = 200\ 0000$ MPa
Coefficient de fissuration HA,	$\eta = 1,6$
Coefficient de scellement,	$\psi_s = 1,5$ pour HA
Coefficient de sécurité partiel,	$\gamma_s = 1,15$
Contrainte de traction À l'ELU	$\sigma_{st} = 347,83$ MPa
Contrainte de traction À l'ELS	$\sigma_{st} = 200$ MPa
Remblai	
Remblai d'accès en graveleux latérique :	$\gamma_d = 20$ kN/m ³
Remblai sur le dalot en grave bitume :	$\gamma_{GB} = 24$ kN/m ³
Remblai sur le dalot en béton bitumineux :	$\gamma_{bb} = 24$ kN/m ³
Coefficient de poussée des terres	$K_a = 0,33$

III.3.3. Évaluation des charges appliquées

Deux types de charges sont à considérer pour le dimensionnement de notre dalot. Il s'agit des charges permanentes et des charges d'exploitation.

NB/ Il est à noter que les calculs seront faits par mètre linéaire de dalot.

✚ Charges permanentes

Les charges permanentes seront évaluées pour chaque parties de l'ouvrage à savoir le tablier, les piédroits et le radier.

Tableau 28: Charges permanentes sur les éléments de l'ouvrage

Éléments	Désignation	Formule	Application	Résultats (kN/m)
Charge sur le tablier	Poids propre du tablier	$P_d = \gamma_b \times e_d \times b$	$P_d = 25 \times 0,25 \times 1$	6,5
	Charge de revêtement et étanchéité	$P_r = e \times \gamma_s \times b$	$P_r = 0,15 \times 24 \times 1$	3,6
	Poids du guide roue	$P_g = e_g \times h_g \times \gamma_b$	$P_g = 0,25 \times 0,6 \times 25$	3,75
	Totale charge sur tablier	$P_{t(r)} = P_d + P_r + P_g$		13,6
Remblai piédroits	Poussée Sup. P3	$P_3 = k_a \times \gamma_s \times z_1$	$P_3 = 0,33 \times 20 \times 0,25$	1,2
	Poussée Inf. P4	$P_4 = k_a \times \gamma_s \times z_2$	$P_4 = 0,33 \times 20 \times 2,5$	16,5
	Totale charge sur piédroits	$P_{t(t)} = P_1 + P_2 + P_q$		17,7
Charge sur radier	Poids des piédroits	$P_{pd} = \frac{n \times e_{pd} \times b \times H_{pd} \times \gamma_b}{2l + 3e_{pd}}$	$P_{pd} = \frac{4 \times 0,25 \times 1 \times 2 \times 25}{2 \times 2,5 + 3 \times 0,25}$	10,87
	Charge totale sur tablier	Somme des surcharges sur le tablier		13,6
	Poids propre du radier	$P_r = \gamma_b \times e_d \times b$	$P_r = 25 \times 0,25 \times 1$	6,25
	Totale charge sur Radier			30,72

✚ Charges d'exploitation

Les charges d'exploitations ici sont des charges routières (camions) pouvant emprunter notre route durant sa période d'exploitation. Est considéré pour le dimensionnement de nos ouvrages les charges, le maximum des charges engendrées par les systèmes A, B (Bc et Bt) et la charges militaire Mc120. Le choix de la surcharge de dimensionnement sera le maximum des charges A(l), Bc, BC_{Niger}, Bt, et Mc120.

Ci-dessous le tableau résumant les charges d'exploitations sur notre dalot et le détail se trouve en annexe 9.

Tableau 29: Récapitulatif des charges d'exploitation

Désignations	TABLIER		RADIER	
	ELS (kN/m ²)	ELU (kN/m ²)	ELS (kN/m ²)	ELU (kN/m ²)
A(l)	12,96	17,39	12,96	17,39
Bc	34,6	46,42	32,60	43,74
Bc-Niger	46,42	62,28	43,13	57,87
Bt	98,57	141,45	95,14	132,25
Mc120	82,26	110,36	83,73	112,34
Choix : Bt	98,57	141,45	95,14	132,25

✚ Surcharges des poussées de terre sur les piédroits de rive

$P = K_a \times \gamma_d \times h$; h étant la hauteur totale du dalot

$$P = 0,33 \times 10 \times 3 \times 1,2$$

$$P = 3,96 \text{ kN/m}^2$$

III.3.4. Combinaison des charges aux États limites

Le tableau ci-dessous présente la combinaison des différentes charges calculées ci-haut. La combinaison se fera en tenant compte des deux états limites de calcul du béton (ELU et ELS).

Tableau 30: Combinaison des charges à l'ELS

Éléments d'ouvrage	Charges permanentes (kN/m ²)	Charges routières (kN/m ²)	Combinaison à l'ELS (kN/m ²)	Combinaison à l'ELU (kN/m ²)
Tablier	P1=11,25	Q= 98,57	P' ₁ =109,82	P ₁ ''=227,36
Piédroits de rive	P3=1,2 P4=17,7	q=3,96	P' ₃ =P ₃ +q=5,16 P' ₄ =P ₄ +q=21,66	P ₃ ''=7,56 P ₄ ''=29,84
Radier	P2=30,72	Q=95,14	P' ₂ =P ₂ +Q=125,86	P ₂ ''=239,85

◆ Calcul des efforts normaux de compression sur le piédroit de rive

$$N_{ser} = P'_1 \times \frac{1}{2} \times Li \times b$$

$$N_{ser} = 109,82 \times \frac{1}{2} \times 2,75 \times 1 \text{ m}$$

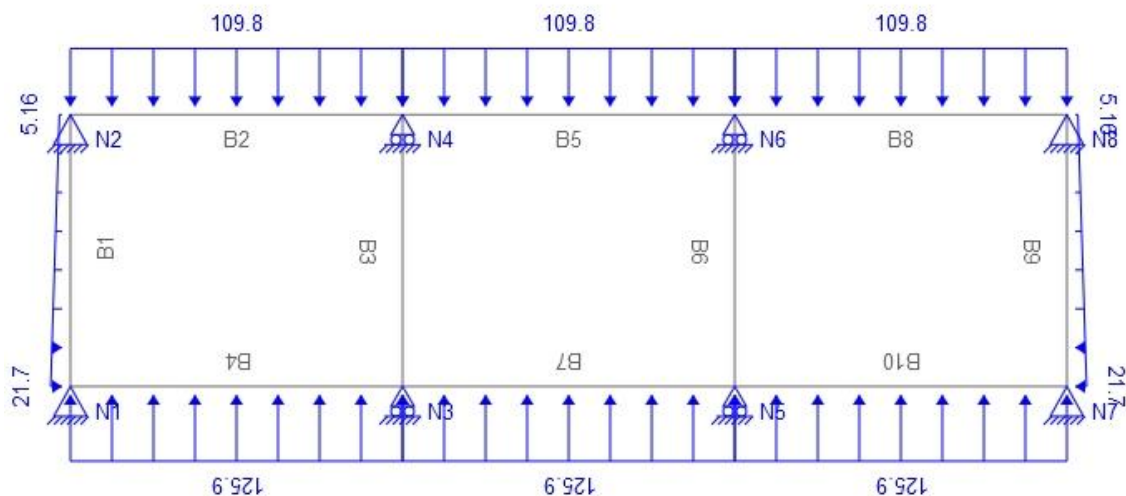
$$N_{ser} = 151 \text{ kN}$$

$$N_u = P_1'' \times \frac{1}{2} \times Li \times b$$

$$N_u = 163,04 \times 2,75$$

$$N_u = 448,36 \text{ kN}$$

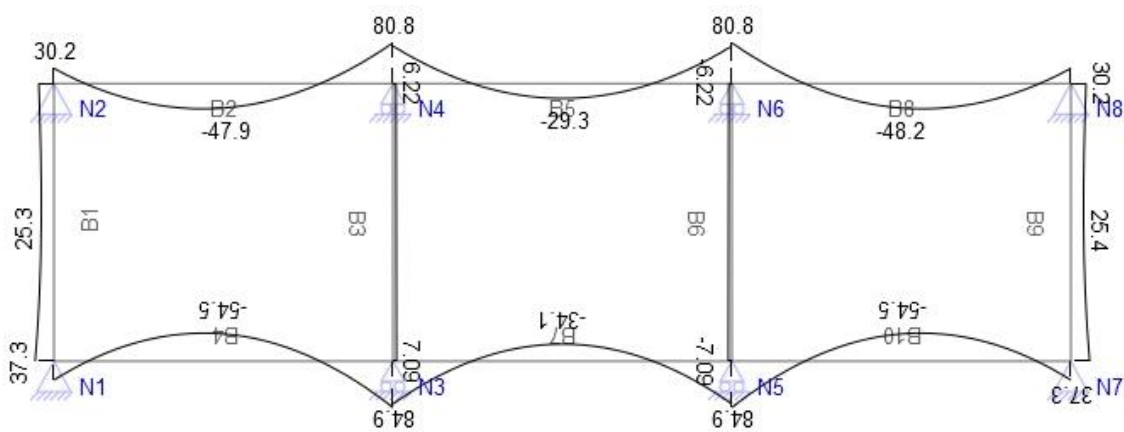
Figure 6: Modèle et chargement de la structure à l'ELS



III.3.5. Calcul des sollicitations

Nos différentes sollicitations en appui et travée ont déterminées après modélisation de notre ouvrage à l'aide du logiciel Pybar avec les charges combinées à l'ELS. Le diagramme ci-dessous représente le diagramme des moments fléchissant à l'ELS. Les nœuds des piédroits de rive sont considérés en rotule et ceux intermédiaires en appuis simple. Cela car ayant assez de difficulté d'assurer un encastrement parfait lors de l'exécution, les rotules et appui simple nous permettront d'avoir des moments un peu élevés afin de mieux ferrailer notre dalot pour assurer sa sécurité.

Figure 7: Diagramme des moments fléchissant



III.3.6. Détermination des sections d'aciers

Pour la détermination des sections d'aciers de notre dalot, le tablier et le radier ont été calculés en flexion simple, les piédroits intermédiaires en flexion composée et les piédroits de rive en compression simple. Toutefois le maximum des armatures obtenues en appui et en travée (pour le tablier et le radier) sera retenu pour le plan de ferrailage. Également pour les piédroits de rive, le moment max en appui et en travée sera retenu pour le calcul de la section d'acier.

En ce qui concerne les murs en aile, les sections d'aciers ont été déterminées pour le voile et pour la semelle. Le max tant principal que pour la répartition entre celle du patin et du talon a été retenu pour la semelle.

Ci-dessous le tableau résumant le choix final de nos sections d'acier.

Tableau 31: Sections d'armatures pour l'ensemble du dalot

Désignation		Acier en appui	Acier en travée	Acier de répartition
Tablier		HA16, esp=15 cm	HA16, esp=15 cm	HA10, esp=15 cm
Radier		HA16, esp=12,5 cm	HA16, esp=12,5 cm	HA12, esp=15 cm
Piédroits de rive		HA12, esp=20 cm	HA12, esp=20 cm	HA10, esp=20 cm
Piédroits intermédiaires		HA12, esp=20 cm	HA12, esp=20 cm	HA10, esp=20 cm
Mur en aile	Voile	HA12, esp=15 cm		HA8, esp=15 cm
	Patin	HA12, esp=20 cm		HA10, esp=20 cm
	Talon	HA12, esp=20 cm		HA10, esp=20 cm

Les guide-roues et la bèche d'ancrage sont des dispositions particulières prises en compte pour respectivement orienter les usages de la voie au droit de l'ouvrages et lutter contre les affouillements en amont et aval de l'ouvrage.

Pour le cas de notre ouvrage nous allons armées forfaitairement les guide-roues avec les armatures de répartition du tablier soit du **HA10 esp=15 cm** et la bèche sera armé avec du **HA8, esp=20 cm**.

IV. Signalisation routière et sécurité routière

La signalisation routière consiste en un ensemble de dispositifs (panneaux et marquages) qui ont pour objectif d'orienter, d'informer, avertir et réguler la circulation des usages de la route. Cela revêt une importance capitale pour garantir la sécurité, la fluidité et l'organisation du trafic. Il est essentiel que ces dispositifs respectent les normes nationales et internationales afin d'être reconnus et compris par tous les usagers de la route [2].

Deux types de signalisation sont utilisés pour les travaux routiers : la signalisation temporaire et la signalisation permanente.

IV.1. Signalisation temporaire

Pour garantir la sécurité des travailleurs du chantier et des usagers de la voie, ainsi que pour maintenir la circulation fluide pendant les travaux, des systèmes de signalisation temporaire

sont mis en place. Les usagers de la route sont tenus au courant des modifications temporaires de la chaussée et des règles de circulation.

Les types de signalisation temporaires utilisés lors des travaux de cette route sont :

◆ **Panneaux de signalisation temporaire**

Panneaux de travaux : ils sont disposés à chaque entrée et sortie du chantier et indiquent les précautions à prendre (limitation de vitesse, travaux, fin des travaux...). Ces panneaux ont toujours un fond de couleur jaune.

Panneaux de déviation : ces panneaux indiquent les itinéraires à suivre en cas de fermeture de route ou de déviation

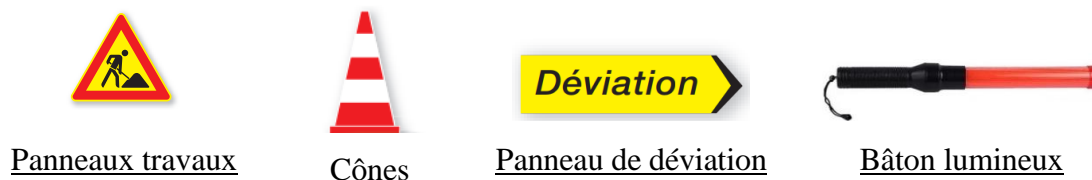
◆ **Feux de signalisation temporaire :** les feux clignotants sont utilisés pour attirer l'attention des usagers sur les dangers. Ces feux sont généralement fonction la nuit.

Par contre dans la journée, les ouvriers appelés agents de signalisation sont désignés et placés dans les endroits stratégiques pour diriger le trafic, donner les instructions aux conducteurs et assurer la sécurité des travailleurs et des usagers.

◆ **Barrières :** ce sont des blocs de béton façonnés et sont utilisées pour sécuriser les zones de travaux et empêcher l'accès aux zones non autorisées (chaussée nouvellement imprégnée ou enrobée fraîchement mis en œuvre).

◆ **Balises et cônes :** les cônes sont utilisés pour délimiter les zones de travaux, guider les véhicules et les piétons et surtout pour signaler les obstacles. En ce concerne les balises, elles sont utilisées pour offrir une meilleure visibilité nocturne.

Figure 8: Signalisations temporaires du chantier



IV.2. Signalisations permanentes




La signalisation permanente routière représente l'ensemble des éléments permanents placés sur les routes afin de donner une direction, informer et contrôler la circulation de manière constante. Ils jouent un rôle crucial dans la préservation de la sécurité et de la fluidité des du trafic. Cette signalisation est deux types à savoir la signalisation verticale (panneaux) et la signalisation horizontale (marquage au sol).

◆ Signalisations verticales

La signalisation verticale de ce projet concerne :

- ◆ Panneaux d'indication et de localisation ;
- ◆ Panneaux « Stop »

Figure 9: Signalisations permanentes verticales du chantier

 <u>Panneau "STOP"</u>	 <u>Panneau de priorité</u>	 <u>Ilot directionnel gauche</u>
 <u>Ilot directionnel droit</u>	 <u>Virage à droite</u>	 <u>Virage à droite</u>

◆ Signalisations horizontales

La signalisation horizontale englobe toutes les indications peintes et dessinées sur le sol. Elle est composée de lignes (continues et discontinues, lignes d'axes), de flèches et d'indications de voies spécialisées. Toutes les indications au sol de la route permettent d'identifier les zones de circulation appropriée de la route.

Type de ligne	Position	Prescriptions
Ligne continue	Bord droit, côté TPC	Continue 3u
Ligne discontinue	Axe	Type T1 et de largeur 2u
	Bordure gauche	Type T2 et de largeur 3u

V. Étude d'impact environnemental

V.1. Cadre législatif régissant le projet

Dans le cadre de la protection de l'environnement, le gouvernement Burkinabè a mis en place un certain nombre d'instruments d'orientation et de planification. On distingue parmi ces instruments, la Politique en matière d'environnement, le Plan d'Action National pour l'Environnement (PANE), le Programme d'Action National de lutte contre la Désertification (PAN/LCD), le Programme décennal d'action (2006-2015) du Ministère de l'Environnement.

L'étude environnemental de ce projet sera réalisée conformément aux dispositions du décret

N°20151187/PRES/TRANS/PM/MERH/MATD/MME/MS/MARHASA/MRA/MICA/MHU/MIDT/MCT du 22 octobre 2015 portant conditions et procédures de réalisation et de validation de l'évaluation environnementale stratégique, de l'étude et de la notice d'impact environnemental et social [12].

V.2. Objectif de l'étude

Cette étude a pour but d'analyser les effets directs et indirects des activités du projet sur l'équilibre écologique de la zone d'implantation, le cadre et la qualité de vie des populations, ainsi que sur l'environnement en général, dans le but de garantir une intégration harmonieuse du projet dans son environnement d'accueil.

V.3. Catégorisation/Classification du projet

Afin de mieux se situer sur les dispositions environnementales à prendre lors d'un projet, il est indispensable de définir sa catégorie. Pour mener cette évaluation, on classe les projets en trois (03) différentes catégories qui sont :

✚ **Catégorie A** : sont des projets dont les activités sont soumises à l'étude d'impact sur environnementale (EIE). Les impacts générés peuvent être importantes mais moins complexes et maitrisables sur le plan technique. Ces activités sont les suivantes :

- Construction de gares de train ;
- Bitumage de routes ;
- Construction de chemins de fer ;

- Construction d'aérodromes ;
- Construction d'auto gares ;
- Différents travaux d'extension des dites Infrastructures ;
- Construction de routes en terre de type RO et RM ;
- Implantation de fibres optiques ;
- Parking ;
- Constructions d'hôpitaux (CHU, CHR, CMA) ;
- Centrales nucléaires, etc.

✚ **Catégorie B** : fait référence aux projets dont les activités sont soumises à une notice d'impact sur l'environnement (NIE). Grands projets qui peuvent modifier les conditions initiales du site d'implantation et de son environnement :

- Petits barrages et retenues d'eau (hauteur de la digue comprise entre 3 et 10 m) ou de capacité inférieure à un million (1 000 000) m³ d'eau;
- Construction de piste de type PA ;
- Travaux de réhabilitation ;
- Hippodrome ;
- Ouverture de pistes de randonnées ;

✚ **Catégorie C** : projets dont les activités ne sont soumises ni à une étude d'impact sur l'environnement ni à une notice d'impact sur l'environnement. La gestion des impacts négatifs sur l'environnement est prise en compte par les mesures environnementales définies dans les cahiers de charges élaborés par les promoteurs.

- Les constructions soumises au permis de construire des catégories A et B ;
- Ouverture de piste Aménagement de piste de type PO ou de type PB ;

Conformément à la classification des projets définie ci-haut, notre projet étant la réalisation des travaux d'aménagement et de bitumage de la voie de contournement reliant la route nationale n°1 à la route nationale n°2, il est assujéti à une étude d'impact environnementale (EIE).

V.4. Identification des impacts potentiels du projet

Comme tout autre projet, la réalisation de cette infrastructure aura forcément des enjeux environnementaux positifs ou négatifs perceptibles tant en phase exécution qu'en phase exploitation.

V.4.1. Impacts négatifs du projet

Les impacts négatifs que peuvent engendrer la réalisation de ce projet sont énumérés comme suit :

- ❖ perte d'espèces floristiques et animales dans la zone du projet due à l'abattage des arbres et le bruit et les vibrations actions par le mouvement des engins ;
- ❖ perte de biens pour les populations affectées due au fait que l'emprise de la voie traverse des champs, des habitations, des fermes et des infrastructures commerciales, ce qui aura un impact non désirable sur les populations concernées ;
- ❖ naissance des conflits entre les populations démobilisées et les populations des zones d'accueil (problèmes de partage des ressources en terre, des pâturages, des ressources en eau, etc.) ;
- ❖ disparition de certaines espèces sont utilisées dans la pharmacopée traditionnelle ;
- ❖ risque de propagation des infections aux IST et VIH/SIDA et de
- ❖ contraction des maladies hydriques et respiratoires due à la poussière;
- ❖ risque de conflits entre les entreprises et les populations riveraines ;
- ❖ contribution aux changements climatiques dus aux émissions des gaz à effet de serre ;
- ❖ risque d'accidents sur le chantier.

