



**ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX
D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE VOIRIES
URBAINES DANS LA VILLE NOUVELLE DE
YENNENGA**

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE
**MASTER EN INGENIERIE DU GENIE CIVIL ET
HYDRAULIQUE**
SPÉCIALITÉ : ROUTES ET OUVRAGES D'ART

Présenté et soutenu publiquement le **12 janvier 2019** par :

HASSANE SANDA Maman Bachir (20120334)

Directeur de mémoire : Mme Marie Thérèse GOMIS
Assistante d'Enseignement et de Recherche, Département Génie Civil et Hydraulique de
la Fondation 2IE

**Maître de stage : Mr. ALASSANE Sanni Ingénieur Génie Civil et Directeur des travaux
à CGE**

Structure d'accueil du stage : Compagnie Générale des Entreprises

Jury d'évaluation du stage :

Président : Pr. Igor OUEDRAOGO

Membres et correcteurs : M. Abdoul Razakou SANOUSSI
Mme Marie Thérèse GOMIS
M. Moussa LO

Promotion [2018/2019]

DÉDICACES

*« Je tiens à dédier ce modeste travail à mon créateur, pour tous les bienfaits dont Il ne cesse de me gratifier et par la grâce de Qui la réalisation de ce document a été possible. Je le dédie également à ma famille, spécialement à mes parents Mr. Hassane SANDA et Mme. Zeinabou SANDI pour leur soutien inconditionnel et les conseils qu'ils m'ont prodigués tout au long de mon parcours académique : Que Dieu vous pardonne et vous fasse miséricorde.
Je le dédie aussi à mes frères et sœurs, que Dieu vous couvre de ses bienfaits »*

CITATIONS

« Un grand ingénieur n'est pas esclave de ses formules. C'est un artiste qui utilise ses calculs comme des outils pour créer des formes aussi évidentes et harmonieuses dans leur apparence que les lois naturelles qui les sous-tendent. Il manie ses matériaux avec une vision poétique, révélant ses forces ultimes à travers une structure appropriée à ses pouvoirs uniques ».

Elmar Mock

The Architecture of Bridges, N.Y 1949.

REMERCIEMENTS

Au terme de la rédaction de ce rapport, nous tenons à exprimer notre gratitude et notre reconnaissance à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de ce travail.

Nous tenons donc à cet effet à remercier particulièrement :

- » Monsieur Mady KOANDA Directeur Général Transitoire du 2iE ;
- » Madame Marie Thérèse GOMIS, enseignante à 2iE et encadrant de ce mémoire, pour sa disponibilité, son encadrement et la documentation fournie afin donner une meilleure orientation à ce mémoire. Nous tenons aussi à lui notifier notre gratitude pour les sacrifices consentis tout au long de notre cursus ;
- » L'administration de 2iE sous le couvert du département dont je dépends ;
- » Monsieur Seydou TIENDREBEOGO Président directeur général de CGE pour nous avoir accueillis et accordé ce stage
- » Monsieur ALASSANE Sanni, mon encadreur au sein de l'entreprise et Directeur des travaux Génie-Civil du projet Yennenga, pour la disponibilité dont il a fait montre malgré ses nombreuses responsabilités ;
- » L'ensemble du personnel de la CGE, pour leur accueil chaleureux et mon intégration aux activités ;
- » Messieurs ABDOU IDE Abdoul Wahab, Amadou BARAZE ISSIA et DJIBO BANAOU Kader, pour l'ambiance conviviale et les échanges productifs pendant toute la durée du stage ;

Mes remerciements vont aussi à toutes ces personnes qui n'ont pas été citées, mais dont la contribution à la réalisation de ce document est non des moindres. Qu'elles trouvent à travers ces mots, l'expression de notre profonde gratitude.

AVANT PROPOS

La fondation 2iE (Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement) est une institution d'enseignement supérieur et de recherche dans les domaines de l'Eau et de l'Assainissement, Environnement, Energie et Electricité, Génie Civil, Mines et Sciences Managériales. Située au Burkina Faso, Ouagadougou, elle fut créée en 2007 résultant de la fusion et de la restructuration des anciennes écoles inter-Etats EIER (École d'Ingénieurs de l'Équipement Rural) et ETSHER (École des Techniciens de l'Hydraulique et de l'Équipement Rural) créées respectivement en 1968 et 1970 par 14 États d'Afrique de l'Ouest et Centrale.

C'est dans l'optique de former sur le continent africain des ingénieurs dans le contexte africain pour relever des défis techniques que la fondation 2iE à travers ses formations en ingénierie accompagné de management et innovation forme des ingénieurs-managers.

Le département de Génie Civil offre des formations aux niveaux Licence ; Master et Doctorat. Le cycle de Licence se traduit par des enseignements théoriques qui sont accompagnés par des travaux pratiques à travers son laboratoire « Laboratoire Eco-Matériaux de Construction », partie intégrante du Centre Commun de Recherche Energie et Habitat Durables CCREHD. Le CCREHD est un pôle d'excellence créée en vue de contribuer à l'épanouissement et au développement des capacités d'innovation industrielle dans les domaines des énergies renouvelables et de l'écohabitat dans le souci d'améliorer les conditions de vie des populations en encourageant aussi une production et une utilisation rationnelle des ressources énergétiques.

Tout au long de la formation de la Licence jusqu'au Master d'ingénierie, les unités d'enseignements sont accompagnées par des mini-projets facilitant ainsi la concrétisation des enseignements reçus. Pour clôturer le cycle de Master d'ingénierie en Génie Civil option Route et Ouvrages d'arts, des projets de plus en plus réels du monde d'ingénierie sont proposées à tous les étudiants. En fin de cycle un stage obligatoire dans le milieu professionnel est exigé pour les étudiants. Ce stage est encadré par un maître de stage de la structure d'accueil du stagiaire, et par les enseignants-chercheurs du 2iE enfin de permettre à ces élèves ingénieurs d'assimiler les enseignements reçus, les appliquer et cultiver en eux l'esprit nécessaire pour des futurs ingénieurs de travaux.