V.4.2. Impacts positifs du projet

- ❖ Création d'opportunités d'emploi et d'affaires ;
- ❖ Développement des activités économiques des populations environnantes ;
- ❖ Amélioration de la déserte des quartiers à forte densité de population
- ❖ La sécurité des usagers améliorée ;
- ❖ La mobilité de la circulation à l'intérieur de la ville de Ouagadougou est améliorée ;
- ❖ Dynamisation des échanges commerciaux et culturels ;
- ❖ Facilitation de la mobilité urbaine dans la ville de Ouagadougou ;
- ❖ La contribution à l'amélioration du paysage urbain.

V.5. Mesures d'atténuations des impacts négatifs

- ❖ Protéger les populations et les ouvriers ;
- ❖ Limiter la pollution par les hydrocarbures ;
- ❖ Limiter les bruits et protéger contre ceux-ci en évitant les travaux de nuit ;

- ❖ Élaborer une politique transparente de recrutement ;
- ❖ Construire des ralentisseurs de vitesse ou recruter des agents pour assurer la signalisation aux endroits de forte concentration ;
- ❖ Élargir la chaussée le long des fortes pentes,
- ❖ Exécuter des gardes corps et/ou glissières de sécurité au-dessus des ouvrages et le long des points sensibles ;
- ❖ Mettre en œuvre des bandes d'arrêt d'urgence, des ralentisseurs de vitesse dans toutes les agglomérations traversées par le projet,
- ❖ Recruter en préférence la main d'œuvre locale et appliquer la même grille salariale que la main d'œuvre étrangère ;
- ❖ Dédoubler des voies dans les agglomérations à forte fréquentations ;
- ❖ Assurer la compensation des biens détruits ;
- ❖ Sensibiliser les employés et les populations riveraines ;
- ❖ Faire des formations environnementales des riverains ;
- ❖ Limiter les émissions de poussières et de gaz toxiques
- ❖ Valoriser les sites d'emprunt des matériaux par la création des points d'abreuvoir des animaux

VI. Évaluation financière du projet

L'évaluation du coût du projet est une étape très importante du projet elle permet d'orienter le maître d'ouvrage dans ses financements d'une part et d'autre part lui permet la recherche de financement du projet auprès des bailleurs de fonds. Cette évaluation est la phase qui vient après l'établissement des devis quantitatifs.

Les prix unitaires utilisés pour le calcul du coût global de notre projet ont été retenus sur la base du mercuriale BTP Ouagadougou 2024. Le tableau ci-dessous présente le coût global de notre projet et le détail se trouve en annexe 14.

Tableau 32: Récapitulatif du devis quantitatif et estimatif du projet

RECAPITULATIF	
Poste I : Installation et repli de chantier	338 350 000
Poste II : Travaux préparatoires	645 000 000

Poste III : Terrassements	600 703 625
Poste IV : Chaussée	6 042 694 100
Poste V : Ouvrages d'assainissement et de drainage	166 373 165
Poste VI : Signalisation & équipement	57 880 000
Poste VII : Mesures environnementales	236 650 000
MONTANT TOTAL HT	8 087 650 890
TVA (18 %)	1 455 777 160
MONTANT TOTAL + TVA	9 543 428 050

De ce tableau 32, on en déduit le coût du kilomètre de notre projet à **1 908 685 610 FCFA/km**. Le graphique de la figure 10 présente la répartition du coût de notre projet en fonction des différentes postes et il en ressort que la réalisation de la chaussée représente 59% du coût global du projet puis suit la TVA (Taxe sur Valeur Ajoutée) 15%. Cela s'explique par les matériaux constitutifs de nos différentes couches de chaussée (roulement, base et fondation) et l'importance de leurs épaisseurs.

Il est à noter également que le choix de ces matériaux est beaucoup plus guidé sur les matériaux les mieux adaptés proposés par les normes de dimensionnement de chaussée pour le niveau de service attendu par notre chaussée.

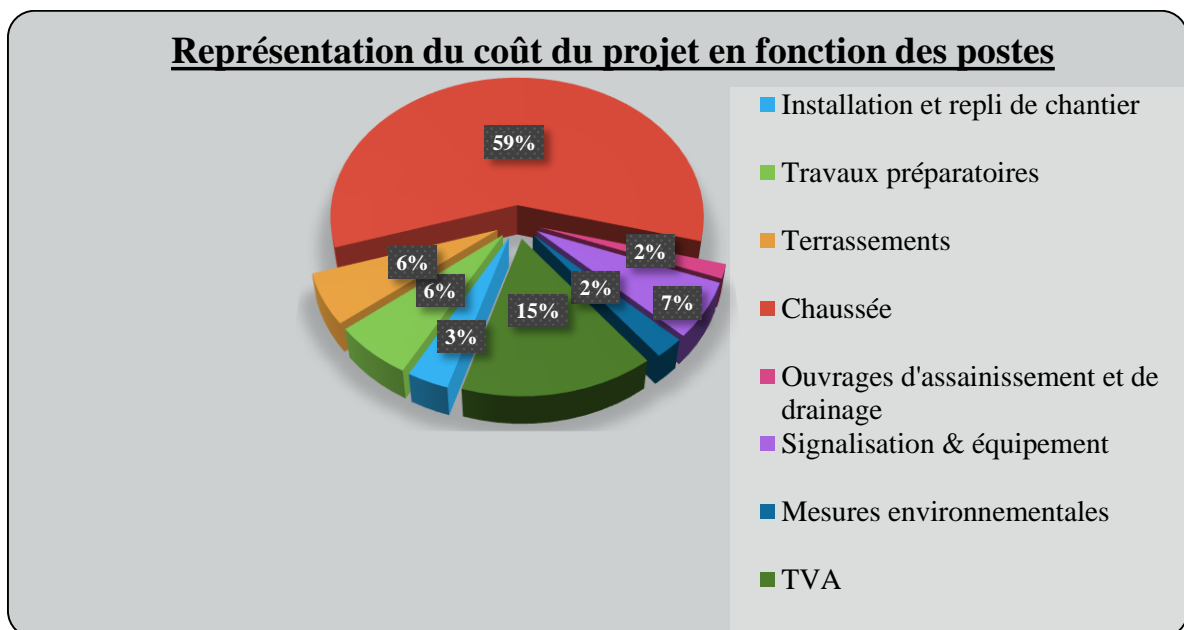


Figure 10: Répartition du coût du projet en fonction des postes de travaux

CONCLUSION

Au terme de ce mémoire, où il était question de mener une étude technique approfondie de l'embranchement RN1-RN2 de la voie de contournement de la ville de Ouagadougou, plus précisément le tronçon du PK6+200 au PK11+200 long de 5km, nous avons d'abord procéder à la collecte de données d'ordre topographique, géotechnique et pluviométriques.

De l'analyse portée sur ces données, il en ressort du point de vue étude géométrique, un tracé en plan suivant l'axe des levés, un profil en long projet offrant en moyenne une hauteur de remblai de 60 cm. Le profil en travers en section courante est constitué de deux fois deux voies (2x2vois) de 3,5 m chacune muni d'un terre-plein central de 10 m et des surlargeurs de 0,5 cm de part et d'autre. L'étude structurale de la chaussée a été faite sur la base d'un trafic T4 et d'un sol support de classe Pf2 et une structure de chaussée 5 cm de béton bitumineux en couche de roulement, 11 cm de grave bitume en couche de base et 32 cm de graveleux latéritique amélioré au ciment a été retenue. Cependant il est à noter que les zones de faibles portances doivent faire l'objet de substitutions par des matériaux de bonne portance de classe S3 minimum sur une épaisseur de 35 cm.

Afin d'assurer le rétablissement des écoulements naturels, les études hydrologiques et hydrauliques nous ont permis d'obtenir sept (07) dalots transversaux de sections variables (allant de 3x250x200 à 1x150x150) le long du tracé et dont celui du 3x250x200 a fait l'objet d'une étude structurale. Également des fossés rectangulaires de 80x160 ont été disposés longitudinalement afin de véhiculer les eaux de chaussées et des talus. Afin de mieux gérer les désagréments que peut causer le projet en phase travaux, une étude d'impact environnemental a été faite. Enfin sur la base du métrique BTP 2024, nous avons évalué le coût de notre projet à **9 543 428 050 FCFA** (Neuf milliards cinq cent quarante-trois millions quatre cent vingt-huit mille cinquante FCFA) y compris la TVA. En somme, suite aux résultats obtenus, nous pouvons donc dire que les objectifs préalablement fixés ont été atteints.

Ce projet nous a vraiment permis de mieux asseoir nos connaissances en matière d'étude détaillée dans le cas de projet routier malgré les difficultés auxquels nous pourrions être confrontés. Nos recommandations vont à l'endroit du maître d'ouvrage. Une sensibilisation du public (usagers) pour le respect des règles de circulation et de sécurité est nécessaire

pour pérenniser la chaussée. Une surveillance permanente des ouvrages et un entretien périodique permettront de conserver le niveau de service de la voie.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] Instruction sur les conditions Technique d'Aménagement des voies Rapides Urbaines (ICTAVRU), CERTU
- [2] La signalisation verticale par panneaux. I, I, (1978). Foucher
- [3] AFNOR. 2011. NF P 98-082-Dimensionnement structurel des chaussées routière.
- [4] AFNOR. Mai 2019. NF P 98-086-Dimensionnement structurel des chaussées routière.
- [5] CEBTP. 1984. Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour mes pays tropicaux.
- [6] LCPC, et SETRA. 1994. Conception et dimensionnement des structures de chaussée.
- [7] FAO, Manuel pour l'estimation des crues et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèches, 1996.
- [8] Van Tuu, N, & Lemoine, B. (1981). Hydraulique routière. BCEOM
- [9] Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites-BAEL 91 révisé 99
- [10] Adamah MESSAN. (2020), Cours de béton armé 1, 2 et 3.
- [11] Adamah MESSAN. (2020), Cours de conception et calcul des ouvrages hydrauliques.
- [12] Décret n°2015-1187
RES/TRANS/PM/MERH/MATD/MME/MS/MARHA/MRA/MICA/MHU/MOD
T/CT (du 15 octobre 2015) portant conditions et procédures de réalisation et de validation de l'évaluation environnementale stratégique, de l'étude et de la notice d'impact environnemental et social.

Sites internet :

[www.gouvernement.gov.bf/informations/actualites/details?tx_news_pi1\[action\]=detail&tx_news_pi1\[controller\]=News&tx_news_pi1\[news\]=352&cHash=4f97f6f018d5df9377b16978bfcecb7b](http://www.gouvernement.gov.bf/informations/actualites/details?tx_news_pi1[action]=detail&tx_news_pi1[controller]=News&tx_news_pi1[news]=352&cHash=4f97f6f018d5df9377b16978bfcecb7b)

ANNEXES

Table des annexes

Annexe 1: Données géotechniques du tronçon.....	X
Annexe 2: Conception géométrique de la voie.....	xii
Annexe 3: Dimensionnement de la chaussée	xiii
Annexe 4: Données météorologiques de la zone de Ouagadougou.....	xiv
Annexe 5: Bassins versants délimités.....	xvii
Annexe 6: Dimensionnement hydraulique des dalots	xviii
Annexe 7: Dimensionnement hydraulique du fossé	xxi
Annexe 8: Prédimensionnement du mur en aile.....	xxii
Annexe 9: Hypothèses de calcul.....	xxiv
Annexe 10: Charges routières.....	xxvii
Annexe 11: Dimensionnement du tablier	xxxviii
Annexe 12: Dimensionnement du radier	xliv
Annexe 13: Dimensionnement des piédroits	xlvi
Annexe 14: Dimensionnement du mur en aile	li
Annexe 15: Évaluation financière du projet.....	lv
Annexe 16: Pièces graphiques.....	lix

Annexe 1: Données géotechniques du tronçon

TRONCON RN1_RN2 PK 0 AU PK 17								
DESIGNATION	N° Sondage		S24	S25	S26	S27	S28	S29
	Profils		C/G	axe	C/D	axe	C/G	axe
	Pks		Pk 6+100	Pk 6+350	Pk 6+600	Pk 6+850	Pk 7+100	Pk 7+350
	Profondeur	(m)	0,20- 0,80	0,15 - 0,80	0,20 - 0,80	0,20 - 0,80	0,20-0,80	0,20 - 0,80
PROFILS GEOTECHNIQUES	% < 0,5mm		95	65	43	43	38	81
	% < 80µm		72	42	27	30	24	35
	LL		19,4	19,6	20,2	21,3	21,6	18,8
	IP		6,7	7,3	7	8,1	9,4	6,9
	ES		---	---	---	---	---	---
	IG		7,4	1,4	0	0	0	0
	CLASSE HBR		A-4	A-4	A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-4
	YOPM		1,92	2,05	2,05	2,06	2,12	1,97
	W%OPM		10,8	7,2	8,8	10,2	11,2	11
	CBR 95% :		8	13	12	18	28	11
	classe/portance		S2	S3	S3	S4	S4	S3
	APPELLATION		Limons Sableux	Limons Sableux	Graveleux et Sable Limoneux Peu Plastique	Graveleux et Sable Limoneux Peu Plastique	Graveleux et Sable Limoneux Peu Plastique	Limons Sableux

TRONCON RN1_RN2 PK 0 AU PK 17								
	N° Sondage		S30	S31	S32	S33	S34	S35
	Profils		C/D	axe	C/G	axe	C/D	axe
	Pks	Pk 7+600	Pk 7+850	Pk 8+100	Pk 8+350	Pk 8+600	Pk 8+850	
	Profondeur	(m)	0,20-0,80	0,20 - 0,80	0,25 - 0,80	0,20 - 0,80	0,20 - 0,80	0,20 - 0,80
PROFILS GEOTECHNIQUES	% < 0,5mm	81		75	69	72		88
	% < 80µm	33		30	36	34		74
	LL	19,4		19	16,4	16		30,2
	IP	7,2		8	5,3	5,1		12,3
	ES	---		---	---	---		---
	IG	0		0	0,2	0	0	8,72
	CLASSE HBR	A-2-4		A-2-4	A-4	A-2-4	A-1a	A-6
	YOPM	1,93		1,93	2,01	1,93		1,88
	W%OPM	10,8		10,2	10,9	10,8		12
	CBR 95% :	17		11	18	9		7
classe/portance	S4		S3	S4	S2	S1	S2	
APPELLATION	Sable Limoneux Peu Plastique		Sable Limoneux Peu Plastique	Limons Sableux	Sable Limoneux Peu Plastique	Cuirasse	Limons Sablo- Argileux	
TRONCON RN1_RN2 PK 0 AU PK 17								
DESIGNATION	N° Sondage		S36	S37	S38	S39	S40	S41
	Profils		C/G	axe	C/D	axe	C/G	axe
	Pks		Pk 9+100	Pk 9+350	Pk 9+600	Pk 9+850	Pk 10+100	Pk 10+350
	Profondeur	(m)	0,20-0,80	0,20 - 0,80	0,25 - 0,80	0,15 - 0,80	0,20 - 0,80	0,20 - 0,80
PROFILS GEOTECHNIQUES	% < 0,5mm		91	72	70	92	94	98
	% < 80µm		73	37	40	83	84	51
	LL		31,6	17,9	17,8	25,2	25,8	21,8
	IP		12,8	7	6,4	9,4	9,9	8
	ES		---	---	---	---	---	---
	IG		8,72	0,4	1	8	8	3,2
	CLASSE HBR		A-6	A-4	A-4	A-4	A-4	A-4
	YOPM		1,87	1,95	1,98	1,96	1,9	1,9
	W%OPM		12,1	11,9	11,2	11	11,2	10,9
CBR 95% :		9	8	9	7	4	3	
classe/portance		S2	S2	S2	S2	S1	S1	
APPELLATION		Limons Sablo- Argileux	Limons Sableux	Limons Sableux	Limons Sableux	Limons Sableux	Limons Sableux	

Annexe 2: Conception géométrique de la voie

Éléments caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	195,1877	2449,519	6200,000	642365,075	1371214,593
Arc 1	Rayon	900,0000	70,342	8649,519	642550,063	1368772,068
	Centre X	643447,492				
	Centre Y	1368840,036				
Droite 2	Gisement	190,2120	2196,626	8719,861	642558,109	1368702,206
Arc 2	Rayon	-1500,0000	285,658	10916,487	642894,510	1366531,492
	Centre X	641412,204				
	Centre Y	1366301,776				
Droite 3	Gisement	202,3357	11,000	11202,145	642911,195	1366246,754
				11213,145	642910,792	1366235,762
Longueur totale de l'axe 5013.145 mètres						

Annexe 3: Dimensionnement de la chaussée

Figure 11: Résultats du calcul avec les épaisseurs de base sur CEBTP

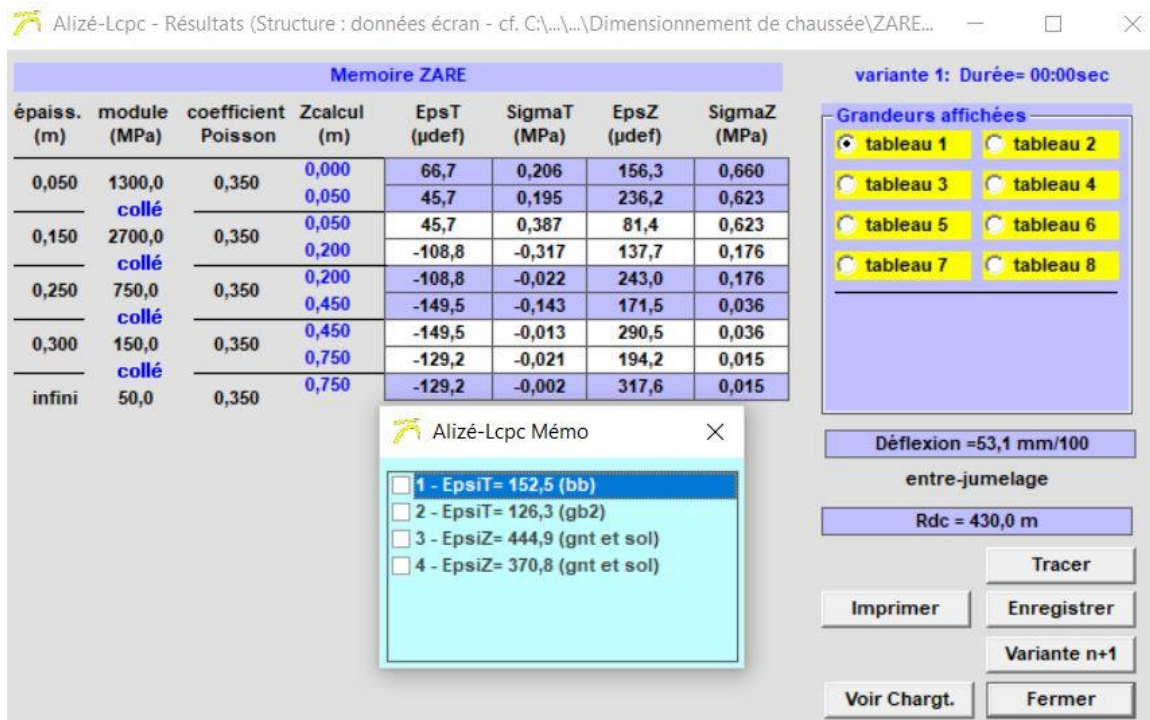
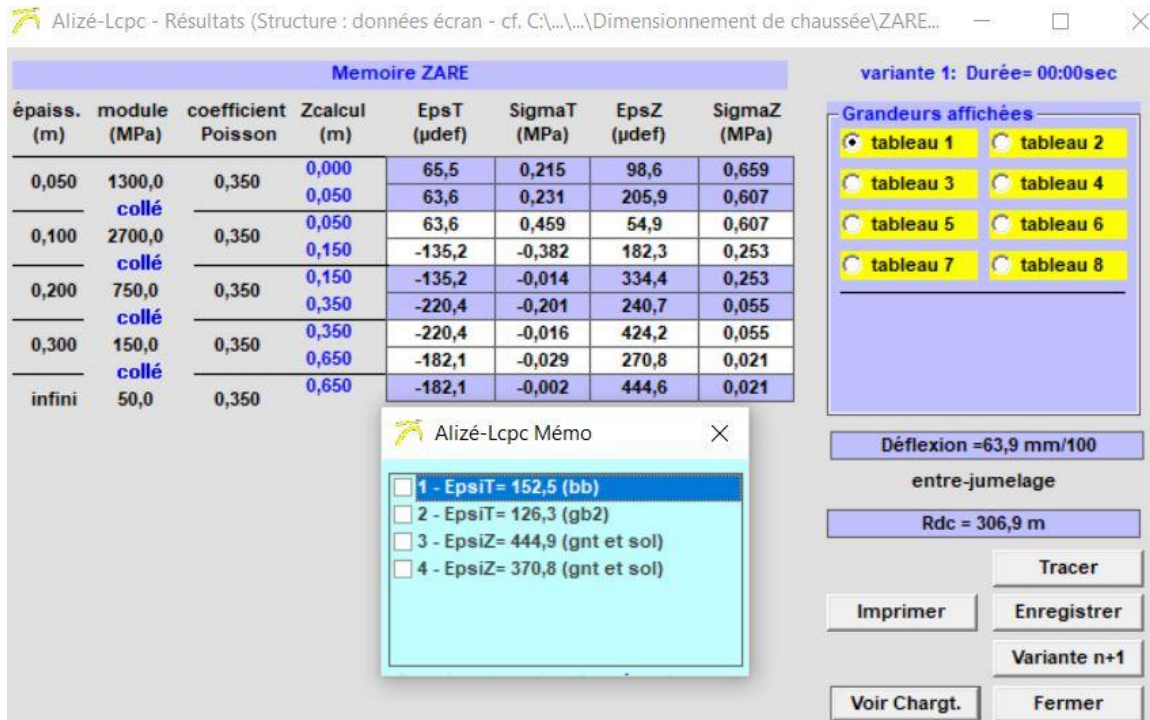