Tout étudiant en fin de cycle doit rédiger un mémoire de fin de cycle, qui sera publiquement soutenu lors d'une soutenance organisée par l'école.

À cet effet, nous soumettons notre mémoire de fin d'études du cycle Master d'Ingénieur pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur de conception en Génie Civil, et dont le thème est :
ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE
BITUMAGE DE VOIRIES URBAINES DANS LA VILLE NOUVELLE DE YENNENGA

RÉSUMÉ

Le projet des travaux de voirie et d'assainissement de la ville nouvelle Yennenga s'insère dans le cadre de projet de construction de la Nouvelle ville Yennenga par la Compagnie Générale des Entreprises (CGE). Le projet concerne trois voies, la voie d'accès, la voie T1 et la voie B15. Il est estimé à longueur de 5 Km.

La présente étude a pour but de faire la conception des différentes voies, d'évaluer les quantités de matériaux entrant dans leur mise en œuvre, d'évaluer les impacts environnementaux afin de prévoir des mesures d'atténuation et de faire l'estimation financière du projet.

Pour atteindre les objectifs, plusieurs études ont été menées :

- L'étude géotechnique nous a permis d'apprécier la qualité de la plateforme des voies et les matériaux du site d'emprunt. Il en ressort un sol de type classe S4. Avec un trafic de type T2, une plateforme S4 nous avons déterminé, grâce au guide de dimensionnement CEBTP avec les vérifications de contraintes, la structure de la chaussée constituée de 20 cm de graves latéritiques en couche de fondation, 20 cm de graves latéritiques en couche de base et une couche de revêtement en enduit superficiel tri-couche.

- Grâce à l'étude sur la géométrie routière et au logiciel Piste nous avons pu avoir le tracé en plan, les profils en long et les profils en travers types de notre projet permettant ainsi d'obtenir les cubatures.

- L'étude hydrologique a permis de déterminer les caractéristiques des bassins versants et les débits de dimensionnement des ouvrages. L'étude hydraulique a permis de déterminer les sections des caniveaux et des dalots avant de faire le dimensionnement béton armé de ces ouvrages.

- Une étude d'impact environnement et social a été menée en vue de présenter les impacts sur le projet ainsi que les mesures d'atténuations.

- Une estimation financière du coût du projet a été faite et il ressort un budget estimé à environ deux milliards, cent quarante et deux millions, six cent sept mille, cinquante-trois FRANCS CFA toute taxe comprise (2 142 607 053.61 FCFA TTC)

Mots Clés :

- 1 - Aménagement**
- 2 - Amorçe**
- 3 - Chaussée**
- 4 - Nouvelle ville de Yennenga**

ABSTRACT

The project of roadworks and sanitation of the new city Yennenga is part of the project of construction of the New City Yennenga by the General Company of Companies (CGE). The project involves three lanes, the access road, the T1 lane and the B15 lane. It is estimated to length of 5 Km.

The purpose of this study is to design the various ways, to evaluate the quantities of materials used in their implementation, to evaluate the environmental impacts in order to provide mitigation measures and to make the financial estimate of the project.

To achieve the objectives, several studies have been conducted:

- The geotechnical study allowed us to appreciate the quality of the track platform and the materials of the borrowing site. There emerges a class S4 floor. With a type T2 traffic, an S4 platform we have determined, thanks to the CEBTP dimensioning guide with the stress checks, the pavement structure consisting of 20 cm of lateritic subgrade, 20 cm of lateritic gravitational layers. base and a topcoat coating layer tri-layer.
- Thanks to the study on the road geometry and the track software we could have the layout in plan, the profiles in length and the profiles cross types of our project thus making it possible to obtain the cubatures.
- The hydrological study made it possible to determine the watershed characteristics and the sizing rates of the structures. The hydraulic study made it possible to determine the sections of the gutters and scuppers before making the reinforced concrete sizing of these structures.
- An environmental and social impact study was conducted to present the impacts on the project as well as the mitigation measures.
- A financial estimate of the cost of the project has been made and it appears a budget estimated at about two billion, one hundred and forty-two million, six hundred and seven thousand, fifty-three francs CFA including tax (2 142 607 053.61 FCFA including tax)

Key words: - - -

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

- 2iE** : Institut International d'Ingénierie de l'eau et de l'environnement.
- AASHTO**: American Association of State Highway and Transportation Officials
- ARP** : Aménagement des Routes Principal
- B35** : Béton dont la résistance caractéristique a 28 jours atteint 35 MPa.
- BA** : Béton Armé
- BEAL** : Béton Armé aux Etats Limites
- BV** : Bassin Versant
- CAM** : Coefficient d'Agressivité Moyen
- CBR** : Californian Bearing Ratio
- CEBTP** : Centre Expérimental de recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics
- CGE** : Compagnie Générale des Entreprises
- CIEH** : Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques
- EIES** : Etudes d'Impact Environnemental et Social
- ELS** : Etat Limite de Service
- ELU** : Etat Limite Ultime
- HA** : Haute Adhérence
- ICTAVRU** : Instructions sur les Conditions Techniques pour l'Aménagement des Voies Rapides Urbaines
- LCPC** : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
- NE** : Trafic Equivalent
- ORSTOM** : Office de Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer
- PK** : Point Kilométrique
- PL** : véhicule Poids Lourds
- SETRA** : Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes
- TMJ** : Trafic Journalier Moyen
- TN** : Terrain Naturel
- TPC** : Terre-Plein Central
- Vr** : Vitesse de référence

TABLE DES MATIERES

| | |
|--|------|
| <i>CITATIONS</i> | ii |
| DÉDICACES | i |
| <i>REMERCIEMENTS</i> | iii |
| AVANT PROPOS | iv |
| RÉSUMÉ | vi |
| ABSTRACT | vi |
| LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS | viii |
| TABLE DES MATIERES | ix |
| LISTE DES TABLEAUX | xiv |
| LISTE DES FIGURES | xv |
| Introduction Générale..... | 1 |
| I. Problématique..... | 1 |
| II. Contexte général du projet..... | 1 |
| III. Objectif global de l'étude | 2 |
| IV. Objectifs spécifiques de l'étude..... | 2 |
| V. Plan du rapport..... | 2 |
| CHAPITRE I : Présentation de la structure d'accueil, du projet et de la méthodologie | 3 |
| Introduction | 3 |
| I. Présentation de la structure d'accueil..... | 3 |
| 1. Les composantes du groupe | 3 |
| 2. Les ressources humaines..... | 4 |
| II. Présentation de la zone du projet..... | 7 |
| 1. Milieux physico naturels..... | 7 |
| III. Présentation du projet | 8 |
| IV. Méthodologie..... | 9 |

| | |
|---|-----------|
| Conclusion..... | 9 |
| CHAPITRE II : Etude géométrique, étude géotechnique et dimensionnement de la route | 10 |
| Introduction | 10 |
| I. Etude géométrique..... | 10 |
| 1. Conception géométrique | 10 |
| 2. ETABLISSEMENT DES AMENAGEMENTS ROUTIERS | 13 |
| II. Étude géotechnique..... | 14 |
| 1. Caractérisation des matériaux d'emprunt | 14 |
| 2. Sondage et reconnaissance des sols du tracé par l'entreprise | 15 |
| 3. Le principe des essais par sondages..... | 15 |
| 4. Détermination des classes de portance des sols | 18 |
| 5. Caractéristiques des emprunts..... | 19 |
| 6. Étude de trafic | 20 |
| III. Dimensionnement du corps de chaussée | 21 |
| 1. Proposition des variantes de la structure..... | 21 |
| 2. Analyse multicritères et choix de variante..... | 22 |
| 3. Calculs des contraintes avec ALIZE-LCPC (méthode rationnelle)..... | 23 |
| 4. Calcul des contraintes et des déformations admissibles | 25 |
| 5. Vérification des contraintes et déformation par Alizé | 26 |
| Conclusion..... | 29 |
| CHAPITRE III : Assainissement routier..... | 30 |
| Introduction | 30 |
| I. Étude hydrologique | 30 |
| 1. Délimitation des bassins versants | 30 |
| 2. Présentation des différentes méthodes d'évaluation des débits. | 31 |
| 3. Détermination du débit pour les ouvrages transversaux | 32 |
| 4. Détermination du débit pour les ouvrages longitudinaux | 34 |

| | | |
|------|--|----|
| II. | Étude hydraulique..... | 37 |
| 1. | Drainage de la route | 37 |
| 2. | Types d'ouvrages hydrauliques | 37 |
| 3. | Critères de choix d'une option..... | 38 |
| 4. | Choix du type d'ouvrage..... | 38 |
| 5. | Dimensionnement hydraulique des ouvrages | 38 |
| III. | Dimensionnement structural des ouvrages hydrauliques | 43 |
| 1. | Dimensionnement structural des caniveaux..... | 43 |
| 2. | Dimensionnement structural du dalot (2 × 2 × 1.5) | 44 |
| | Conclusion..... | 45 |
| | CHAPITRE IV : Signalisation routière et éclairage public | 45 |
| | Introduction | 45 |
| I. | Signalisation routière..... | 45 |
| 1. | Signalisation horizontale..... | 45 |
| 2. | Signalisation verticale | 45 |
| II. | Eclairage public | 46 |
| 1. | Matériels d'éclairage..... | 46 |
| 2. | Implantation des candélabres | 47 |
| | Conclusion..... | 48 |
| | CHAPITRE V : Etudes d'impact environnemental et social | 49 |
| | Introduction | 49 |
| | Étude d'impact environnemental et social | 49 |
| 1. | Cadre législatif et institutionnel | 49 |
| 2. | Les différents enjeux environnementaux et sociaux | 50 |
| 3. | Identification des impacts environnementaux et sociaux | 50 |
| 4. | Mesures d'atténuation préconisées | 52 |
| | Conclusion :..... | 53 |

| | |
|--|----|
| CHAPITRE VI : Planning et devis du projet | 54 |
| Introduction | 54 |
| I. Planning prévisionnel du projet..... | 54 |
| Organisation et procédure à mettre en place | 54 |
| II. Devis estimatif des travaux..... | 55 |
| Conclusion..... | 56 |
| Conclusion générale | 57 |
| Bibliographie..... | 59 |
| Logiciel..... | 60 |
| Sites Internet..... | 60 |
| ANNEXES | 61 |
| | |
| ANNEXE N° 1 : Extrait du tableau donnant le dimensionnement des chaussées correspondant aux classes de trafic t1 – t2 en fonction du sol support..... | 62 |
| ANNEXE N° 2 : Calcul et de vérifications avec le logiciel ALIZE LCPC..... | 63 |
| ANNEXE N° 3 : Les différents profils en long..... | 68 |
| ANNEXE N° 4 : Les différents profils en travers..... | 71 |
| ANNEXE N° 5 : Valeur CBR du sol support en place..... | 75 |
| ANNEXE N°6 : Récapitulatif de l'étude hydrologique..... | 76 |
| ANNEXE N°7 : Récapitulatif de l'étude hydraulique du dalot..... | 80 |
| ANNEXE N°8 : Temps de base..... | 81 |
| ANNEXE N°9 : Sortie libre dalot rectangulaire..... | 82 |
| ANNEXE N°10 : Calcul de la pente critique..... | 83 |
| ANNEXE N°11 : Calcul de la vitesse dans un dalot..... | 84 |
| ANNEXE N°12 : Dimensionnement structural de caniveaux 120x120..... | 85 |
| ANNEXE N°13 : Plan de ferrailage du caniveaux 120x120..... | 97 |