Figure 12: Résultat avec les épaisseurs initiales choisies



Annexe 4: Données météorologiques de la zone de Ouagadougou

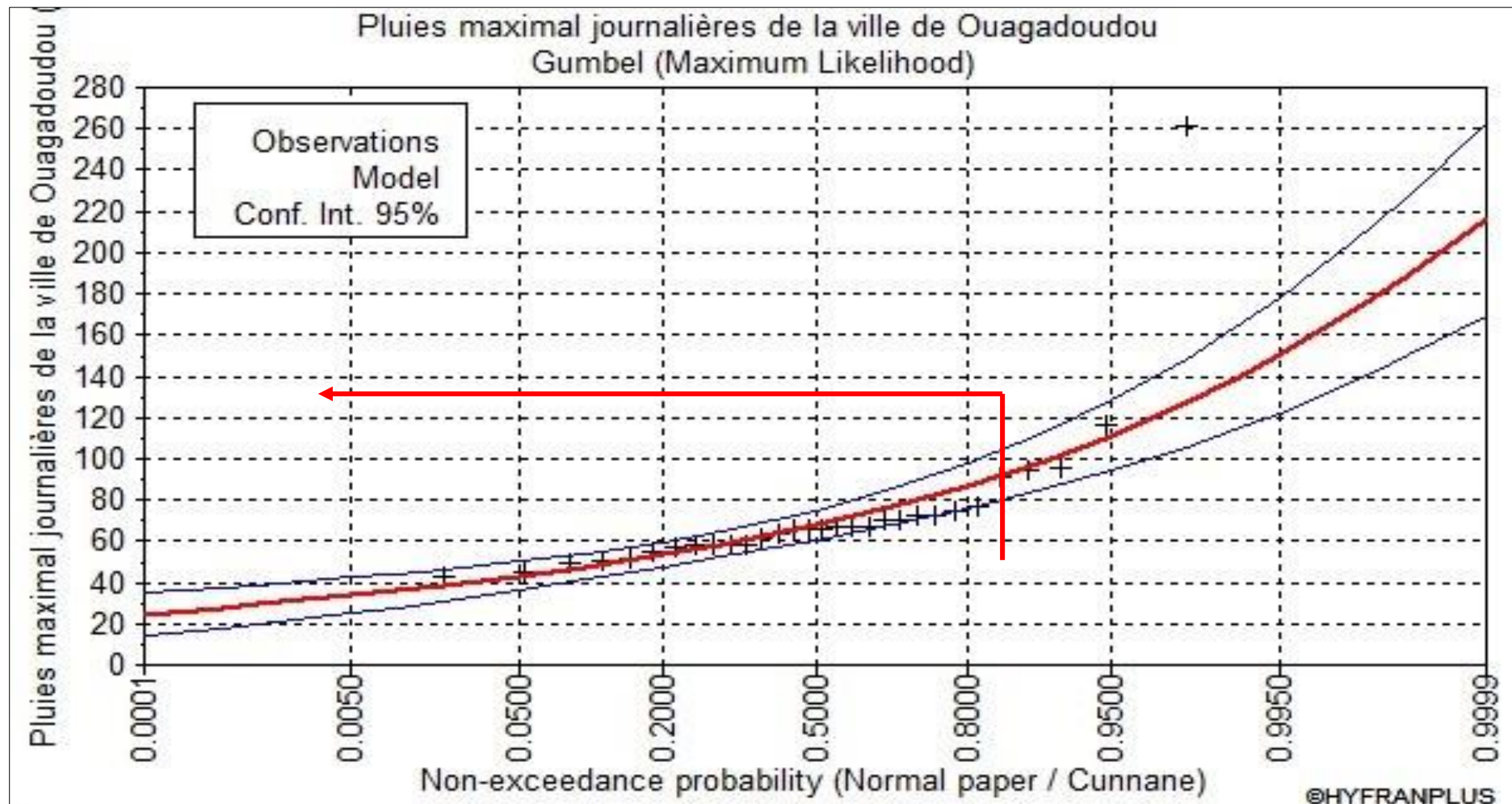
◆ Pluie maximale journalière annuelle

Station	Années	Pluie maximale annuelle (mm)
Ouagadougou aéro	1994	58,2
Ouagadougou aéro	1995	73,1
Ouagadougou aéro	1996	70,3
Ouagadougou aéro	1997	45,2
Ouagadougou aéro	1998	72,4
Ouagadougou aéro	1999	66
Ouagadougou aéro	2000	58,6
Ouagadougou aéro	2001	49,8
Ouagadougou aéro	2002	58,1
Ouagadougou aéro	2003	62,1
Ouagadougou aéro	2004	55,1
Ouagadougou aéro	2005	75,7
Ouagadougou aéro	2006	51,5
Ouagadougou aéro	2007	116,7
Ouagadougou aéro	2008	58,4
Ouagadougou aéro	2009	261,3
Ouagadougou aéro	2010	70,4
Ouagadougou aéro	2011	43,8
Ouagadougou aéro	2012	67,8
Ouagadougou aéro	2013	67,3
Ouagadougou aéro	2014	57,2
Ouagadougou aéro	2015	67
Ouagadougou aéro	2016	94,5
Ouagadougou aéro	2017	96,6
Ouagadougou aéro	2018	66,2
Ouagadougou aéro	2019	91,3
Ouagadougou aéro	2020	77,9
Ouagadougou aéro	2021	52,9
Ouagadougou aéro	2022	66,1
Ouagadougou aéro	2023	64

◆ Pluie maximale mensuelle annuelle

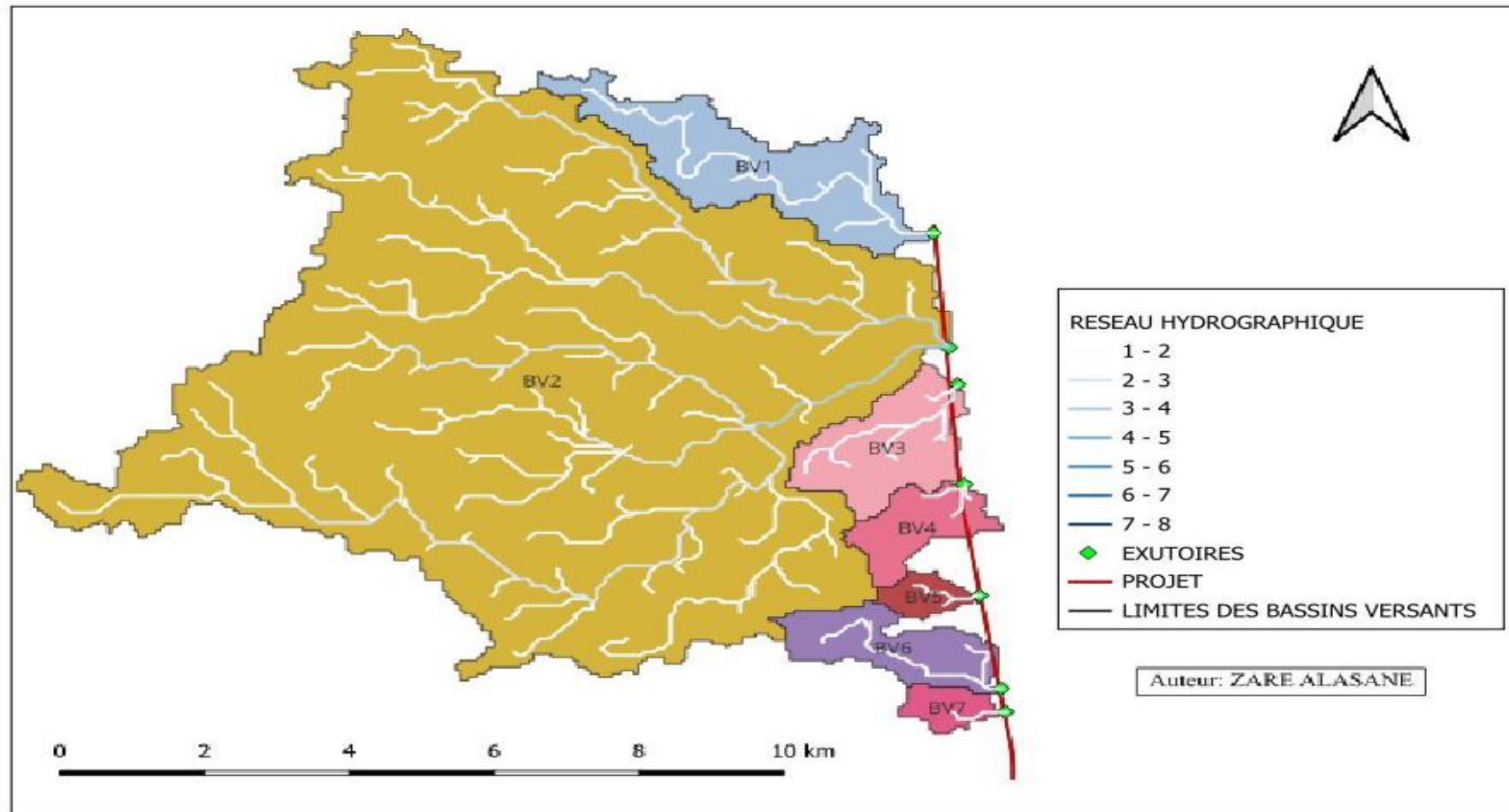
Station	Année .	Mois												Annuelle
		Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	
Ouagadougou aéro	2005	0	0	0,5	29,1	50,2	82,3	250,6	282	123,3	21,9	0	0	839,9
Ouagadougou aéro	2006	0	0	0	5,7	13,3	66,4	168	202,3	108,8	32,3	0	0	596,8
Ouagadougou aéro	2007	0	0	0	85,7	42,7	33,2	114,3	299,2	137,7	0,3	0,1	0	713,2
Ouagadougou aéro	2008	0	0	4,4	0	60,9	90	247	205,8	131,3	28	0	0	767,4
Ouagadougou aéro	2009	0	0	0,3	13	41,7	140,7	168,4	197,6	329,6	32,3	0	0	923,6
Ouagadougou aéro	2010	0	0	0	50,9	67,6	104,1	235,1	246,9	87,2	47,2	0	0	839
Ouagadougou aéro	2011	0	0	0,8	25,3	33,9	120,8	223,8	181	88,1	15,7	0	0	689,4
Ouagadougou aéro	2012	0	0	0	13,7	73,8	67,9	368	239,7	234,8	4,8	0	0,3	1003
Ouagadougou aéro	2013	0	0	10,1	36,4	73	38,3	182	268,6	165	21,9	0	0	795,3
Ouagadougou aéro	2014	3,4	0	0	17,9	79,1	95,4	177,2	222,7	212,7	35,5	0	0	843,9
Ouagadougou aéro	2015	0	0,1	8,5	0	29,4	108,9	257,5	309,2	158,2	26,8	0	0	898,6
Ouagadougou aéro	2016	0	0	12,5	30,7	47,6	68,7	290,9	372,7	147,2	3,8	0	0	974,1
Ouagadougou aéro	2017	0	0	0	13,3	216,8	110,1	120,7	307,6	101,9	3,7	0	0	874,1
Ouagadougou aéro	2018	0	8,4	11,6	0	75	84	245,9	236,4	174,3	24,6	0	0	860,2
Ouagadougou aéro	2019	0	0	7,6	20,2	47,8	61,7	321,3	212	93,1	89	0	0	852,7
Ouagadougou aéro	2020	0	0	0	4,8	9,8	88,6	302,3	273,3	218,3	58,6	0	0	955,7
Ouagadougou aéro	2021	0	0	0	0	101	168,5	243,8	345,7	118,3	33	0	0	1010,3
Ouagadougou aéro	2022	0	0,7	2,3	29	40,5	137,3	190,4	272,8	251,1	15	0	0	939,1
Ouagadougou aéro	2023	0	0	0	16,3	50,6	115,5	203,8	248,6	119,4	62,3	0	0	816,5

Figure 13: Ajustement statistique des pluies maximales annuelles



Annexe 5: Bassins versants délimités

CATRES DE DELIMITATION DES BASSINS VERSANTS



Annexe 6: Dimensionnement hydraulique des dalots [8]

Dimensionnement hydraulique du dalot 1			
Désignations	Formules	unités	Résultats
Détermination de la section d'ouverture			
Débit projet	Données	m ³ /s	17,09
Nombre de cellules	n	u	3
Hauteur fictive	H	m	2
Largeur fictive	B	m	2,5
Section fictive	A=B x H	m ²	5
Débit unitaire	$q = \frac{Q_p}{n}$	m ³ /s	5,695884197
Vitesse max admissible	Néant	m/s	3
Vérification 1/ la section théorique	$S_r = B \times H > S_{th} = q/V_{max}$		Vérifié
Vérification 2	$0,5 < H/B < 2$		Vérifié
Détermination de la hauteur d'eau en amont de l'ouvrage			
Accélération de la pesanteur	Néant	m ² /s	9,81
Débit réduit Q*	$Q^* = \frac{q}{S \times \sqrt{2 \times g \times H}}$	m ³ /s	0,18
Hauteur réduite H*	Lecture sur abaque 77 BCEOM	m	0,62
Profondeur d'eau en amont de l'ouvrage H1	$H_1 = H^* \times H$		1,24
Vérification	$H^*/H \leq 1,25$		Vérifié
Détermination de la pente critique Ic			
Débit admissible Q**	$Q^* = \frac{q}{\sqrt{g \times B^5}}$	m ³ /s	0,18
Pente admissible Ic**	Lecture abaque 82 BCEOM		2,85
Coefficient de rugosité K du béton			67
Pente critique Ic de l'ouvrage	$I_c = I_c^* \times \frac{g}{K^2 \times H^3}$		0,005

Détermination de la vitesse de sortie V			
Débits réduit Q***	$Q^{***} = \frac{q}{K \times Ic^{\frac{1}{2}} \times \frac{B^8}{3}}$	m3/s	0,11
Vitesse v*	Lecture sur abaque 84 BCEOM	m/s	0,34
Vitesse de sortie V	$V = v^* \times K \times Ic^{\frac{1}{2}} \times B^{\frac{2}{3}}$	m/s	2,950241202
Vérification	$V < V_{max}$	Section retenue	
Section de dalot retenue	3x250x200		

Détermination de H*

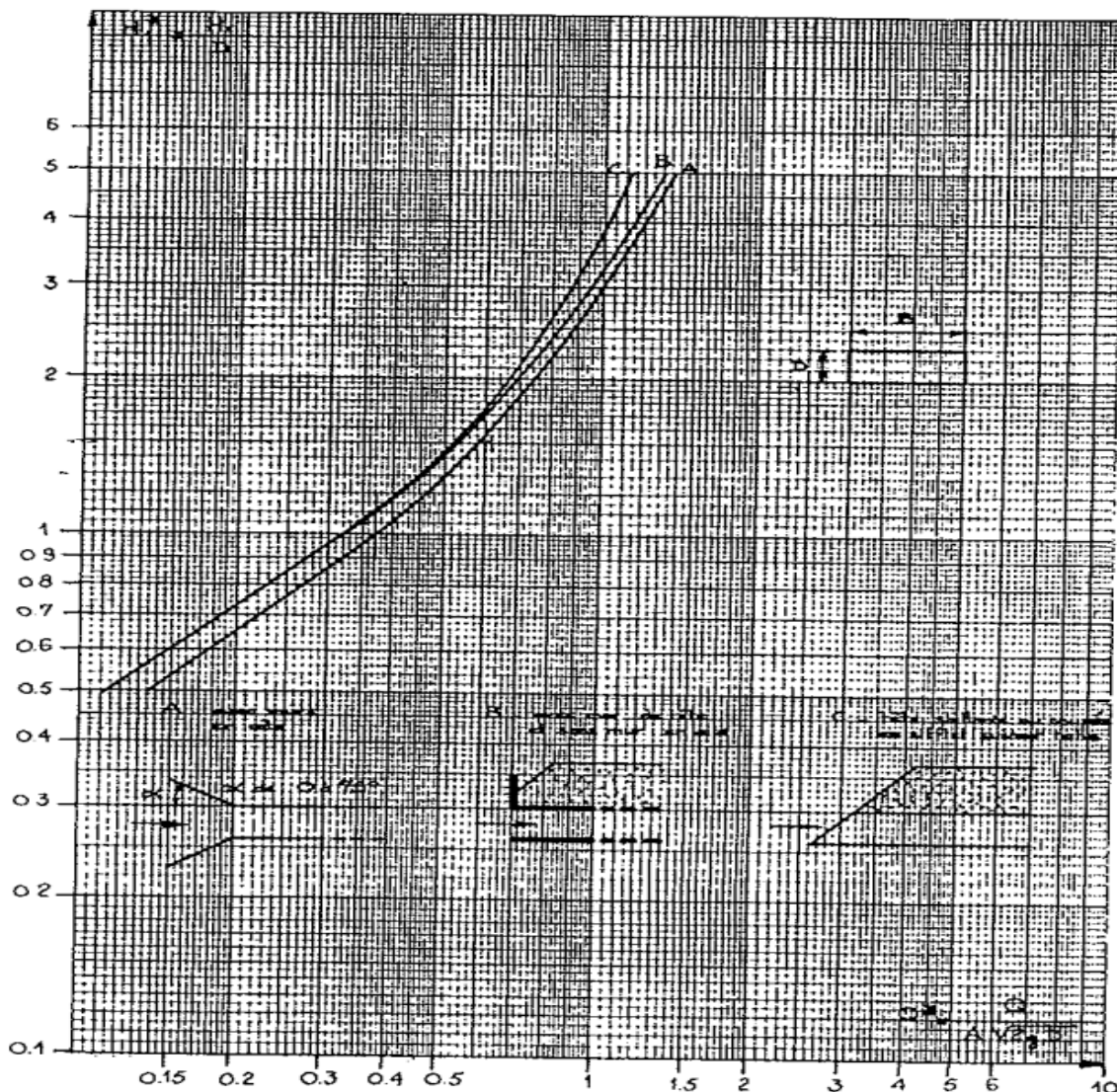
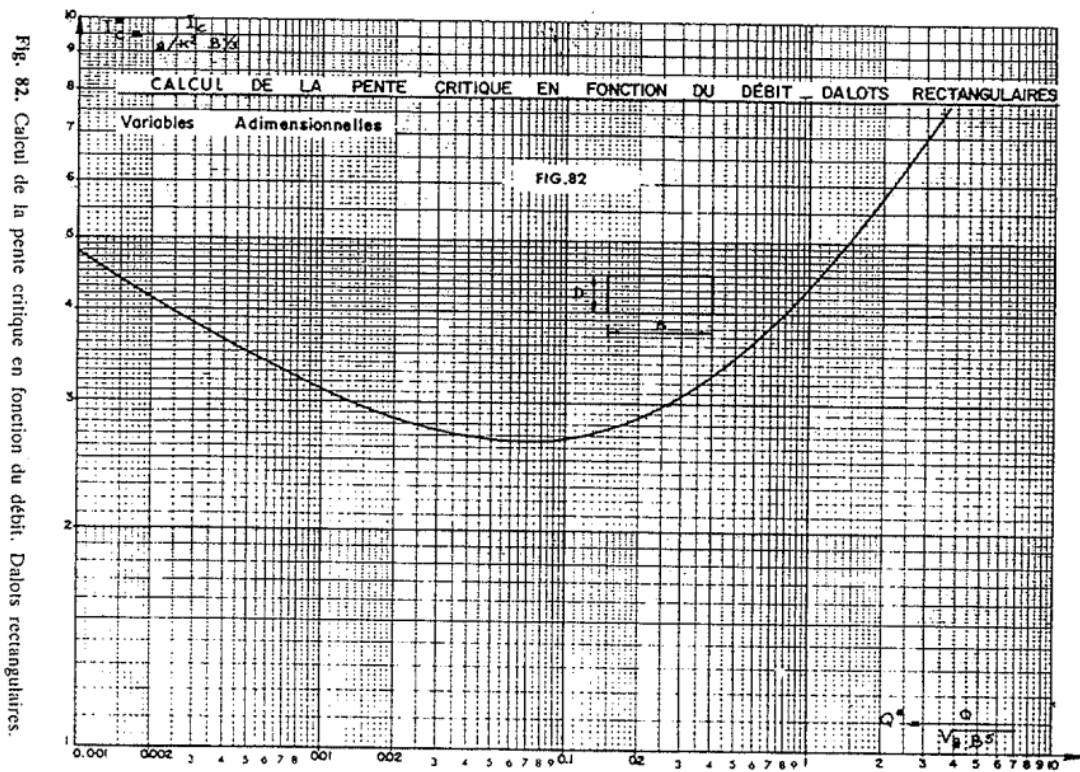
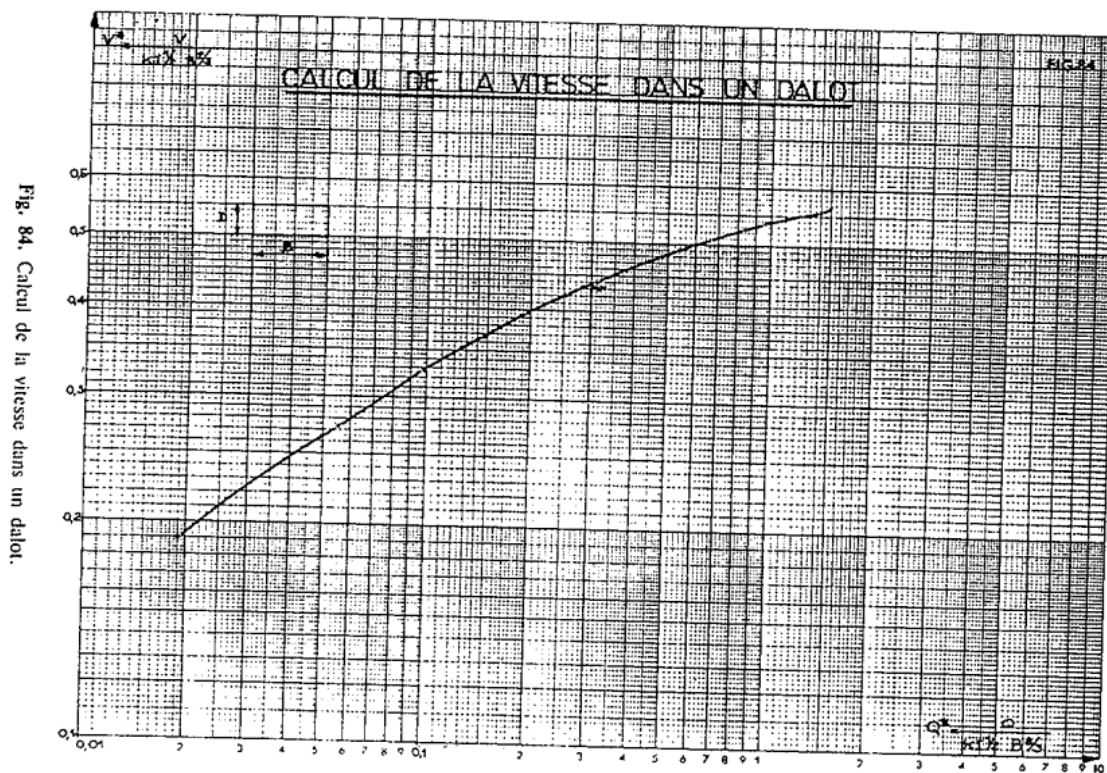


Fig. 77. Sortie libre. Dalots rectangulaires.

◆ Détermination de la pente critique



◆ Détermination de la vitesse de sortie



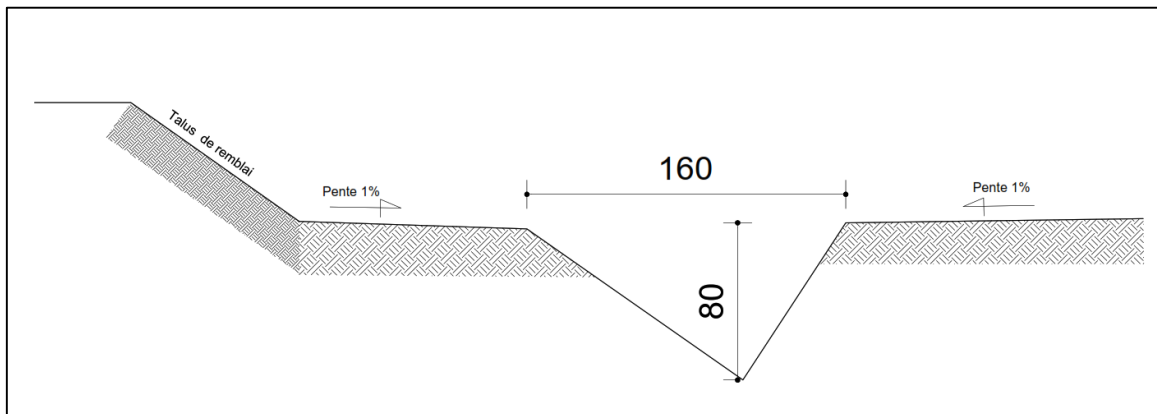
Annexe 7: Dimensionnement hydraulique du fossé

Tableau 39. Capacité max (en l/s) des fossés triangulaires non revêtus en zones érodables (talus à 3/2, 2/3)

Pente <i>i</i> %	Sables fins argileux ou limons argileux ($V_{max} = 0,75$ m/s)	Limons compacts ou argiles sableuses ($V_{max} = 0,90$ m/s)	Argiles compactes ($V_{max} = 1,10$ m/s)	Mélanges de graviers, sables et limons ($V_{max} = 1,50$ m/s)	Graviers, cailloux moyens ($V_{max} = 1,80$ m/s)
0,5	208	<u>328</u>	<u>328</u>	<u>328</u>	<u>328</u>
1,0	73	<u>152</u>	<u>340</u>	<u>464</u>	<u>464</u>
2,0	26	54	120	415	<u>656</u>
3,0	14	29	65	226	468
4,0	9,2	19	42	147	304
5,0	6,6	14,0	30	105	218
6,0	5,0	10,3	23	80	166
8,0	3,2	6,7	15,0	52	108
10,0	2,3	4,8	10,7	37	77

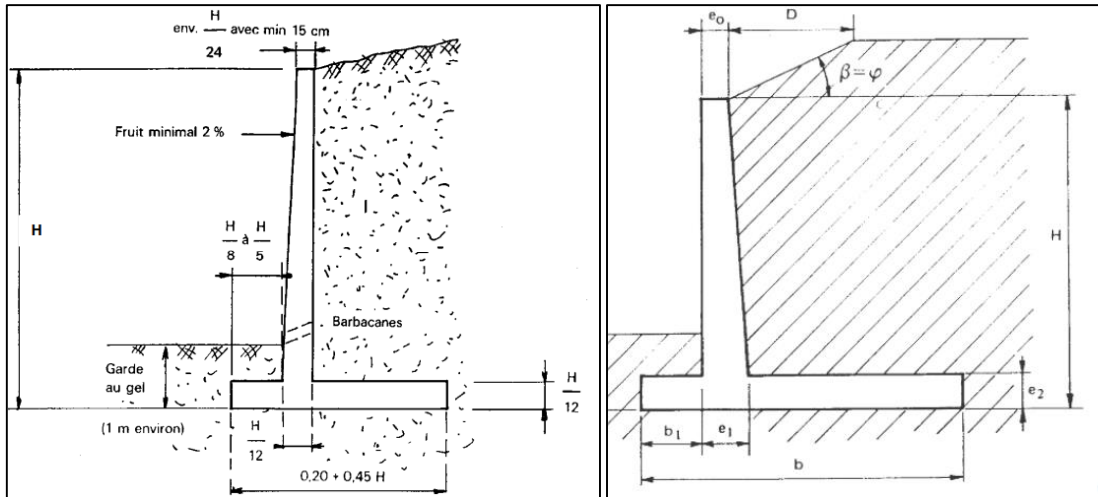
($K = 33$)

N.B. : Les chiffres soulignés correspondent au fossé entièrement rempli.



Annexe 8: Prédimensionnement du mur en aile

Le mur en aile sera comme un mur de soutènement de type cantilever doté d'une base élargie (semelle) encastree à la partie supérieure du sol fonctionnant sur l'effet du poids du remblai.



La hauteur du mur est $H = 2 \text{ m}$

❖ Épaisseur du mur

L'épaisseur du mur est considérée constante sur toute sa hauteur.

$$e_0 = \frac{H}{24} \quad \text{et} \quad e_1 = \frac{H}{12} \quad e_{0\text{min}} = 15 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow e = \frac{2,75}{24} = 0,12 \text{ m} \quad \text{et} \quad e_1 = \frac{H}{12} = 0,23 \text{ m}$$

Soit $e = 25 \text{ cm}$.

❖ Épaisseur et largeur de la semelle

• Épaisseur e_s

$$e_s = \frac{H}{12} = \frac{2,75}{12} = 0,23 \text{ m}$$

Soit $e_s = 25 \text{ cm}$

• Largeur du patin e_p

$$l_p = \frac{l_s}{3} = \frac{1,5}{3} = 0,33 \text{ m}$$

Soit $l_p = 0,5 \text{ m}$

• Largeur l_s

$$\frac{H}{2} \leq l_s \leq \frac{2}{3}H \Rightarrow \frac{2,75}{2} \leq l_s \leq \frac{2,75}{3} \times 2$$

Soit $l_s = 1,5 \text{ m}$

• Largeur du talon

$$l_t = l_s - (l_p + e)$$

$$l_t = 1,5 - (0,5 + 0,25) = 0,75 \text{ m}$$

Soit $l_t = 75 \text{ cm}$

Dans le but d'améliorer l'esthétique de l'ouvrage et l'encastrement du tablier sur les piédroits, nous allons utiliser des goussets dont les dimensions sont fonction de l'ouverture de l'ouvrage.

Tableau 33: Choix des goussets

Ouverture	Goussets supérieurs	Goussets inférieurs (cadres)
< 2 m	0,2 × 0,2 ou chanfrein	0,2 × 0,2 ou chanfrein
2 à 4 m	0,2 × 0,2 à 0,3 × 0,3	0,2 × 0,2 à 0,4 × 0,4
≥ 4 m	0,3 × 0,3 à 0,4 × 0,4	0,4 × 0,4 à 0,5 × 0,5

Notre ouverture étant de 2,5 m, nous avons opté pour des goussets inférieurs et supérieurs de 0,25 m × 0,25 m.

Annexe 9: Hypothèses de calcul

❖ Béton

Notre ouvrage est situé dans un environnement alternativement humide ou sec (classe d'exposition XC4) donc une résistance caractéristique minimale à la compression à 28 jours f_{c28} de 25 MPa sera considérée par les différents éléments de notre structure avec un poids volumique du béton égale à 25 kN/m³.

✚ Contrainte de calcul du béton f_{bu} à l'ELU

$$f_{bu} = \frac{0,85 \times f_{c28}}{\theta \times \gamma_b} = \frac{0,85 \times 25}{1 \times 1,5} = 14,17 \text{ MPa}$$

$$f_{bu} = 14,17 \text{ MPa}$$

- ✓ θ : coefficient lié à la durée d'application des charges pris à 1 pour $t > 24h$
- ✓ γ_b : coefficient de sécurité des matériaux pris à 1,5
- ✓ f_{bu} : contrainte de calcul du béton

✚ Contrainte de calcul du béton f_{bu} à l'ELS

$$\sigma_b = 0,6 \times f_{c28} = 0,6 \times 25 = 15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b = 15 \text{ MPa}$$

✚ Résistance caractéristique à la traction f_{t28}

$$f_{t28} = 0,6 + 0,06 \times f_{c28} \quad \Rightarrow \quad f_{t28} = 0,6 + 0,06 \times 25 = 2,1 \text{ MPa}$$

$$f_{t28} = 2,1 \text{ MPa}$$

✚ Enrobage

L'enrobage est pris égal à 3 cm

✚ Module de déformation longitudinale

◆ Module de déformation instantanée E_{ij} (durée d'application des charges >24 h)

$$E_{ij} = 11\,000 \times f_{cj}^{\frac{1}{3}}$$

$$\text{Pour } j = 28 \text{ jours, } E_{ij} = 11\,000 \times 25^{\frac{1}{3}} = 32164,20 \text{ MPa}$$

$$E_{ij} = 32164,20 \text{ MPa}$$

- ◆ **Module de déformation différée E_{vj}** (longue d'une d'application des charges)

$$E_{vj} = 3700 \times f_{cj}^{\frac{1}{3}}$$

$$\text{Pour } j=28 \text{ jours } E_{vj} = 3700 \times 25^{\frac{1}{3}} = 10818,87 \text{ MPa}$$

$$E_{vj} = 10\,818,87 \text{ MPa}$$

✚ Enrobage

$\nu = 0$, valeur par défaut

❖ Acier

La fissuration est jugée **préjudiciable** car notre ouvrage est exposé aux intempéries et à l'action de l'eau.

✚ Nuance

- ◆ Acier Haute Adhérence HA, FeE400
- ◆ Limite d'élasticité de l'acier $f_e=400$ MPa
- ◆ Module de déformation longitudinale $E_s=200\,000$ MPa

Coefficient de fissuration HA, $\eta = 1,6$

Coefficient de scellement, $\psi_s = 1,5$ pour HA

Coefficient de sécurité partiel, $\gamma_s = 1,15$

✚ Contrainte de traction

À l'ELU

$$\sigma_{st} = \frac{f_e}{\gamma_s} \Rightarrow \sigma_{st} = \frac{400}{1,15} = 347,83 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{st} = 347,83 \text{ MPa}$$

À l'ELS (fissuration préjudiciable)

$$\sigma_{st} = \left[\min \left(\frac{2}{3} f_e; \max \left(\frac{1}{2} f_e; 110 \sqrt{\eta \times f_{t28}} \right) \right) \right]$$

$$\sigma_{st} = 200 \text{ MPa}$$

❖ **Remblai**

- ◆ Remblai d'accès en graveleux latérique : $\gamma_d = 20 \text{ kN/m}^3$
- ◆ Remblai sur le dalot en grave bitume : $\gamma_{GB} = 24 \text{ kN/m}^3$
- ◆ Remblai sur le dalot en béton bitumineux : $\gamma_{bb} = 24 \text{ kN/m}^3$
- ◆ Coefficient de poussée des terres $K_a = 0,33$

Annexe 10: Charges routières

❖ Surcharges routières

En fonction de la destination de l'ouvrage, les charges d'exploitation prises en considération (conformément au Fascicule 61, Titre II) pour le dimensionnement des différents ouvrages sont les suivants :

- ◆ le système de charge A ;
- ◆ le système de charges B ;
- ◆ le convoi militaire Mc120 ;

✚ Quelques définitions

Avant de procéder à l'étude de ces chargements, nous allons définir tout d'abord certaines notions qui seront utiles par la suite. Toutes les parties du tablier ne sont pas forcément à charger par les charges de chaussée. Il faut donc définir une largeur chargeable qui se déduit elle-même de la largeur roulable (L_r) qui est la largeur de tablier comprise entre dispositifs de retenue ou bordures. Elle comprend donc la chaussée proprement dite et les surlargeurs éventuelles telles que les bandes d'arrêt d'urgence, bandes dérasées, etc.

✚ Largeur roulable

$L_r = \text{largeur du tablier} - 2 \times \text{largeur du trottoir}$

$L_r = 24 - 0$ car pas de trottoirs

$L_r = 24 \text{ m}$

✚ Largeur chargeable

Elle est définie par la formule suivante :

$$L_{ch} = L_r - 2 \times 0,5$$

Présence de bordure et pas de dispositifs de retenue alors $L_{ch} = L_r$

La largeur chargeable de notre ouvrage est donc $L_{ch} = 24 \text{ m}$

✚ Le nombre de voies

Par convention, les chaussées comportent un nombre de voies (N_v) de circulation égale à la partie entière du quotient par 3 de leur largeur chargeable, exprimée en mètre.

$$N_v = E \left(\frac{L_{ch}}{3} \right)$$

$$N_v = E \left(\frac{24}{3} \right)$$

$$N_v = 8$$

Toutefois, les chaussées dont la largeur chargeable est comprise entre 5 m inclus, et 6m sont considérées comme comportant deux voies de circulation.

✚ Largeur d'une voie

Elle est donnée par la formule suivante :

$$V = \frac{L_{ch}}{8} = \frac{24}{8}$$

$$V = 3 \text{ m}$$

✚ Classe des ponts

Les ponts sont rangés en trois classes suivant leur largeur roulable L_r et leur destination (les ponts sur lesquels il risque d'y avoir accumulation de poids lourds, tels que certains ponts urbains ou en zone industrielle) :

- 1ère classe : $L_r \geq 7\text{m}$ ou exception ;
- 2ème classe : $5,5 < L_r < 7\text{m}$;
- 3ème classe : $L_r \leq 5,5\text{m}$.

Avec $L_r = 24 \text{ m} > 7 \text{ m}$, notre ouvrage est de 1ère classe

✚ Calcul des surcharges

◆ Système A

Ce système se compose des charges uniformément réparties d'intensité variable suivant la longueur surchargée et qui correspondent à une ou plusieurs files de véhicules à l'arrêt sur l'ouvrage. Elles représentent un embouteillage ou un stationnement, ou bien tout simplement une circulation continue à une vitesse à peu près uniforme d'un flot de véhicules composé de voitures légères et de poids lourds. $A(l)$ est donnée par la formule suivante :

$$A(l) = \max \left(a_1 \times \left(2,3 + \frac{360}{1+12} \right); 0,4 - \frac{0,2 \times l}{10000} \right) \text{ en kN/m}^2$$

Avec a_1 le coefficient de correction et l la longueur surchargée.

Coefficient a_1

Le coefficient a_1 est donné par le tableau suivant :

Tableau 34: coefficient de correction du système A

Nombres de voies		1	2	3	≥ 4
Classe de l'ouvrage	1ère	1	1	0,9	0,75
	2ème	1	0,9	-	-
	3ème	0,9	0,8	-	-

Nous avons un pont de première classe comportant deux voies de circulations ; ce qui correspond à $a_1 = 1$

$$A(24) = \max\left(0,75 \times \left(2,3 + \frac{360}{24 + 12}\right); 4 - \frac{0,2 \times 24}{1000}\right)$$

$$A(24) = \max(9,23 ; 3,95)$$

$$A(24) = 9,23 \text{ kN/m}^2$$

Coefficient a_2

a_2 est fonction de v_0 et de v avec

$$V_0 = \begin{cases} 3,5 \text{ m pour pont de 1}^{\text{ère}} \text{ classe} \\ 3 \text{ m pour pont de 2}^{\text{ème}} \text{ classe} \\ 2,75 \text{ m pour pont de 3}^{\text{ème}} \text{ classe} \end{cases}$$

Notre ouvrage est de la 1^{ère} classe d'où $v_0 = 3,5 \text{ m}$

$$a_2 = \frac{v_0}{v} = \frac{3,5}{3}$$

$$a_2 = 1,17$$

$$\text{A l'ELS: } A(24) = 1,2 \times 1,17 \times 9,23 = 12,96 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{A l'ELU: } A(24) = 1,61 \times 1,17 \times 9,23 = 17,39 \text{ kN/m}^2$$

◆ Le système B

Les surcharges de type B sont composées de 3 systèmes distincts :

- le système Bc se compose de camions types ;
- le système Bt se compose de groupes de 2 essieux (essieux-tandems) ;
- le système Br est une roue isolée.