| | |
|---|-----|
| ANNEXE N°14 : Dimensionnement structural du dalot (2×2×1,5) | 98 |
| ANNEXE N°15 : Plan de ferrailage du dalot (2×2×1,5) | 124 |
| ANNEXE N°16 : Aménagements des voiries..... | 125 |
| ANNEXE N°17 : Sécurité et signalisation..... | 127 |
| ANNEXE N°18 : Devis estimatif du projet..... | 131 |
| ANNEXE N°19 : Matrice d'interaction entre le projet et son environnement..... | 133 |
| ANNEXE N°20 : Tableau d'évaluation de l'importance des impacts..... | 135 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Cadre logique du projet | 9 |
| Tableau 2 : Caractéristiques géométriques du tracé de la route | 12 |
| Tableau 3 : Résultats géotechnique du sol support | 17 |
| Tableau 4 : Classe des sols selon CEBTP | 19 |
| Tableau 5 : Classe du sol support et des sols d'emprunt | 19 |
| Tableau 6 : Emprunt pour couche de fondation | 20 |
| Tableau 7 : Matériaux pour couche de base | 20 |
| Tableau 8 : Classe de trafic selon CEBTP | 20 |
| Tableau 9 : Variantes de la structure de chaussée | 22 |
| Tableau 10 : Analyse multicritères des variantes | 22 |
| Tableau 11 : Caractéristiques de la structure de chaussée retenue | 23 |
| Tableau 12 : Catégories de GNT | 24 |
| Tableau 13 : Caractéristiques corps de chaussée | 25 |
| Tableau 14 : Valeurs admissibles | 27 |
| Tableau 15 : Résultats obtenus avec la nouvelle variante de couches de chaussée. | 28 |
| Tableau 16 : Structure définitive de chaussée | 29 |
| Tableau 17 Caractéristiques des données pluviométriques | 30 |
| Tableau 18 : Caractéristiques des bassins versants | 31 |
| Tableau 19 : Paramètres de l'équation de Kr en fonction en zone sahélienne en fonction la perméabilité et de l'indice de pente | 33 |
| Tableau 20 : Récapitulatif des débits | 36 |
| Tableau 21 : Données d'entrée pour dimensionner le Caniveau 1 | 39 |
| Tableau 22 : Résultats obtenus pour le dimensionnement du caniveau 1 | 40 |
| Tableau 23 : Données d'entrée pour dimensionner le Caniveau 2 | 40 |
| Tableau 24 : Résultats obtenus pour le dimensionnement du caniveau 2 | 40 |
| Tableau 25 : Capacité d'évacuation des dalots | 43 |
| Tableau 26 : Récapitulatif du ferrailage du caniveau 120*120 | 44 |
| Tableau 27 : Récapitulatif du ferrailage du dalot 2x2x1.5 | 44 |
| Tableau 28 : Types de candélabres | 46 |
| Tableau 29 : Planning prévisionnel du projet | 55 |
| Tableau 30 : Récapitulatif du cout du projet | 55 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| <i>Figure 1: Organigramme de la structure d'accueil</i> | 6 |
| <i>Figure 2 : Zone projet</i> | 7 |
| <i>Figure 3 : Vue aérienne du site du projet</i> | 9 |
| <i>Figure 4 : Plan des sondages</i> | 18 |
| <i>Figure 5 : Détails de calcul et de vérifications avec le logiciel ALIZE</i> | 27 |
| <i>Figure 6 : Résultats obtenus avec Alize</i> | 28 |
| <i>Figure 7 : Présentation des bassins versants</i> | 31 |
| <i>Figure 8 : Répartition du coût par poste de travail</i> | 56 |

Introduction Générale

I. Problématique

En 2050, l'Afrique franchira le cap des 2,5 milliards d'habitants, selon les estimations de l'Unicef, soit environ un quart de la population mondiale. À la clé de cette explosion démographique, des besoins colossaux qu'il faut d'ores et déjà anticiper, notamment en termes d'urbanisme. À 15 kilomètres de Ouagadougou, capitale du Burkina-Faso, une ville nouvelle va ainsi être créée. Un projet qui répond à un double objectif : exemplarité écologique et respect de la culture locale.

D'une superficie d'environ 700 hectares pour quelque 80 000 habitants attendus, le projet de ville nouvelle porte le nom de la princesse burkinabè Yennenga

La ville nouvelle de Yennenga, comptera, comme toute ville moderne, des boulevards, des équipements administratifs, des hôtels, des bâtiments commerciaux, des voiries ... etc.

Une route est dimensionnée pour une durée de vie bien déterminée, cependant, elle peut céder avant ou après cette durée de vie qui lui a été préalablement prescrite à l'étude puisqu'il est impossible de maîtriser parfaitement l'évolution socioéconomique et climatologique de la zone du projet, basée sur des calculs statistiques et intimement liée au trafic de dimensionnement et aux précipitations à enregistrer. Les projets routiers se chiffrent en milliards de francs. Or une route qui se dégrade avant sa durée de vie projetée a, soit été mal construite ou soit mal conçue.