Parmi ces trois systèmes, seuls les deux premiers seront considérés pour le dimensionnement de notre ouvrage.

Les surcharges du système B, Q_B sont données par la formule suivante :

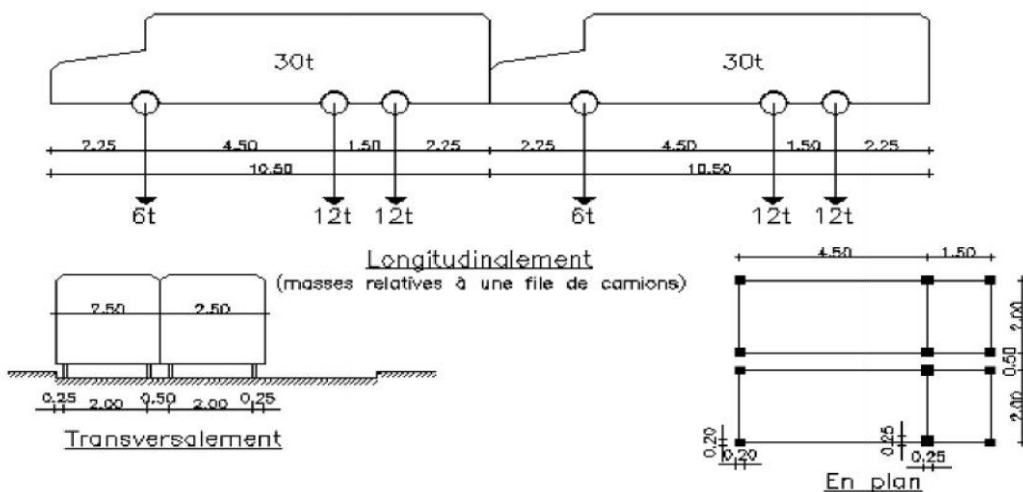
$Q_B = \max\{Q_{bc}; Q_{bcNiger}; Q_{br}; Q_{bt}\}$	<ul style="list-style-type: none"> • $Q_{bc} = \gamma_q \cdot b_c \cdot \delta \cdot B_c$, Charge du au système BC • $Q_{bc\ niger} = \gamma_q \cdot b_c \cdot \delta \cdot B_{cniger}$, Charge due au système Bcniger • $Q_{bt} = \gamma_q \cdot b_t \cdot \delta \cdot B_t$, charge du au système Bt • $Q_{br} = \gamma_q \cdot \delta \cdot B_r$, Charge du au système Br
---	--

◆ Système Bc

Selon le fascicule 61 titre II, le convoi Bc se compose d'un ou au maximum de deux camions types par file. Dans le sens transversal le nombre de files est inférieur ou égal au nombre de voies. L'axe de la file de roues la plus excentrée doit rester à une distance minimale du bord de la largeur roulable, égale à 0,75 m s'il s'agit d'un dispositif de sécurité, et 0,25 m s'il s'agit d'une bordure.

Les caractéristiques du convoi Bc sont présentées dans la figure ci-après. Les charges sont données par essieu.

Figure 14:caractéristiques du convoi Bc



En fonction de la classe du pont et du nombre de files considérées, les valeurs des charges du système Bc prises en compte sont multipliées par des coefficients bc données par le fascicule 61 Titre II.

Le coefficient bc est donné dans le tableau suivant

Tableau 35: Coefficient de pondération bc

Nombres de voies		1	2	3	4	≥5
Classes	I	1,2	1,1	0,95	0,8	0,7
	II	1	1	-	-	-
	III	1	0,8	-	-	-

Les coefficients bc prises en compte pour notre ouvrage sont :

- pour une voie chargée bc=1,2
- pour huit voies chargées bc =0,7

$S = n \times m \times bc$ m étant la masse d'un camion Bc et n le nombre de files de camions.

Pour huit voies chargées ; $S = n \times m \times bc = 8 \times 24 \times 0,7$

$$S = 134,4 \text{ t}$$

◆ Calcul de la surface d'encombrement

$$S_c = L_x \times L_y$$

Avec : L_x : sens longitudinal (Un poids unitaire de 12t) ; L_y : sens transversal (deux files de camions,)

$$L_x = 4,5 + \frac{0,25}{2} + \frac{0,25}{2} = 4,75\text{m}$$

$$L_y = 2 \times \left(2 + 0,5 + 2 + \frac{0,25}{2} + \frac{0,25}{2} \right) = 9,5\text{m}$$

$$S_c = 4,75 \times 9,5 = 45,125\text{m}^2$$

◆ La charge surfacique devient :

$$P = \frac{1344}{45,125} = 29,79 \text{ kN/m}^2$$

$$S_{Bc} = 0,8 \times 29,79 = 23,83 \text{ kN/m}^2$$

◆ **Charge du système Bc**

$$Q_{bc} = \gamma_q \cdot b_c \cdot \delta \cdot B_c$$

◆ **Coefficient de majoration dynamique**

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

Avec :

L : la longueur de la travée= 2,5 m

S : surcharge du système Bc

G : Poids total des charges permanentes

◆ **Pour le tablier**

$$G = P1 \times L \times l = 13,6 \times 25 \times 3 = 1020 \text{ kN}$$

$$\delta_b = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 25} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 1020}{1344}} = 1,21$$

$$A'ELS : Q_{bc} = 1,2 \times 1,21 \times 23,83 = 34,60 \text{ kN/m}^2$$

$$A'ELU : Q_{bc} = 1,61 \times 1,21 \times 23,83 = 46,42 \text{ kN/m}^2$$

◆ **Pour le radier**

$$G = P1 \times L \times l = 30,72 \times 25 \times 3 = 2304 \text{ kN}$$

$$\delta_b = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 25} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 2304}{1344}} = 1,14$$

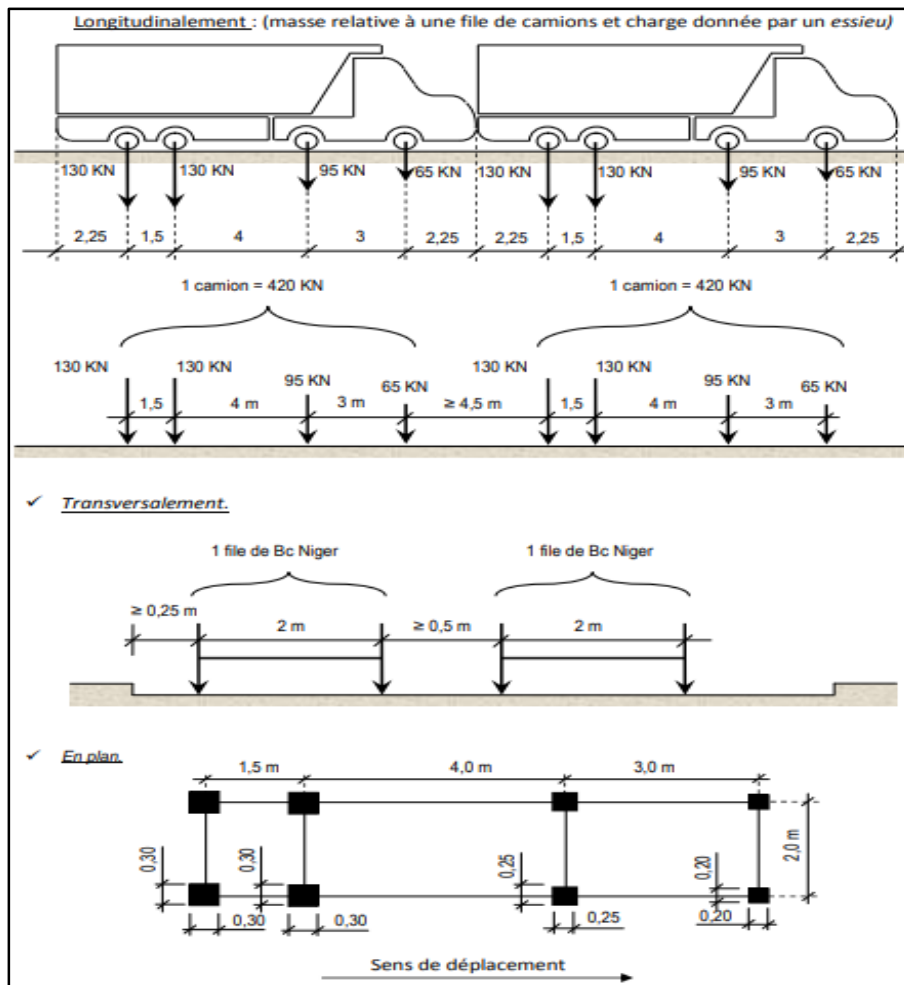
$$A'ELS : Q_{bc} = 1,2 \times 1,14 \times 23,83 = 32,60 \text{ kN/m}^2$$

$$A'ELU : Q_{bc} = 1,61 \times 1,14 \times 23,83 = 43,74 \text{ kN/m}^2$$

Convoi Bc-Niger

Le convoi Bc-Niger qui prend en compte mieux en compte les charges développés par les camions roulant en charge. Ses caractéristiques sont les suivant :

Figure 15: Caractéristiques du convoi Bc-Niger



$$\sum_1^n P = P1 + P2$$

Pour huit voies chargées : $8 \times 26t = 104 t$, alors $\sum_1^2 P = 208 t$

♦ Calcul de la surface d'encombrement

$$Sc = L_x \times L_y$$

Avec :

L_x : sens longitudinal (Un poids unitaire de 12t) ;

L_y : sens transversal (deux files de camions,)

$$L_x = 1,5 + 4 + \frac{0,25}{2} + \frac{0,25}{2} = 5,75m$$

$$L_y = 2 \times \left(2 + 0,5 + 2 + \frac{0,25}{2} + \frac{0,25}{2} \right) = 9,5m$$

$$Sc = 5,75 \times 9,5 = 54,63m^2$$

◆ **La charge surfacique**

$$P = \frac{2080}{54,63} = 38,07 \text{ kN/m}^2$$

$$S_{Bc\text{niger}} = 0,8 \times 38,07 = 30,46 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{bc \text{ niger}} = \gamma_q \cdot b_c \cdot \delta \cdot B_{C\text{niger}}$$

◆ **Coefficient de majoration dynamique**

$$\delta_{bc\text{niger}} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times l_c} + \frac{0,6}{1 + \frac{4G}{S}}$$

Avec :

- G : le poids de l'élément considéré ;
- Lc : la longueur de l'élément en m

◆ **Sur le tablier**

$$G = P1 \times L \times l = 13,6 \times 25 \times 3 = 1020 \text{ kN}$$

$$\delta_{bc\text{niger}} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 25} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 1020}{2080}} = 1,26$$

$$\text{A l'ELS : } Q_{bc \text{ niger}} = 1,2 \times 1,27 \times 30,46 = 46,42 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{A l'ELU : } Q_{bc \text{ niger}} = 1,61 \times 1,27 \times 30,46 = 62,28 \text{ kN/m}^2$$

◆ **Sur le radier**

$$G = P1 \times L \times l = 30,72 \times 25 \times 3 = 2304 \text{ kN}$$

$$\delta_{b \text{ niger}} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 18,4} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 2304}{2080}} = 1,18$$

$$\text{A l'ELS : } Q_{bc \text{ niger}} = 1,2 \times 1,18 \times 30,46 = 43,13 \text{ kN/m}^2$$

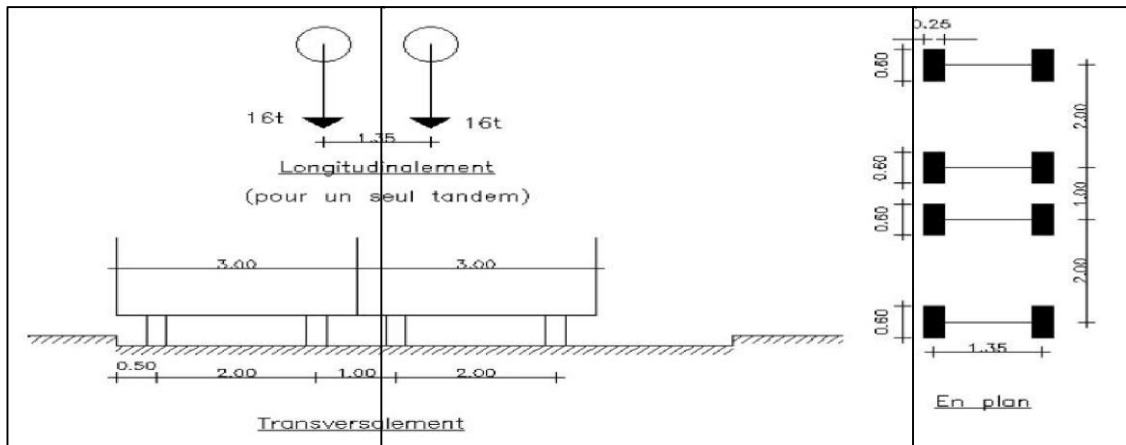
$$\text{A l'ELU : } Q_{bc \text{ niger}} = 1,61 \times 1,18 \times 30,46 = 57,87 \text{ kN/m}^2$$

◆ **Système Bt**

Un tandem du système Bt comporte deux essieux tous deux à roues simples munies de pneumatiques et répondant aux caractéristiques suivantes :

- masse portée par chaque essieu 16 t ;
- distance des deux essieux 1,35 m.

Figure 16: Caractéristiques du convoi Bt



Les valeurs des charges du système Bt prises en compte sont affectées d'un coefficient de pondération b_t égal à 1 pour les ponts de première classe et 0,9 pour les ponts de deuxième classe.

$$\sum_1^n P = P1 + P2 = 32t$$

On a deux files transversalement, ce qui donne : $2 \times 32t = 64t$, alors $\sum_1^2 P = 64t$

Calcul de la surface d'encombrement

$$S_c = L_x \times L_y$$

Avec : L_x : sens longitudinal (Un poids unitaire de 12t) ;

L_y : sens transversal (deux files de camions,)

$$L_x = 1,35 + \frac{0,25}{2} + \frac{0,25}{2} = 1,6m$$

$$L_y = 2 + 1 + 2 + \frac{0,6}{2} + \frac{0,6}{2} = 5,6m$$

$$S_c = 1,6 \times 5,6 = 8,96m^2$$

La charge surfacique devient : $P = \frac{640}{8,96} = 71,43 \text{ kN/m}^2$

$$S_{Bt} = 1 \times 71,43 = 71,43kN/m^2$$

$$Q_{Bt} = \gamma_q \cdot b_t \cdot \delta \cdot B_t$$

◆ **Coefficient de majoration dynamique**

$$\delta_{Bt} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times l_c} + \frac{0,6}{1 + \frac{4G}{S}}$$

Avec :

- G : le poids de l'élément considéré ;
- Lc : la longueur de l'élément en m

◆ **Sur le tablier**

$$G = P_1 \times L \times l = 13,6 \times 25 \times 3 = 1020 \text{ kN}$$

$$\delta_{Bt} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 25} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 1020}{640}} = 1,15$$

$$A \text{ l'ELS} : Q_{Bt} = 1,2 \times 1,15 \times 71,43 = 98,57 \text{ kN/m}^2$$

$$A \text{ l'ELU} : Q_{Bt} = 1,61 \times 1,15 \times 71,43 = 141,45 \text{ kN/m}^2$$

◆ **Sur le radier**

$$G = P_1 \times L \times l = 30,72 \times 25 \times 3 = 2304 \text{ kN}$$

$$\delta_{Bt} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 25} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 2304}{640}} = 1,11$$

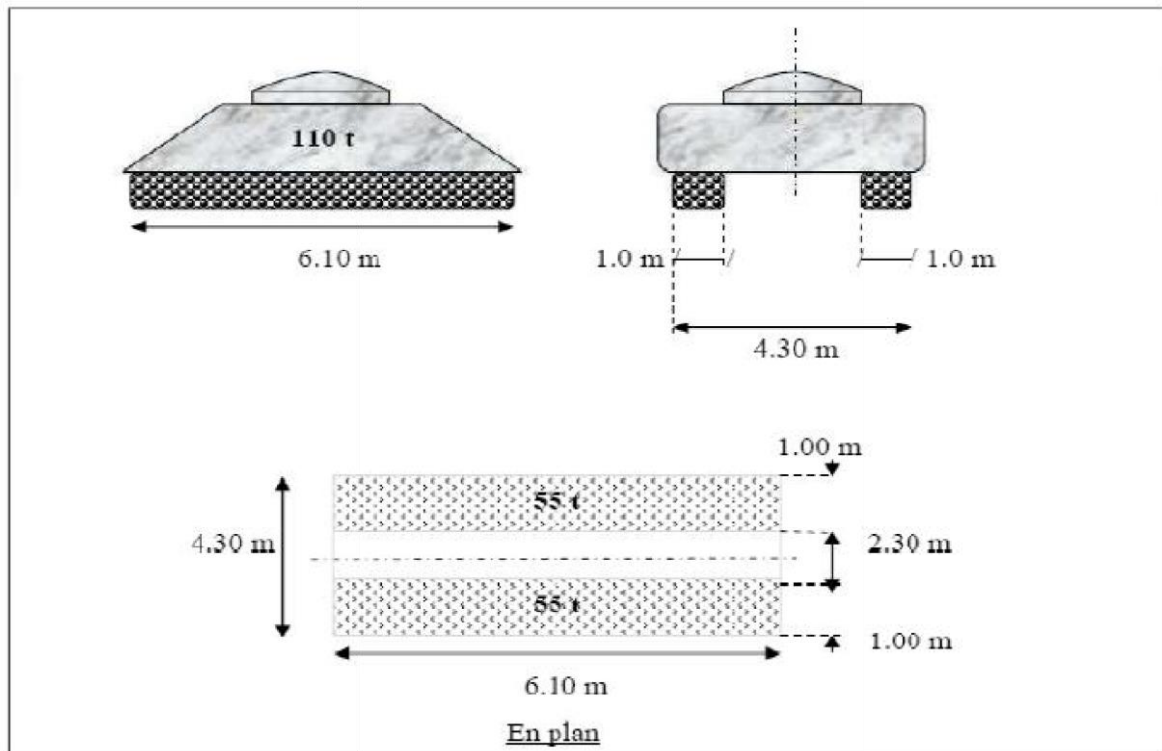
$$A \text{ l'ELS} : Q_{Bt} = 1,2 \times 1,15 \times 71,43 = 95,14 \text{ kN/m}^2$$

$$A \text{ l'ELU} : Q_{Bt} = 1,61 \times 1,11 \times 71,43 = 127,65 \text{ kN/m}^2$$

◆ **Charges militaires Mc120**

Le système Mc120 se compose de véhicules type à chenilles. Il est constitué de deux chenilles de 55t chacune en charge répartie longitudinalement sur 6,10m et distantes l'une de l'autre de 2,30m transversalement.