Il semble donc impératif de se poser les questions suivantes : quelles solutions structurales et fonctionnelles techniquement réalisables et économiquement viables proposons-nous afin de garantir d'une part le confort aux usagers et d'autre part la durabilité de ce projet ?

II. Contexte général du projet

Notre projet s'insère dans le cadre de la politique nationale de l'habitat et du développement urbain initié par le Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme en vue de pallier au manque de logements dans la ville de Ouagadougou, d'améliorer les conditions de vie des populations et de réguler l'occupation des sols en milieu urbain à travers l'aménagement des logements sociaux. La nouvelle ville Yennenga, projet de CGE (Compagnie Générale des Entreprises), entre dans le cadre de cette politique. L'accès à la cité et la circulation dans celle-ci nécessitent l'aménagement des voies et l'assainissement de la zone afin d'offrir un cadre sain aux populations de la zone en mettant en place les ouvrages d'assainissement nécessaires à une

évacuation des eaux pluviales. Ce projet permettra de satisfaire l'accès à la cité et d'assurer la sécurité de la population.

III. Objectif global de l'étude

L'objectif général du projet est d'aménager le pôle urbain de la cité afin de le viabiliser et de permettre à la population l'accès aux logements. Le projet permettra également d'établir une liaison rapide et sécuritaire entre la cité et le centre-ville afin de favoriser l'expansion économique du pôle qui abrite un centre urbain commercial.

La réalisation du projet favorisera l'amélioration du cadre de vie des populations et renforcera la contribution des villes à la lutte contre la pauvreté.

IV. Objectifs spécifiques de l'étude

De façon spécifique notre travail consistera à faire l'étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage de voiries urbaines dans la ville nouvelle de Yennenga. Cette étude consistera à :

- ✚ Faire la conception géométrique de la route conformément aux spécificités techniques et économiques requises ;
- ✚ Dimensionner la structure de la chaussée pour résister au trafic pendant la durée de vie de la route ;
- ✚ Dimensionner un réseau hydraulique et d'assainissement d'eaux pluviales qui répondront aux attentes sur le tracé ;
- ✚ Evaluer les impacts sur l'environnement et établir un plan de suivi environnemental pour compenser ou atténuer les impacts négatifs non négligeables ;
- ✚ Faire ressortir un devis estimatif du projet.

V. Plan du rapport

Le présent rapport qui restitue les résultats de cette étude est composé de six (06) chapitres :

- ✚ Le premier chapitre présente la structure d'accueil, le projet et de la méthodologie d'étude ;
- ✚ Le deuxième chapitre traite de l'étude géométrique et dimensionnement de la route ;
- ✚ Le troisième chapitre présente l'étude de l'assainissement routier
- ✚ Le quatrième chapitre quant à lui se focalise sur la signalisation routière et l'éclairage public ;
- ✚ Le cinquième chapitre se focalise sur l'étude d'impact environnemental ;
- ✚ Et enfin le sixième chapitre se penche sur le devis du projet

CHAPITRE I : Présentation de la structure d'accueil, du projet et de la méthodologie

Introduction

Ce chapitre se penchera sur la description de la structure d'accueil, de la zone du projet à travers ses aspects physico naturels et ses potentialités socioéconomiques. Il présente par ailleurs la description et la constitution des éléments de ce projet et dévoile la méthodologie afin d'atteindre efficacement les objectifs assignés à cette étude.

I. Présentation de la structure d'accueil

Le groupe Compagnie Générale des Entreprises (CGE) est un solide groupe burkinabè qui affiche à son tableau plus de vingt (20) ans d'expérience. Ses filiales évoluent principalement dans le BTP, la location d'engins lourds, la promotion immobilière ainsi que la distribution de matériaux et matériels de construction. Le groupe est actifs dans plusieurs pays de la sous-région dont le Bénin, le Burkina Faso, le Mali, la Côte d'Ivoire, le Niger, le Sénégal et le Togo. Pour mener à bien ses métiers, le groupe peut compter sur un parc de matériel imposant et sur une équipe pluridisciplinaire expérimentée.

1. Les composantes du groupe

Le groupe CGE comporte 4 composantes à savoir :

a) CGE BTP

CGE BTP est passé maître dans l'art du bâtiment, des travaux publics tels les travaux routiers et ouvrages d'art, la construction de barrages, la conduite d'adduction en eau potable, la construction de châteaux d'eaux etc. CGE BTP est reconnue comme partenaire des états où elle intervient. Elle bénéficie aussi d'une reconnaissance au sens des institutions prestigieuses comme la banque mondiale, l'union européenne, la BAD, l'UEMOA ou la BCEAO.

b) CGE Bureau d'étude

CGE bureau d'étude est un bureau d'étude interne de la compagnie. Elle a pour mission la mise en œuvre de toutes les études techniques et assure l'optimisation des opérations.

c) CGE Immobilier

Avec sa vingtaine d'année d'expérience la compagnie a jugé opportun de créer la filiale immobilière afin de contribuer à la réduction du déséquilibre entre l'offre et la demande d'habitats au Burkina-Faso. Ainsi, ses métiers sont les suivants :

- Les études de conception techniques et architecturales,
- L'achat de parcelle pour y développer les projets immobiliers ;
- La viabilisation de terrains ;
- La construction de logements sociaux, économiques et de standing ;

- La construction d'infrastructures (écoles, centres de santé ...)
- La commercialisation des projets immobiliers ;
- La réalisation de tout projet immobilier.

d) CGE Distribution

La dernière-née du groupe, CGE distribution, opère dans les domaines de l'import et de la distribution des matériaux de construction, de matériel électrique, de matériel sanitaire, de matériel industriel, et minier, de l'outillage et des pièces de rechange. CGE distribution représente plusieurs marques internationales exclusives.

2. Les ressources humaines

Avec plus d'une quinzaine d'année d'expérience à son actif le groupe fait partie des plus importants employeurs au Burkina. Ainsi, le groupe CGE, à ce jour est fort de plus de mille (1000) employés et ouvriers qualifiés repartis entre le management, les services techniques et les différents chantiers. L'organigramme de groupe se présente comme suit :

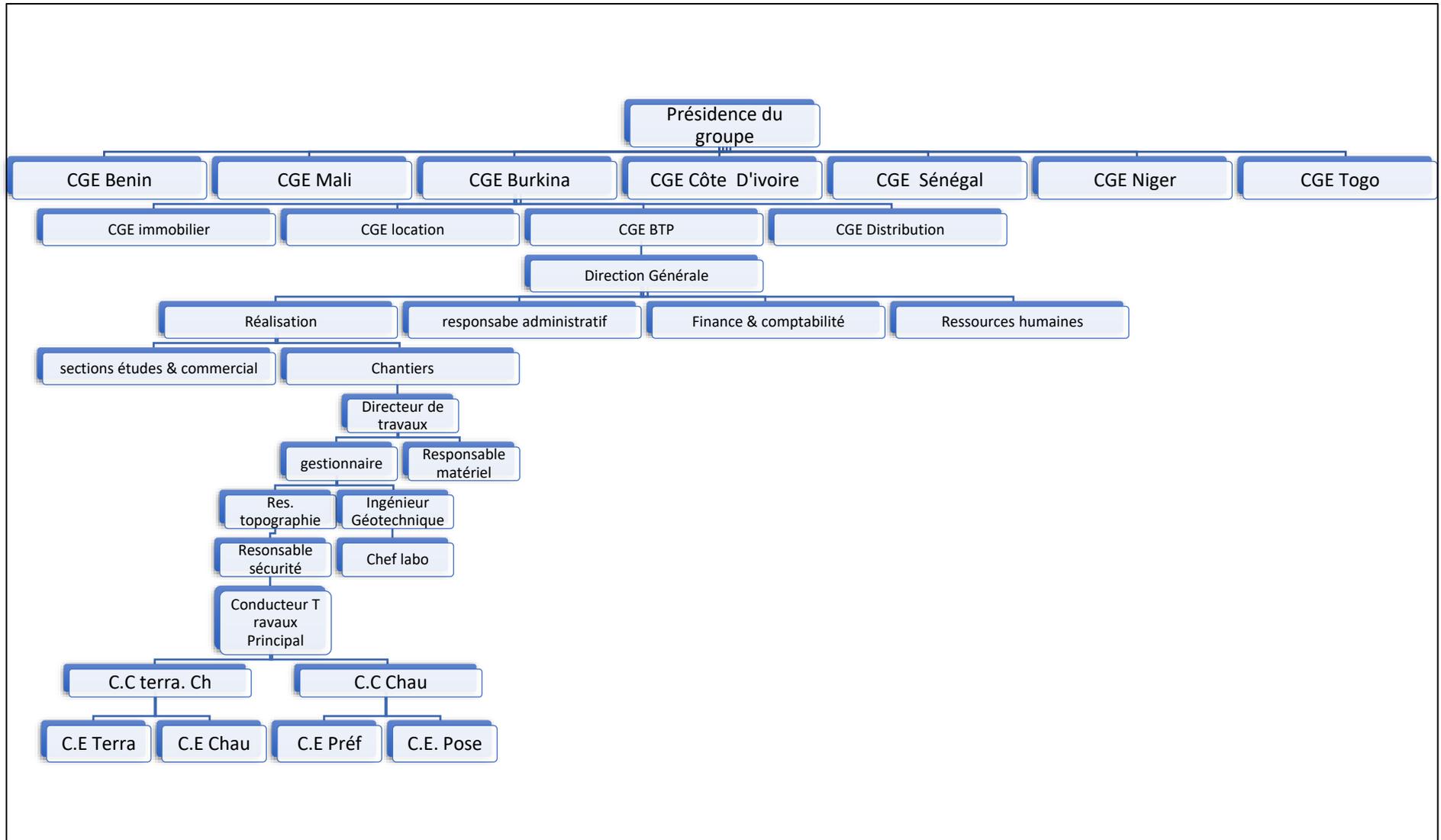


Figure 1: Organigramme de la structure d'accueil

II. Présentation de la zone du projet

Ouagadougou capital du Burkina Faso, se situe dans la province de Kadiogo et dans la région du centre. **Koubri** est un département du Burkina Faso située à 15km de Ouagadougou. Koubri couvre une superficie de 518 km², soit 0,2 % du territoire national. Selon le nouveau découpage administratif, le département de Koubri se compose d'un chef-lieu et de vingt-quatre (24) villages. Il comptait 43 928 habitants en 2006. Il est situé dans la zone dite soudanienne entre 12° 10' Nord et 1° 24' Ouest. La figure N°2 nous présente la localisation de Koubri