Figure 17: Caractéristiques du convoi militaire Mc120



$$S = 2 \times 55$$

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

Coefficient de majoration dynamique

◆ Sur le tablier

$$G = 13,6 \times 25 \times 8,5 = 2890 \text{ kN}$$

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

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 20} + \frac{0,6}{1 + 4 \times \frac{2890}{1100}}$$

$$\delta = 1,12$$

La charge à considérer est : $S = 110 \times 1,12 = 123,2 \text{ t}$

Surface d'encombrement

$$A = 6,1 \times 3,3 = 20,13 \text{ m}^2$$

◆ Charge du système Mc120

$$A \text{ l'ELS} : Q_{\text{Mc120}} = (1,2 \times 1,12 \times 1232) / 20,13 = 82,26 \text{ kN/m}^2$$

$$A \text{ l'ELU} : Q_{\text{Mc120}} = (1,61 \times 1,12 \times 1232) / 20,13 = 110,36 \text{ kN/m}^2$$

◆ **Sur le radier**

$$G=30,72 \times 25 \times 3=2304 \text{ kN}$$

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

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 25} + \frac{0,6}{1 + 4 \times \frac{2304}{1100}}$$

$$\delta = 1,13$$

La charge à considérer est : $S = 110 \times 1,13 = 124,3 \text{ t}$

◆ **Surface d'encombrement**

$$A=6,1 \times 3,3=20,13 \text{ m}^2$$

◆ **Charge du système Mc120**

$$A \text{ l'ELS} : Q_{Mc120} = (1,2 \times 1,13 \times 1243)/20,13 = 83,73 \text{ kN/m}^2$$

$$A \text{ l'ELU} : Q_{Mc120} = (1,61 \times 1,13 \times 1243)/20,13 = 112,34 \text{ kN/m}^2$$

Tableau 36: Récapitulatif des charges d'exploitations

Désignations	TABLIER		RADIER	
	ELS (kN/m ²)	ELU (kN/m ²)	ELS (kN/m ²)	ELU (kN/m ²)
A(l)	12,96	17,39	12,96	17,39
Bc	34,6	46,42	32,60	43,74
Bc-Niger	46,42	62,28	43,13	57,87
Bt	98,57	141,45	95,14	132,25
Mc120	82,26	110,36	83,73	112,34
Choix : Bt	98,57	141,45	95,14	132,25

Annexe 11: Dimensionnement du tablier

◆ **Tablier sur appui**

Dimensionnement du tablier sur appui				
Données				
Désignations	Formules		Résultats	Unité
Largeur de du tablier		b=	1	m
Hauteur du tablier		h=	0,25	m
Hauteur utile du tablier		d=	0,23	m
Nuance de l'acier		Fe=	400	MPa
Contrainte de calcul du béton		fc28=	25	MPa
Moment fléchissant à l'ELS		Mser	0,0808	MN.m
Contraintes admissibles				
Désignations	Formules	Symbole	Valeur	unité
Contrainte de compression du béton	$\sigma_{bc} = 0,6 \times f_{c28}$	$\sigma_{bc} =$	15	MPa
Contrainte limite de traction du béton	$f_{t28} = 0,6 + 0,06 \times f_{c8}$	$f_{t28} =$	2,1	MPa
Contrainte limite de traction des aciers FP	$\sigma_{st} = \min \left(\frac{2}{3} f_e; \max \left(\frac{1}{2} f_e; 110 \sqrt{(\eta \times f_{t28})} \right) \right)$	$\sigma_{st} =$	201,6333	MPa
Contrainte limite de traction des aciers FTP	$\sigma_{st} = 0,8 \times \min \left(\frac{2}{3} f_e; \max \left(\frac{1}{2} f_e; 110 \sqrt{(\eta \times f_{t28})} \right) \right)$	$\sigma_{st} =$	161,3067	MPa
Caractéristiques géométriques de la section				

Coefficient de la fibre neutre	$\alpha_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{\sigma_{bc} + \sigma_{st}}$	$\alpha_{ser} =$	1,038621	
Ordonnée de la fibre neutre	$y_{ser} = d \times \alpha_{ser}$	$y_{ser} =$	0,23369	m
Bras de levier	$Z_{ser} = d - \frac{1}{3}y_{ser}$	$Z_{ser} =$	0,147103	m
Moment résistant du béton	$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b \times d^2 \times \sigma_{bc} \times \alpha_{ser} \times \left(1 - \frac{1}{3}\alpha_{ser}\right)$	$M_{serb} =$	0,257824	MN.m
Conclusion	Pas d'armatures comprimées OK!			
Calcul de la section théorique des aciers				
Section d'acier tendu	$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \sigma_{st}}$	$A_{st} =$	27,24121	cm ²
Ast/nappe	Ast/2	Ast/nappe	13,6206	cm ²
Section minimale d'acier	$A_{smin} = 0,23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$	$A_{smin} =$	2,716875	cm ²
	Choix des aciers	7HA16; esp=15 cm		
	Sections réelles d'acier	14,07 cm ²		
Acier de répartition	Ar=Ast/3	Ar=	4,69	cm ²
	Choix des aciers	6HA10; esp=15 cm		
	Sections réelles d'acier	4,71 cm ²		

◆ **Tablier en travée**

Données				
Désignations	Formules		Résultats	Unité
Largeur de du tablier		b=	1	m
Hauteur du tablier		h=	0,25	m
Hauteur utile du tablier		d=	0,23	m
Nuance de l'acier		Fe=	400	MPa
Contrainte de calcul du béton		fc28=	25	MPa
Moment fléchissant à l'ELS		Mser	0,0499	MN.m
Contraintes admissibles				
Désignations	Formules	Symbole	Valeur	unité
Contrainte de compression du béton	$\sigma_{bc} = 0,6 \times f_{c28}$	$\sigma_{bc} =$	15	MPa
Contrainte limite de traction du béton	$f_{t28} = 0,6 + 0,06 \times f_{c8}$	$f_{t28} =$	2,1	MPa
Contrainte limite de traction des aciers FP	$\sigma_{st} = \min\left(\frac{2}{3}f_e; \max\left(\frac{1}{2}f_e; 110\sqrt{(\eta \times f_{t28})}\right)\right)$	$\sigma_{st} =$	201,6333	MPa
Contrainte limite de traction des aciers FTP	$\sigma_{st} = 0,8 \times \min\left(\frac{2}{3}f_e; \max\left(\frac{1}{2}f_e; 110\sqrt{(\eta \times f_{t28})}\right)\right)$	$\sigma_{st} =$	161,3067	MPa

Caractéristiques géométriques de la section				
Coefficient de la fibre neutre	$\alpha_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{\sigma_{bc} + \sigma_{st}}$	$\alpha_{ser} =$	1,038621	
Ordonnée de la fibre neutre	$y_{ser} = d \times \alpha_{ser}$	$y_{ser} =$	0,23369	m
Bras de levier	$Z_{ser} = d - \frac{1}{3}y_{ser}$	$Z_{ser} =$	0,147103	m
Moment résistant du béton	$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b \times d^2 \times \sigma_{bc} \times \alpha_{ser} \times \left(1 - \frac{1}{3}\alpha_{ser}\right)$	$M_{serb} =$	0,257824	MN.m
Conclusion	Pas d'armatures comprimées OK!			
Calcul de la section théorique des aciers				
Section d'acier tendu	$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \sigma_{st}}$	$A_{st} =$	16,82347	cm ²
Ast/nappe	Ast/2	Ast/nappe=	8,41	cm ²
Section minimale d'acier	$A_{smin} = 0,23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$	$A_{smin} =$	2,72	cm ²
	Choix des aciers	6HA 14; esp=15 cm		
	Sections réelles d'acier	9,24 cm ²		
Acier de répartition	Ar=Ast/3	Ar=	3,08	cm ²
	Choix des aciers	6HA10; esp=15 cm		
	Sections réelles d'acier	4,71 cm ²		

Annexe 12: Dimensionnement du radier

◆ Radier en appui

Données				
Désignations	Formules		Résultats	Unité
Largeur de du tablier		b=	1	m
Hauteur du tablier		h=	0,25	m
Hauteur utile du tablier		d=	0,23	m
Nuance de l'acier		Fe=	400	MPa
Contrainte de calcul du béton		fc28=	25	MPa
Moment fléchissant à l'ELS		Mser	0,0849	MN.m
Contraintes admissibles				
Désignations	Formules	Symbole	Valeur	unité
Contrainte de compression du béton	$\sigma_{bc} = 0,6 \times f_{c28}$	$\sigma_{bc} =$	15	MPa
Contrainte limite de traction du béton	$f_{t28} = 0,6 + 0,06 \times f_{c8}$	$f_{t28} =$	2,1	MPa
Contrainte limite de traction des aciers FP	$\sigma_{st} = \min \left(\frac{2}{3} f_e; \max \left(\frac{1}{2} f_e; 110 \sqrt{(\eta \times f_{t28})} \right) \right)$	$\sigma_{st} =$	201,6	MPa

Contrainte limite de traction des aciers FTP	$\sigma_{st} = 0,8 \times \min\left(\frac{2}{3} f_e; \max\left(\frac{1}{2} f_e; 110\sqrt{(\eta \times f_{t28})}\right)\right)$	$\sigma_{st} =$	161,3067	MPa
Caractéristiques géométriques de la section				
Coefficient de la fibre neutre	$\alpha_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{\sigma_{bc} + \sigma_{st}}$	$\alpha_{ser} =$	1,038621	
Ordonnée de la fibre neutre	$y_{ser} = d \times \alpha_{ser}$	$y_{ser} =$	0,23369	m
Bras de levier	$Z_{ser} = d - \frac{1}{3} y_{ser}$	$Z_{ser} =$	0,147103	m
Moment résistant du béton	$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b \times d^2 \times \sigma_{bc} \times \alpha_{ser} \times \left(1 - \frac{1}{3} \alpha_{ser}\right)$	$M_{serb} =$	0,257824	MN.m
Conclusion	Pas d'armatures comprimées OK!			
Calcul de la section théorique des aciers				
Section d'acier tendu	$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \sigma_{st}}$	$A_{st} =$	28,62	cm ²
Ast/nappe	Ast/2	Ast/nappe=	14,31	cm ²
Section minimale d'acier	$A_{smin} = 0,23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$	$A_{smin} =$	2,72	cm ²
	Choix des aciers	8HA16; esp=12,5 cm		
	Sections réelles d'acier	16,08 cm ²		
Acier de répartition	Ar=Ast/3	Ar=	5,36	cm ²
	Choix des aciers	5HA12; esp=20 cm		
	Sections réelles d'acier	5,65 cm ²		

◆ Radier en travée

Données				
Désignations	Formules		Résultats	Unité
Largeur de du tablier		b=	1	m
Hauteur du tablier		h=	0,25	m
Hauteur utile du tablier		d=	0,23	m
Nuance de l'acier		Fe=	400	MPa
Contrainte de calcul du béton		fc28=	25	MPa
Moment fléchissant à l'ELS		Mser	0,0545	MN.m
Contraintes admissibles				
Désignations	Formules	Symbole	Valeur	unité
Contrainte de compression du béton	$\sigma_{bc} = 0,6 \times f_{c28}$	$\sigma_{bc} =$	15	MPa
Contrainte limite de traction du béton	$f_{t28} = 0,6 + 0,06 \times f_{c8}$	$f_{t28} =$	2,1	MPa
Contrainte limite de traction des aciers FP	$\sigma_{st} = \min \left(\frac{2}{3} f_e; \max \left(\frac{1}{2} f_e; 110 \sqrt{(\eta \times f_{t28})} \right) \right)$	$\sigma_{st} =$	201,6333	MPa
Contrainte limite de traction des aciers FTP	$\sigma_{st} = 0,8 \times \min \left(\frac{2}{3} f_e; \max \left(\frac{1}{2} f_e; 110 \sqrt{(\eta \times f_{t28})} \right) \right)$	$\sigma_{st} =$	161,3067	MPa
Caractéristiques géométriques de la section				

Coefficient de la fibre neutre	$\alpha_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{\sigma_{bc} + \sigma_{st}}$	$\alpha_{ser} =$	1,038621	
Ordonnée de la fibre neutre	$y_{ser} = d \times \alpha_{ser}$	$y_{ser} =$	0,23369	m
Bras de levier	$Z_{ser} = d - \frac{1}{3}y_{ser}$	$Z_{ser} =$	0,147103	m
Moment résistant du béton	$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b \times d^2 \times \sigma_{bc} \times \alpha_{ser} \times \left(1 - \frac{1}{3}\alpha_{ser}\right)$	$M_{serb} =$	0,257824	MN.m
Conclusion	Pas d'armatures comprimées OK!			
Calcul de la section théorique des aciers				
Section d'acier tendu	$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \sigma_{st}}$	$A_{st} =$	18,37433	cm ²
Ast/nappe	$A_{st}/2$	Ast/nappe=	9,19	cm ²
Section minimale d'acier	$A_{smin} = 0,23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$	$A_{smin} =$	2,72	cm ²
	Choix des aciers	8HA14; esp=1,5 cm		
	Sections réelles d'acier	12,31 cm ²		
Acier de répartition	$A_r = A_{st}/3$	$A_r =$	4,10	cm ²
	Choix des aciers	6HA10; esp=15 cm		
	Sections réelles d'acier	4,71 cm ²		

Annexe 13: Dimensionnement des piédroits

◆ Piédroit de rive

Données				
Désignations	Formules		Résultats	Unité
Largeur du piédroit		b=	1,00	m
Longueur du piédroit		L=	2,50	m
Hauteur du piédroit		h=	0,25	m
Hauteur utile du tablier	d=0,9h	d=	0,23	m
Contrainte de l'acier		Fe=	400,00	MPa
Contrainte caractéristique du béton à la compression		fc28=	25,00	MPa
Moment fléchissant à l'ELS		Mser	0,04	MN.m
Effort normal Nser		Nser	0,15	MN
Moment fléchissant à l'ELU		Mu	0,05	MN.m
Effort normal à l'ELU Nu		Nu	0,45	MN
Contraintes admissibles				
Désignations	Formules	Symbole	Valeur	unité
Contrainte de compression du béton à l'ELS	$\sigma_{bc} = 0,6 \times f_{c28}$	$\sigma_{bc} =$	15,00	MPa

Contrainte de compression du béton à l'ELU	$f_{bu} = \frac{0,85 \times f_{c28}}{\theta \times \gamma_b}$	$f_{bu} =$	14,17	MPa
Contrainte limite de traction du béton	$f_{t28} = 0,6 + 0,06 \times f_{c8}$	$f_{t28} =$	2,10	MPa
Contrainte limite de traction des aciers FP	$\sigma_{st} = \min \left(\frac{2}{3} f_e; \max \left(\frac{1}{2} f_e; 110 \sqrt{(\eta \times f_{t28})} \right) \right)$	$\sigma_{st} =$	201,63	MPa
Contrainte limite de traction des aciers FTP	$\sigma_{st} = 0,8 \times \min \left(\frac{2}{3} f_e; \max \left(\frac{1}{2} f_e; 110 \sqrt{(\eta \times f_{t28})} \right) \right)$	$\sigma_{st} =$	161,31	MPa
Caractéristiques géométriques de la section				
Coefficient de la fibre neutre	$\alpha_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{\sigma_{bc} + \sigma_{st}}$	$\alpha_{ser} =$	1,04	
Ordonnée de la fibre neutre	$y_{ser} = d \times \alpha_{ser}$	$y_{ser} =$	0,23	m
Bras de levier	$Z_{ser} = d - \frac{1}{3} y_{ser}$	$Z_{ser} =$	0,15	m
Calcul des excentricités				
Excentricité e	$e_1 = \frac{M_u}{N_u}$	e1=	0,25	m
Excentricité additionnelle e _a	$e_a = \max \left(2 \text{ cm}; \frac{1}{250} \right)$	ea=	0,02	m
Excentricité due aux efforts du second ordre e ₂	$e_2 = \frac{3 \times L_f^2}{10000 \times h} \times (2 + \alpha\varphi)$	e2	-0,01	m
Excentricité totale e	$e = e_1 + e_2 + e_a$	e=	0,25	m

Coefficient de remplissage de diagramme	$\Psi = \frac{N_u}{b \times h \times f_{bu}}$	Ψ	0,13	
$\xi \left(0,81 > \frac{2}{3} > \psi\right)$	$\xi = \frac{1 + \sqrt{(9 - 12 \times \Psi)}}{4(3 + \sqrt{9 - 12\Psi})}$	ξ	0,16	
e_{NC}	$e_{NC} = \xi \times h$	$e_{NC=}$	0,04	
Etat de la section du béton	Section partiellement comprimée			
Moment fictif	$M_{\text{fictif}} = N_{\text{ser}} \times (e + d - 0,5 \times h)$	$M_{\text{fictif}} =$	0,05	MN.m
Moment résistant du béton	$M_{\text{serb}} = \frac{1}{2} \times b \times d^2 \times \sigma_{bc} \times \alpha_{\text{ser}} \times \left(1 - \frac{1}{3} \alpha_{\text{ser}}\right)$	$M_{\text{serb}} =$	0,2578242	MN.m
On a $M_{\text{ser}} < M_{\text{serb}}$, la section du béton est suffisante pour reprendre les efforts. D'où pas d'aciers comprimés				
Section d'acier	$A_{\text{st}} = \frac{M_{\text{fictif}}}{Z \times \sigma_{\text{st}}} - \frac{N_{\text{ser}}}{\sigma_{\text{st}}}$	$A_{\text{st}} =$	10,49	
Section minimale d'acier	$A_{\text{smin}} = 0,23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$	A_{smin}	2,72	cm ²
Ast/nappe	$A_{\text{st}}/2$	$A_{\text{st}}/\text{nappe} =$	5,25	cm ²
	Choix des aciers	5HA12; esp=20 cm		
	Sections réelles d'acier	5,65		cm ²
Acier de répartition	$A_r = A_{\text{st}}/3$	$A_r =$	1,88	cm ²
	Choix des aciers	5HA10; esp=20cm		
	Sections réelles d'acier	3,93 cm ²		

◆ Piédroit intermédiaire

Sections d'acier des piédroits intermédiaires			
Désignations	application linéaire		Résultats
Effort normal	Nu	448,36	0,44836
Section réduite	Br (m ²)	Br = (h-0,02)(b-0,02)	0,2254
	λ	$\lambda = 3,5 \times lf/a$	43,75
	α	$\alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2 \times \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2}$	0,6476
Acier comprimés	Asc	$Asc = \frac{Y_s}{f_e} \left(\frac{Nu}{\alpha} - \frac{Br \times f_{c28}}{0,9Br} \right)$	-0,01
		$4U$	10,00
		$\frac{0,2 \times B}{100}$	5,00
Acier min		$Asc_{min} = \max\left(4U; \frac{0,2 \times B}{100}\right)$	10,00
condition de non fragilité	$A_{stmin} (cm^2)$	$A_{stmin} = \max\left(\frac{bh}{100}; \frac{0,23 b d f_{tj}}{f_e}\right)$	2,72
Acier	$A_{st} (cm^2)$	$\max(A_s; A_{stmin})$	10,00
Acier par nappe	Ast/nappe	Ast/2	5,00
	choix	Asc	5HA12, esp=20 cm soit 5,65 cm ²
Section d'acier de répartition	$A_r (cm^2)$	$A_r = A_{st}/3$	1,88
Acier			5HA10, esp=20 cm Soit 3,93cm ²

Annexe 14: Dimensionnement du mur en aile**Tableau 37: Forces et moments sur le mur en aile**

		Actions horizontales Rh (kN/ml)	Actions verticales (kN/ml)	Moment/A (kNm/m)
G	Semelle (1)		$2,5 \times 0,25 \times 25 = 15,63$	$x 1,25 = -19,54$
	Voile (2)		$2,5 \times 0,25 \times 25 = 15,63$	$x 1,125 = -19,54$
	Totale 1+2		31,26	38,08
	Terre amont		$0,75 \times 2,75 \times 20 = 41,25$	$x 1,125 = -46,41$
	Terre aval		$0,5 \times 0,4 \times 20 = 4$	$x 0,25 = 1$
	Poussée de terre	$0,33 \times 20 \times \frac{2,95^2}{2} = 28,72$		$x 0,98 = 28,15$
Q	Charge Exploit.		$10 \times 0,75 = 7,5$	$x 1,5 = -11,25$
	Poussée charge exploit.	$0,33 \times 10 \times 2,95 = 9,72$		$x 1,475 = 14,34$
Total		Rh=38,44	Rv=84,01	23,91

 **Vérification de la stabilité du mur**
 **Stabilité au renversement**

La stabilité au renversement est vérifiée si et seulement si le rapport des moments stabilisant M_s par les moments renversants M_r est supérieur ou égale à 1,5.

$$M_s = 38,08 + 46,41 + 1 + 11,25 = 96,74 \text{ kNm/m}$$

$$M_r = 28,15 + 14,34 = 42,49 \text{ kNm/m}$$

$$F_s = \frac{M_s}{M_r} = \frac{96,74}{42,49} = 2,28 > 1,5; \text{ la stabilité au renversement est donc vérifiée}$$

 **Stabilité au glissement**

Cette stabilité est assurée si le rapport des forces stabilisatrices (forces verticales) R_v sur les forces renversantes (forces horizontales) R_h est 1,5.