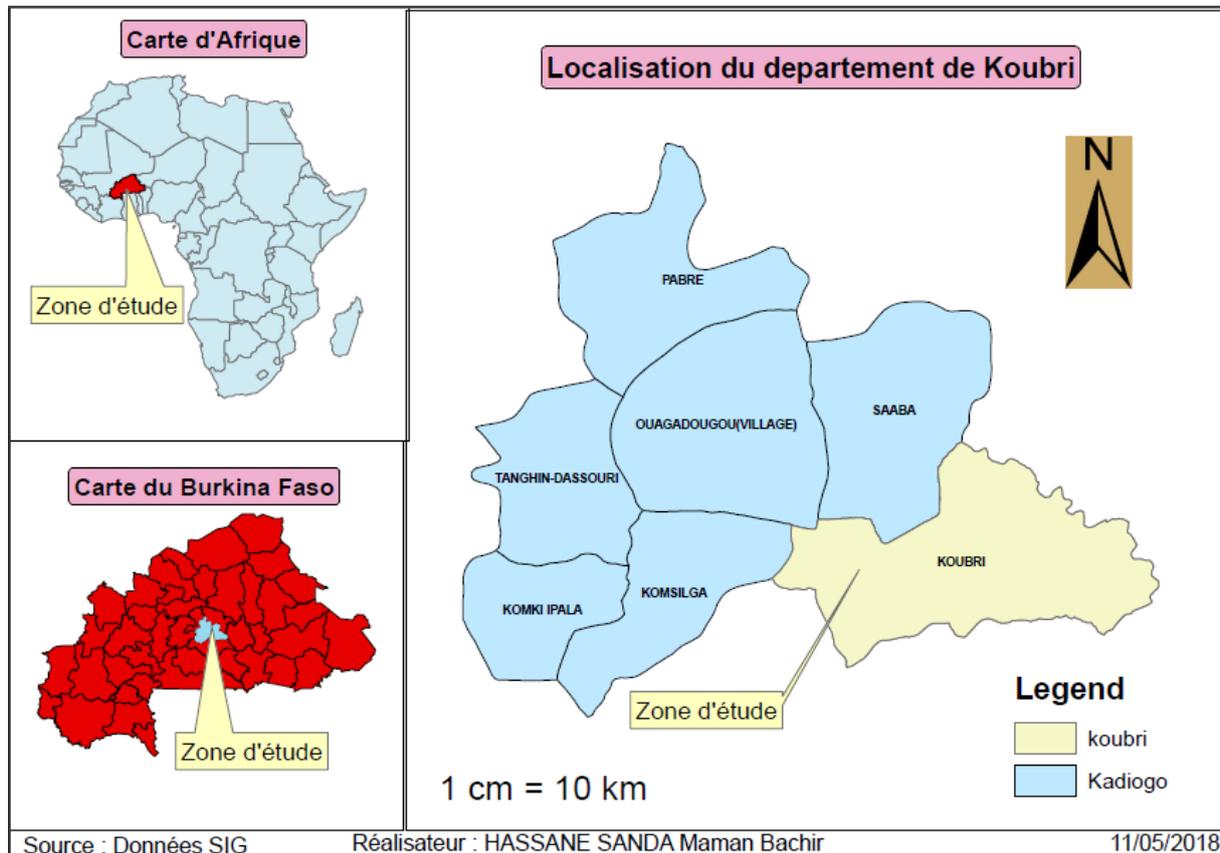


Figure 2 : Zone projet

1. Milieux physico naturels

a) Climat :

La température moyenne de la zone de projet est celle de la ville de Ouagadougou. Selon les archives de la direction générale de la météorologie du Burkina Faso, elle varie entre 25 degré Celsius (Décembre, Janvier) et 42 degré Celsius (Avril, Mars). Les températures maximales moyennes varient de 31 à 40 degré et sont observées généralement en Avril, mois le plus chaud de l'année. La région du plateau subit les rigueurs du climat marqué par deux saisons bien contrastées : la saison humide de Juin à Octobre et la saison sèche qui s'étend de Novembre à Mai. Il tombe en moyenne 780 mm de pluie par an.

b) Géomorphologie et sols :

La ville de Koubri repose sur un sol granitique recouvert par un sol généralement érodé et peu fertile en raison de la présence par endroits de la cuirasse latéritique. Les sols sont essentiellement de trois types : des sols peu évolués hydro morphes sur matériau polyphasé graveleux et argilo-graveleux dérivé de granites. Des sols ferrugineux tropicaux remaniés à tache et concrétion sur matériau argileux-sableux parfois gravillonnaire et parfois calcaire en profondeur associé à des sols peu évolués hydro morphes sur matériau gravillonnaire.

c) Végétation

La végétation est de type savane arborée et arbustive fortement modifiée par les activités agricoles évoluant vers une formation de type savane arborée. La majorité des arbres sont des espèces naturelles.

III. Présentation du projet

La nouvelle ville Yennenga est situé à 15 Km de Ouagadougou, capitale du Burkina Faso. Cette nouvelle ville répond à un double objectif : exemplarité écologique et respect de la culture locale. Pour arriver à ces objectifs, l'urbanisation de la nouvelle ville est un facteur clé. C'est dans ce sens que notre projet intervient pour faire le dimensionnement des voiries de la nouvelle ville Yennenga. Ses voiries sont estimées à environ 5 km. 3.37 km pour la voie d'accès à la ville, 1.06 km pour la voie B15 et 0.56 km pour la voie T1. La figure N°3 nous présente une vue aérienne du site de notre projet.



Figure 3 : Vue aérienne du site du projet

IV. Méthodologie

Pour atteindre efficacement l'objectif global de cette étude, il a été défini une méthodologie qui constitue un plan d'orientation permettant de décrire une chronologie des étapes à suivre et les résultats attendus pour chacun des objectifs spécifiques. Cette chronologie est présentée dans le tableau 1 intitulé « cadre logique ».