$$F_s = \frac{R_v}{R_h} = \frac{84,01}{38,44} = 2,19 > 1,5 \text{ donc la stabilité au glissement est vérifiée}$$

✚ Calcul des armatures de la semelle

◆ Calcul du patin

Le calcul des armatures du patin se fait en flexion simple et l'on néglige le remblai là-dessus.

$$e_A = \frac{M/A}{R_v} = \frac{23,91}{84,01} = 0,28 \text{ m}$$

$$\sigma = \frac{R_v}{2 \times e_A} = \frac{84,01}{2 \times 0,28} = 150,02 \text{ kN/m}^2$$

Moment de flexion à l'ELS M_{ser}

$$M_{ser} = \sigma \times \frac{l^2}{2} = 150,02 \times \frac{0,5^2}{2} = 18,75 \text{ kN.m} = 0,01875 \text{ MN.m}$$

$M_{serb}=0, 21\text{MN.m} > 0,01875 \text{ MN.m}$ alors pas d'armatures comprimées, $A_{sc}=0$

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z \times \sigma_{st}} = \frac{18,75}{0,185 \times 200} \times 10 = 5,07 \text{ cm}^2$$

$$A_{stmin} = \frac{0,23 \times b \times d \times f_{t28}}{f_e} = \frac{0,23 \times 1 \times 0,9 \times 0,25 \times 2,1}{400} = 2,72 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{st}/nappe = \frac{A_{st}}{2} = \frac{5,07}{2} = 2,54 \text{ cm}^2$$

$A_{st}/nappe < A_{stmin}$, considérons A_{stmin}

Choix des aciers : 5HA10 (3,93 cm²), esp=20 cm

$A_r = A_{st}/2 < A_{stmin}$ donc $A_r = A_{stmin}$

$A_r = 2,72 \text{ cm}^2$

Choix des aciers : 5HA10 (3,93 cm²), esp=20 cm

◆ Calcul du talon

La contrainte σ_1 exercée sur le talon est calculée de la façon suivante :

$$\sigma_1 = 2,6 \times 20 + 10 = 62 \text{ kN/m}^2$$

La contrainte σ_2 exercée sous le talon :

$$\sigma_2 = \frac{R_v}{2 \times e_A} = 150,02 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{\text{ser}} = \sigma_1 \times \frac{l^2}{2} - \sigma_2 \times \frac{l'^2}{2} = 62 \times \frac{1,125^2}{2} - 150,02 \times \frac{0,19^2}{2} = 39,23 - 2,71 = 36,52$$

$M_{\text{serb}}=0, 21 \text{ MN.m} > 0,03652 \text{ MN.m}$ alors pas d'armatures comprimées, $A_{\text{sc}}=0$

$$A_{\text{st}} = \frac{M_{\text{ser}}}{Z \times \sigma_{\text{st}}} = \frac{0,03652}{0,185 \times 200} = 9,87 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 9,87 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{stmin}} < A_{\text{st}}$$

$$A_{\text{st/nappe}} = \frac{A_{\text{st}}}{2} = \frac{9,87}{2} = 4,94 \text{ cm}^2$$

Choix des aciers : 5HA12 (5,65 cm²), esp=20 cm

$$A_r = A_{\text{st}}/2 = 2,83 \text{ cm}^2$$

$$A_r = 2,83 \text{ cm}^2$$

Choix des aciers : 5HA10 (3,93 cm²), esp=20 cm

◆ **Calcul du voile**

Tableau 38: Calcul des armatures du voile

Désignations	Formule	S1	S4	S5	S6
h		2,75	1,83	1,375	0,91
e		0,25	0,25	0,25	0,25
P.p voile N (kN/m)	$h \times e \times \gamma_b$	17,19	11,44	8,59	5,69
Poussée des terres V (kN/m)	$(K_a \times \gamma_r \times h^2)/2$	24,96	11,05	6,24	2,73
Moments M_G des poussées (kN.m)	$V \times 1/3 h$	22,88	6,74	2,86	0,83
Surcharges Q (KN/m)	$K_a \times q \times h$	9,08	6,04	4,54	3
Moment M_q (kN.m)	$Q \times h/2$	12,49	5,53	3,12	1,37
Mser	MG+MQ	35,37	12,27	5,98	2,2
Excentricité e_{ser}	$e_{ser} = M_{ser}/N_{ser}$	2,06	1,07	0,7	0,39
L'épaisseur étant constante, alors nous alors considérer les sollicitations de la section S1 pour les calculs.					
M_{rserb} (KN.m)	$M_{serb} = \frac{1}{2} b d^2 \times \overline{\sigma}_{bc} \times \overline{\alpha}_{ser} \left(1 - \frac{\overline{\alpha}_{ser}}{3}\right)$	257,99	257,99	257,99	257,99
On constate que $M_{serb} > M_{ser}$					
Bras de levier Z	$Z_{ser} = d \left(1 - \frac{\overline{\alpha}_{ser}}{3}\right)$	0,147			
Ast (cm ²)	$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \overline{\sigma}_{st}}$	11,93 cm ²			
Amin	$A_{smin} = \frac{0,23 \times b \times d \times f_{t28}}{f_e}$	2,72 cm ²			
Ast/nappe	Ast/2	5,97 cm ²			
Choix des aciers		6HA 12, (6,79 cm²) esp=15cm			
Ar (cm ²)	Ast _{réel} /3	2,23 cm ² < Astmin			
Choix		6HA 8, (3.02 cm²), esp=15 cm			

Annexe 15: Évaluation financière du projet

N°	Désignations	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant (FCFA)
I	POSTE I : INSTALLATION ET REPLI DE CHANTIER				
I.1	Amenée et Repli des installations de chantier pour les besoins de l'entrepreneur	ff	1	60 000 000	60 000 000
I.2	Installation de la Centrale de Concassage	ff	1	75 000 000	75 000 000
I.3	Installation de la Centrale de béton	ff	1	50 000 000	50 000 000
I.4	Installation de la Centrale d'enrobage	ff	1	150 000 000	150 000 000
I.5	Préparation et entretien des déviations en terre	km	2	1 675 000	3 350 000
	SOUS - TOTAL POSTE I : INSTALLATION ET REPLI DE CHANTIER				338 350 000
II	POSTE II : TRAVAUX PREPARATOIRES				
II.1	Débroussaillage et Nettoyage de l'emprise	m2	500 000	1200	600 000 000
II.2	Décapage de la terre végétale	m2	150 000	300	45 000 000
	SOUS - TOTAL POSTE II : TRAVAUX PREPARATOIRES				645 000 000
III	POSTE III : TERRASSEMENTS				
III.1	Purges ponctuelles avec substitution de matériaux	m3	22 500	10 000	225 000 000
III.2	Remblais de terre végétale pour terre-plein central	m3	48 962	5 000	244 811 500
III.3	Couche de forme sur 33 cm	m3	29 918	4 375	130 892 125

	SOUS - TOTAL POTSE III : TERRASSEMENTS				600 703 625
IV	POSTE VI : CHAUSSEE				
IV.1	Fourniture et mise en œuvre de matériaux latéritiques	m3	150 000	8500	1 275 000 000
IV.2	Fourniture et mise en œuvre de la latérite amélioré au concassé pour couche de fondation sur 23 cm	m3	19 457	50 000	972 835 000
IV.3	Fourniture et mise en œuvre de la grave bitume pour couche de base sur 11 cm	m3	10 934	200 000	2 186 840 000
IV.4	Fourniture et mise en œuvre de béton bitumineux (ép : 5 cm)	m3	3 751	250 000	937 625 000
IV.5	Fourniture et mise en œuvre de la couche d'imprégnation pour chaussée	m2	80 000	2 500	200 000 000
IV.6	Fourniture et pose de bordure de chaussée T2	ml	10 000	22 000	220 000 000
IV.7	Fourniture et pose de bordure de chaussée T3	ml	10 000	25 000	250 000 000
IV.8	Plus-value de transport de matériaux de chaussée	m3xkm	563	700	394 100
	SOUS - TOTAL POSTE IV : CHAUSSEE				6 042 694 100
V	POSTE V : OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT ET DE DRAINAGE				
V.1	Exécution de fossés triangulaire	ml	7 850	1 500	11 775 000
V.2	Béton de propreté dosé à 250 kg/m3 pour les ouvrages				
V.2.1	3x250x200	m3	21	125 000	2 656 250
V.2.2	3x150x150	m3	14	125 000	1 718 750

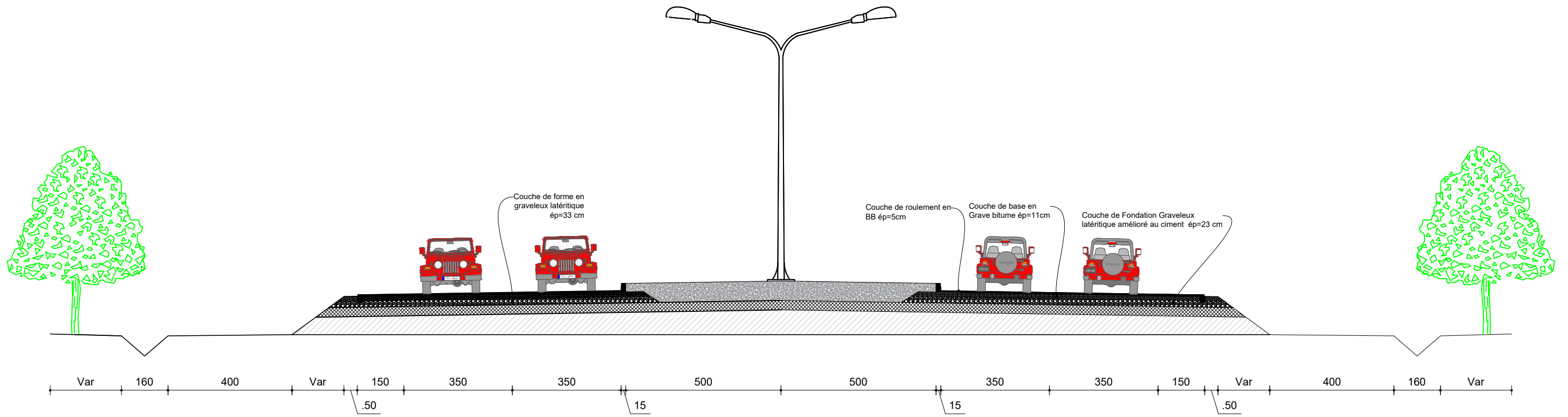
V.2.3	3x150x150	m3	14	125000	1 718 750
V.2.4	2x150x150	m3	10	125000	1 237 500
V.2.5	2x100x100	m3	7	125000	925 000
V.2.6	2x200x150	m3	12	125000	1 550 000
V.2.7	1x150x150	m3	6	125000	687 500
V.3	Béton armé dosé 400 Kg/m3 pour ensemble ouvrages + ouvrages de tête aval et amont de dalots de section				
V.3.1	3x250x200	m3	176	255 000	44 785 650
V.3.2	3x150x150	m3	91	255 000	23 183 160
V.3.3	3x150x150	m3	91	255 000	23 183 160
V.3.4	2x150x150	m3	62	255 000	15 806 700
V.3.5	2x100x100	m3	34	255 000	8 693 685
V.3.6	2x200x150	m3	79	255 000	20 021 820
V.3.7	1x150x150	m3	33	255 000	8 430 240
	SOUS - TOTAL POSTE V : OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT ET DE DRAINAGE				166 373 165
VI	POSTE VI : SIGNALISATION & EQUIPEMENT				
V.1	Peinture rétroréfléchissante pour ligne continue	ml	10 000	2 500	25 000 000
V.2	Peinture rétroréfléchissante pour ligne discontinue (3m, espacement : 10 m)	ml	10 000	2 500	25 000 000

V.3	Peinture rétroréfléchissante pour marques transversales (lignes d'arrêt passage)	ml	85	8 000	680 000
V.5	Panneaux circulaires	u	2	150 000	300 000
V.6	Panneaux triangulaires	u	34	150 000	5 100 000
V.7	Panneaux octogonaux	u	4	150 000	600 000
V.8	Panneaux rectangulaires	u	4	150 000	600 000
V.9	Panneaux d'indication	u	4	150 000	600 000
SOUS - TOTAL POSTE VI : SIGNALISATION & EQUIPEMENT					659 080 000
VII	POSTE VII : MESURES ENVIRONNEMENTALE				
VII.1	PGES	u	1	200 000 000	66 650 000
VII.2	PDRICPA	u	1	500 000 000	170 000 000
SOUS - TOTAL POSTE VII : MESURES ENVIRONNEMENTALE					236 650 000
RECAPITULTIF					
POSTE I : INSTALLATION ET REPLI DE CHANTIER					338 350 000
POSTE II : TRAVAUXPREPARATOIRES					645 000 000
POSTE III : TERRASSEMENTS					600 703 625
POSTE IV: CHAUSSEE					6 042 694 100

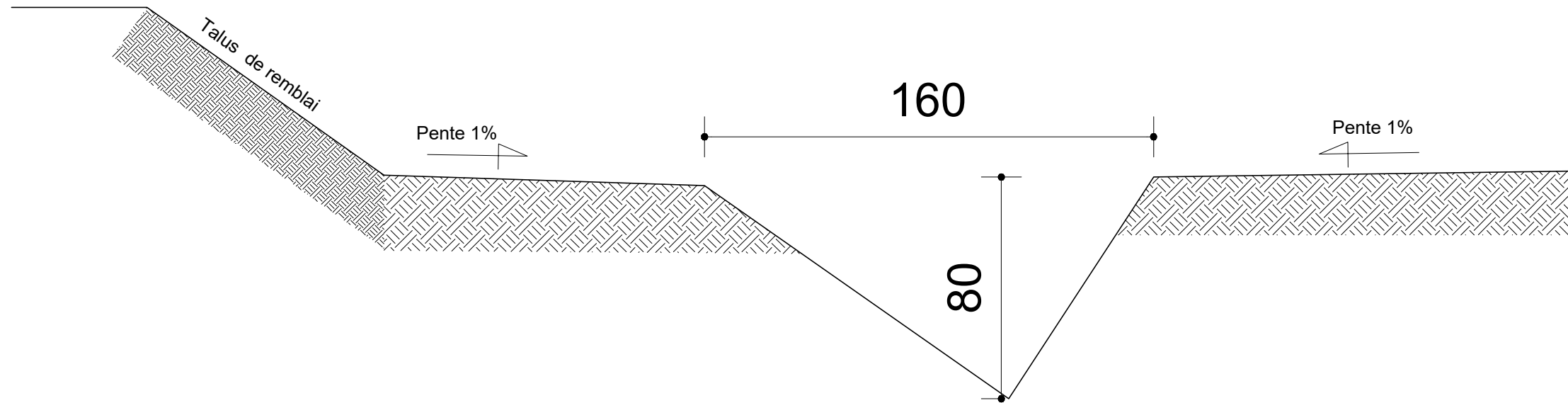
POSTE V: OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT ET DE DRAINAGE	166 373 165
POSTE VI : SIGNALISATION & EQUIPEMENT	659 080 000
POSTE VII : MESURES ENVIRONNEMENTALES	236 650 000
<i>MONTANT TOTAL HT</i>	<i>8 087 650 890</i>
<i>TVA (18%)</i>	<i>1 455 777 160</i>
<i>MONTANT TOTAL +TVA</i>	<i>9 543 428 050</i>



Annexe 16: Pièces graphiques

PROFIL EN TRAVERS TYPE EN REMBLAI



COUPE TRANSVERSALE DU FOSSÉ



	Etude Technique détaillée de la voie de contournement de la ville de Ouagadougou: Cas du tronçon RN1-RN2 et de ses ouvrages de franchissement		
	Dessiné par ZARE Alassane	Format: A3 Echelle: 1/13	



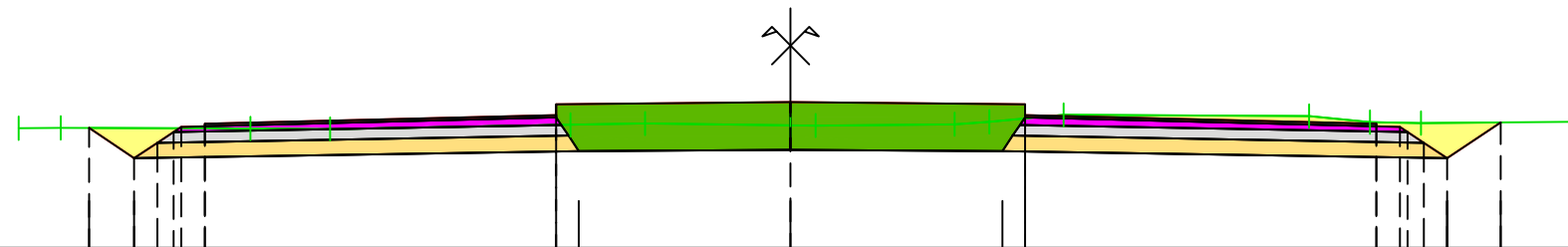
Profil dessiné par AutoPISTE

Axe : RN2-RN1
 Profil n°: P72
 Abscisse : 7+900.00
 Echelle des longueurs : 1/200
 Echelle des altitudes : 1/200

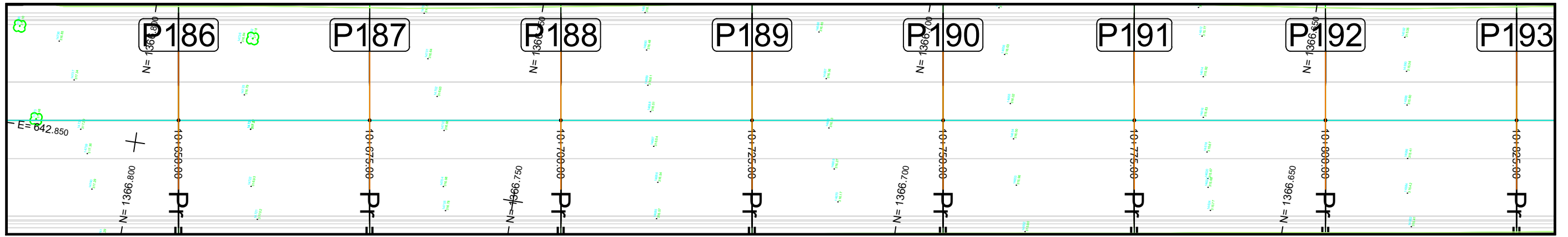
- Déblai
- BB
- GB2
- GNT_0_20
- MTLH
- TERRE VEGETALE

X= 642493.46
 Y= 1369519.45
 Gisement : 295.19 gr

PC : 313.00 m



Altitudes TN	-16.47 - 315.55	-15.57 - 315.56		-11.53 - 315.54	-9.82 - 315.53		-4.70 - 315.62	-3.11 - 315.65	-0.00 - 315.61	0.53 - 315.61		3.50 - 315.64	4.24 - 315.69	5.82 - 315.83		11.07 - 315.81	12.36 - 315.68	13.45 - 315.66		16.65 - 315.69	
Altitudes Projet		315.55	314.91	315.55	315.55	315.55	315.83	316.06	316.11		316.06	319.06	315.83			315.64	315.59	315.59	315.47	314.91	315.67
Distances à l'axe Projet		-14.97	-14.00	-13.51	-13.16	-12.50	-5.00	-5.00	0.00		5.00	5.00				12.50	13.00	13.16	13.51	14.00	15.15
Distances partielles Projet		0.96					7.50		5.00		5.00		7.50							1.14	
Distances à l'axe Arase		-14.97	-14.00				-4.52		0.00		4.52									14.00	15.15
Altitude Arase		315.55	314.91				315.06		315.09		315.06									314.91	315.67



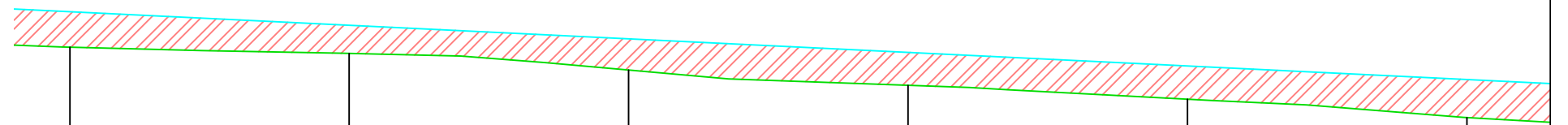
Axe : RN1-RN2

Profil dessiné par AutoPISTE

Echelle en X : 1/500

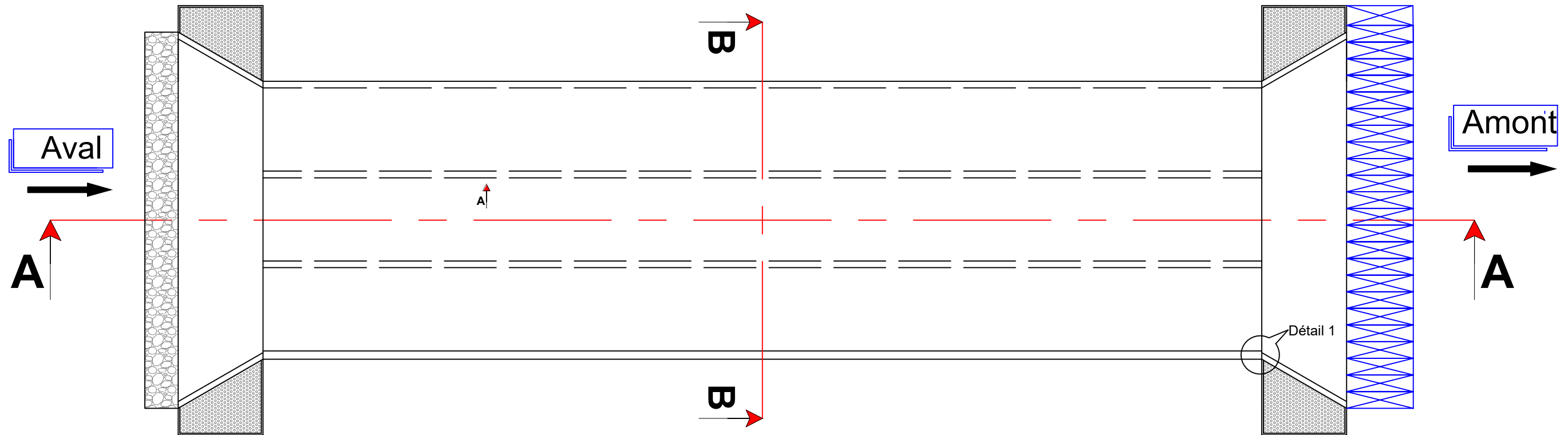
Echelle en Y : 1/100

PC : 313.00 m

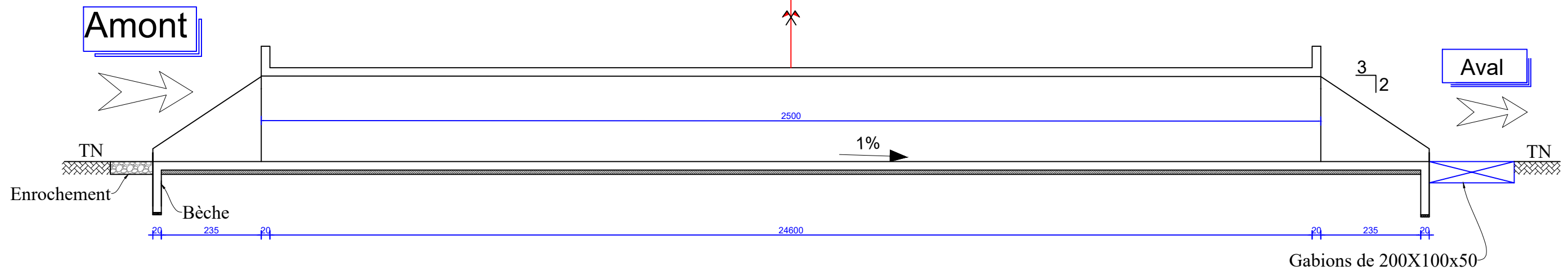


Numéro de profils en travers	P188	P189	P190	P191	P192	P193
Altitudes TN	316.58	316.46	316.17	315.89	315.65	315.32
Altitudes Projet	317.21	316.97	316.73	316.48	316.24	316.00
Ecartes Projet - TN	0064	0051	0056	0059	0059	0068
Abcisses	10+700	10+725	10+750	10+775	10+800	10+825
Distances partielles		25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Pentes et rampes	PENTE L = 804.74 m P = -0.99 %					
Alignements droits et courbes						
Altitude fossé gauche						
Altitude fossé droite						
Dévers Gauche						
Dévers Droit						

VUE EN PLAN
Echelle: 1/13



COUPE LONGITUDINALE A-A
Echelle: 1/16



Etude Technique détaillée de la voie de contournement de la ville de Ouagadougou: Cas du tronçon RN1-RN2 et de ses ouvrages de franchissement

Dessiné par ZARE Alassane

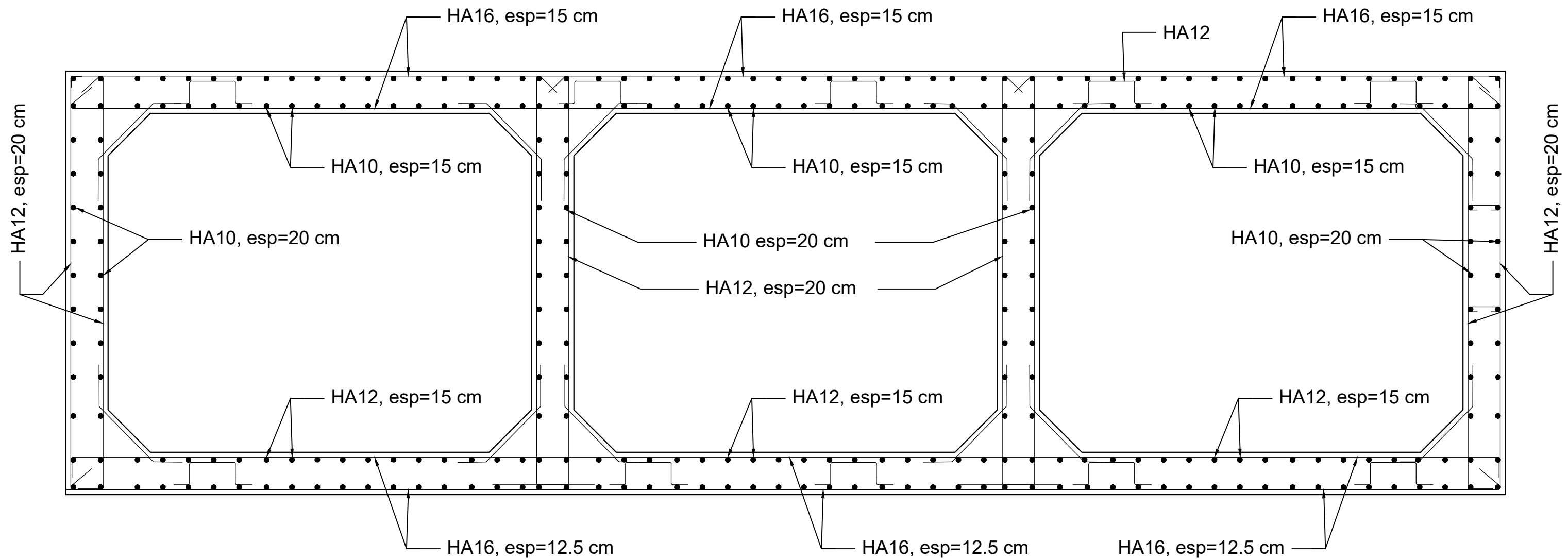
Format: A3

Plan dalot 3x250x200

Echelle: Diverses

Vue en plan, coupe A-A et détails





Etude Technique détaillée de la voie de contournement de la ville de Ouagadougou: Cas du tronçon RN1-RN2 et de ses ouvrages de franchissement

Dessiné par ZARE Alassane

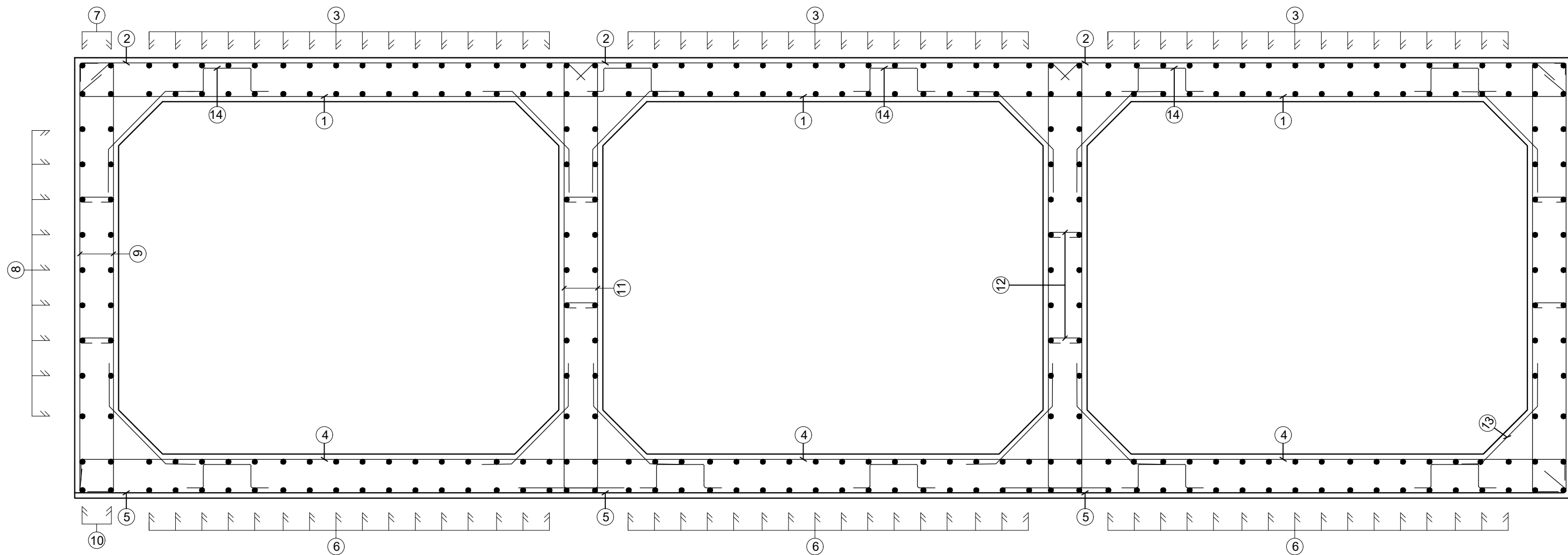
Format: A3

Ferrailage dalot 3x250x200

Echelle: 1/2,3

Coupe transversale





Etude Technique détaillée de la voie de contournement de la ville de Ouagadougou: Cas du tronçon RN1-RN2 et de ses ouvrages de franchissement

Dessiné par ZARE Alassane

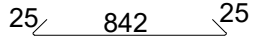
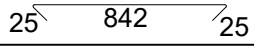
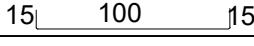
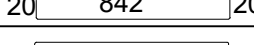
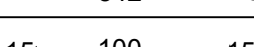
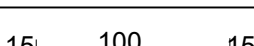
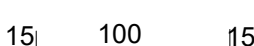


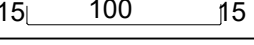
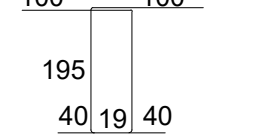
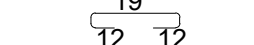
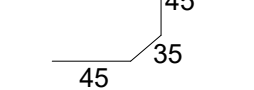

Format: A3

Ferrailage dalot 3x250x200

Echelle: 1/2,3

Coupe transversale



N°	DIAMETRE		Nbre	FAÇONNAGE ACIERS	LONGUEUR UNITAIRE cm	LONGUEUR TOTALE ml
	HA	Esp				
1	16	15	8	25  25	892	71.36
2	14	15	8	25  25	892	71.36
3	10	15	51x2	15  15	130	132.60
4	16	12.5	9	20  20	882	79.38
5	16	12.5	9	20  20	882	79.38
6	12	15	51x2	15  15	130	132.60
7	12	-	16	15  15	130	20.80
8	10	20	88	15  15	130	114.40
9	12	20	11x4		325	143
10	12	-	16	15  15	130	20.80
11	12	20	11x4		708	155.76
12	8	6/m ²	24		43	10.32
13	12	20	11x12		125	165
14	12	1/m ²	408		105	428.40

Corps du dalots par mètre linéaire

Etude Technique détaillée de la voie de contournement
de la ville de Ouagadougou: Cas du tronçon RN1-RN2
et de ses ouvrages de franchissement

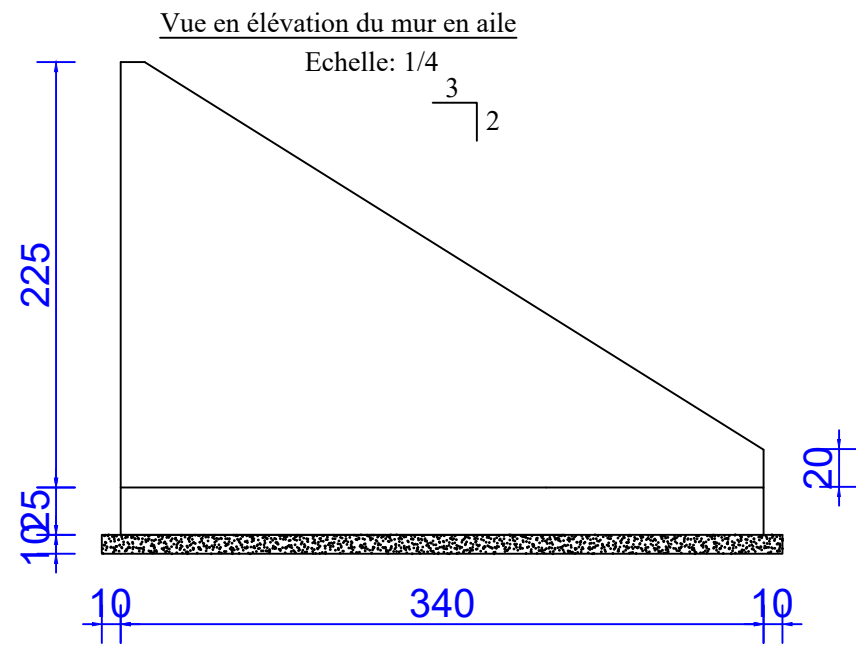
Dessiné par
ZARE Alassane

Format: A4
Echelle: 1/2

Carnet de Ferrailage dalot
3x250x200

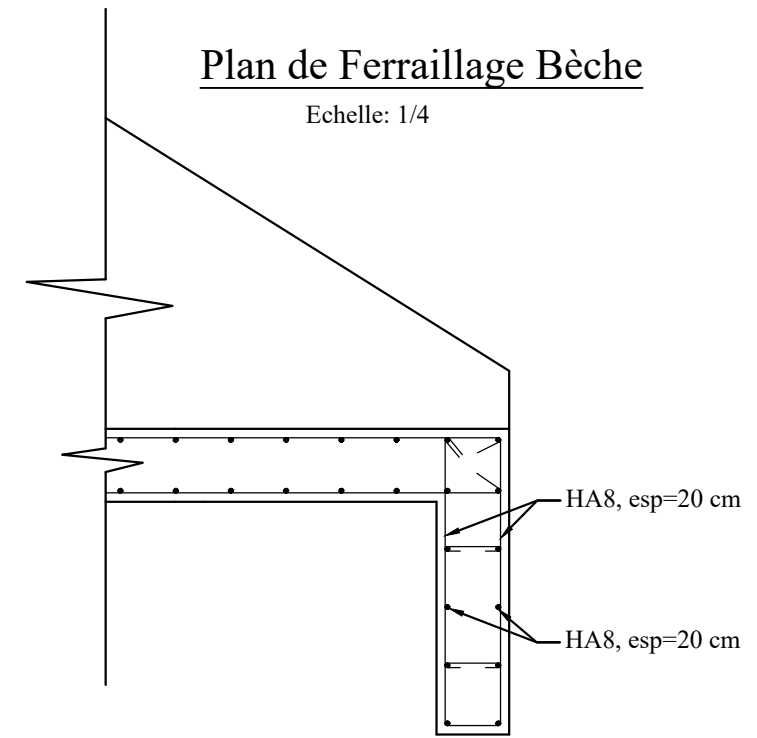


2iE



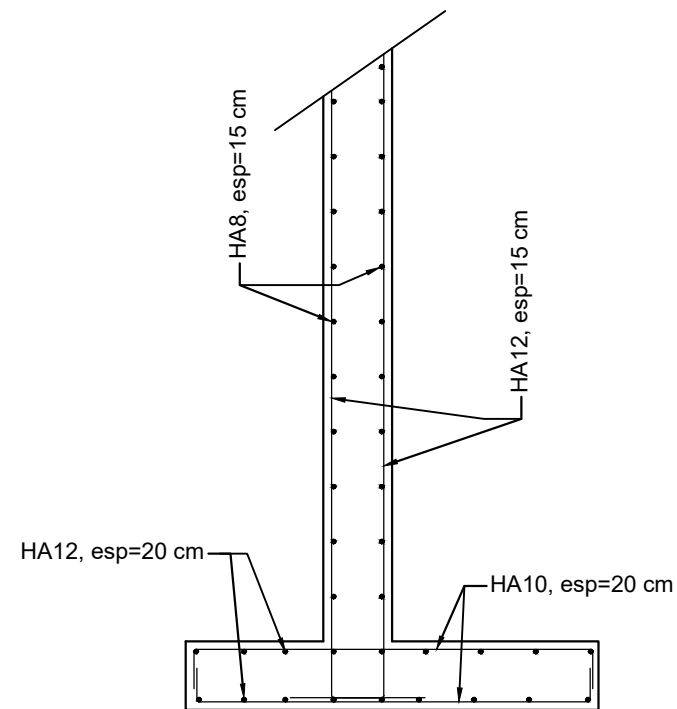
Plan de Ferrailage Bèche

Echelle: 1/4



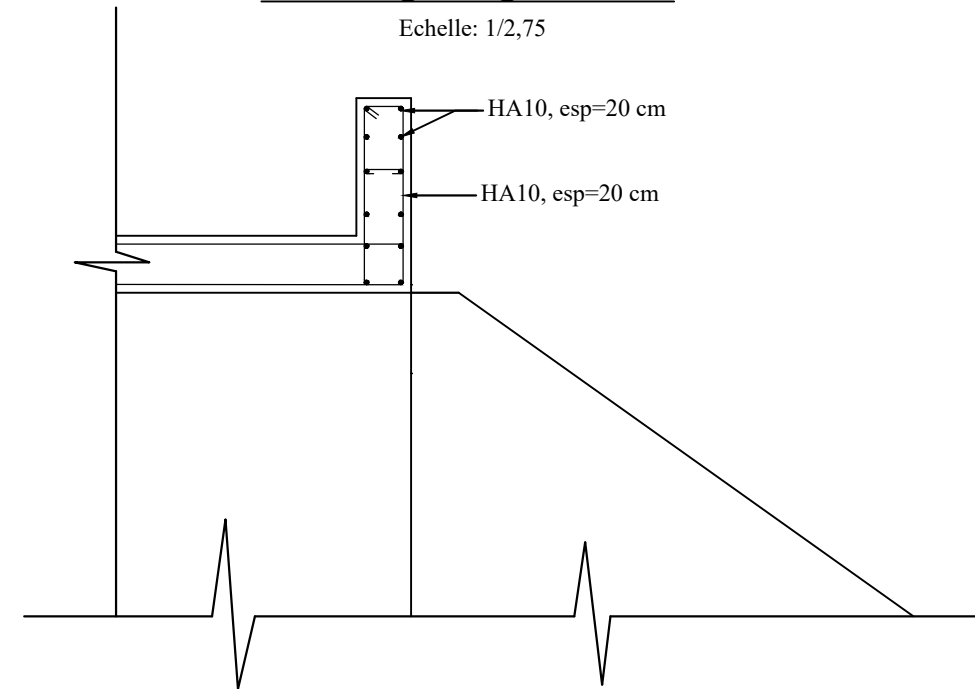
Ferrailage du mur en aile



Echelle: 1/2,75



Ferrailage du guide-rooue

Echelle: 1/2,75



	Etude Technique détaillée de la voie de contournement de la ville de Ouagadougou: Cas du tronçon RN1-RN2 et de ses ouvrages de franchissement			
	Dessiné par ZARE Alassane	Format: A3		Ferraille dalot 3x250x200
		Echelle: Diverses		Mur en aile et guide-rooue