Tableau 1 : Cadre logique du projet

| Objectifs spécifiques | Activités à mener | Résultats escomptés |
|--|--|---|
| Description de la zone | Visite sur le terrain afin de collecter diverses données auprès des services techniques départementaux | Données fiables décrivant la zone du projet |
| Etude Géométrique | Etude des données topographiques, Choix de la vitesse de base et détermination des paramètres géométriques | Tracé en plan, Profils en long et en travers |
| Etude Structurale de la chaussée | Etude de trafic, Dimensionnement des chaussées, Vérification du dimensionnement | Classe du trafic, classe du sol support, choix des matériaux et des épaisseurs des couches de la chaussée |
| Etude de l'assainissement routier | Mener une étude hydrologique, choix des ouvrages à projeter, Dimensionnement hydraulique et structurale des ouvrages | Détermination des sections d'ouvrages et des ferrillages |
| Etude de la signalisation et de la sécurité routière | Analyser le tracé en plan, les points de passages et étudier l'éclairage public | Types et emplacement de la signalisation horizontale, emplacement, types et nombre de panneau, implantation et nombre de candélabre |
| Etude de l'aspect environnemental | Analyse du site du projet et des impacts négatifs liés à ce projet | Identification des impacts et Proposition des mesures d'atténuation |
| Le Devis | Détermination des quantités à mettre en œuvre pour chaque poste de travail | Coût global prévisionnel des travaux |

Conclusion

Au terme de ce chapitre nous avons décrit la zone d'étude à travers sa localisation, ses milieux physico naturels et ses différentes potentialités notamment hydrauliques, fauniques et socioéconomiques. Ce chapitre nous a, par ailleurs dévoilé la chronologie des tâches à aborder afin d'atteindre efficacement les objectifs précédemment définis. Après cette description de la zone du projet, nous aborderons au prochain chapitre, l'étude topographique et la conception géométrique.

CHAPITRE II : Etude géométrique, étude géotechnique et dimensionnement de la route

Introduction

Dans ce chapitre, il est question de faire les études topographiques qui permettront de faire la conception géométrique pour faire ressortir le tracé en plan des différentes voies, les différents profils en long et en travers de ces voies. Ensuite l'étude de trafic pour avoir le trafic cumulé annuel. Enfin présenter le dimensionnement des structures des chaussées

I. Etude géométrique

L'étude topographique nous fournit les données nécessaires à la numérisation et la matérialisation graphique de notre zone d'étude et ainsi lance le début de la conception (géométrique) du projet routier. Une étude topographique de l'ensemble de la zone du projet a été effectuée.

Des levés ont été effectués sur chaque profil de 15 m longitudinalement par rapport aux voies pour avoir l'allure du terrain naturel, les coordonnées de l'axe en plan. Ces levés en travers consistent à se mettre sur chaque profil et déterminer les côtes du terrain naturel sur une emprise de 25 m espacé de 5 m de part et d'autre de l'axe de la chaussée

1. Conception géométrique

Dans un souci de sécurité mais également de confort, la conception géométrique des routes permet d'assurer les conditions de visibilité satisfaisantes tant au droit des points singuliers qu'en section courante.

Une des tâches du concepteur routier est de rechercher un juste équilibre entre les besoins en visibilité et les contraintes spécifiques du projet. Pour répondre à cet ensemble de tâches, nous allons, en fonction de la catégorie de la route, adopter une norme de conception pour déterminer les différentes caractéristiques de cette voie.

a) Norme utilisée

Notre étude porte sur une voie urbaine. Pour une bonne conception des caractéristiques géométriques du tracé, nous utiliserons comme norme l'Instruction sur les Conditions Techniques d'aménagement des Voies Rapides Urbaines ICTAVRU.

b) Catégorie de la route

L'élément primordial pour la catégorisation d'une route est la vitesse de référence. On appelle vitesse de référence (V_r) ou vitesse de base d'une section de route, la vitesse

conventionnelle qui permet de définir les caractéristiques géométriques limites d'aménagement des points particuliers de cette section.¹

ICTAVRU préconise deux catégories selon la vitesse de référence, pour le dimensionnement des voies urbaines à caractère non autoroutière (type U) :

- U80 correspondant à une vitesse de référence de 80km/h ;
- U60 correspondant à une vitesse de référence de 60km/h.

Dans le cadre de notre étude, la vitesse de référence choisie est de 60km/h. Du fait de la limitation de la vitesse en zone urbaine, la vitesse de référence est choisie pour se conformer aux instructions routières nationales.

c) Profil en travers type des voies

Le profil en travers constitue la coupe transversale perpendiculairement à l'axe de la chaussée. L'établissement de ce profil en travers fait ressortir en général l'assiette de la route ainsi que les différents devers de la chaussée.²

❖ Voie d'accès et voie T1

Dans cette étude, en fonction de l'emprise disponible, le profil en travers adopté pour cette voie aura :

- Une chaussée à deux fois deux (2x2) voies, terre-plein centrale et trottoir de part et d'autre : soit 2x2x3,5m + 1.60m + 2x2m de trottoir ;
- Un devers de 2,5% pour la chaussée, en profil renversé extérieurement.
- Un caniveau de part et d'autre de la chaussée.

[L'annexe 4 montre le détail du profil de la voie d'accès et de la voie T1](#)

❖ Voie B15

Dans cette étude, en fonction de l'emprise disponible, le profil en travers adopté pour cette voie aura :

- Une chaussée à une fois deux (1x2) voies et trottoir de part et d'autre : soit 1x2x3,5m + 2x2m de trottoir ;
- Un devers de 2,5% pour la chaussée, en profil renversé extérieurement.
- Un caniveau de part et d'autre de la chaussée.

[L'annexe 1 montre le détail du profil de la voie B15.](#)

¹ Direction des Infrastructures de Transports et de la Mer, *Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des voies rapides urbaines (ICTAVRU)* (Certu, 2009).

² Direction des Infrastructures de Transports et de la Mer.

d) Tracé en plan et Profil en long des voies

La vue en plan définit le tracé de la route et indique par la même occasion son environnement et l'emplacement des ouvrages d'art et de ses équipements. Le profil en long est une coupe longitudinale de la route. Il indique les pentes longitudinales, les raccordements altimétriques, les hauteurs des remblais et déblais au niveau de l'axe. Il est généralement une succession d'alignements droits et de courbes. Ils visent à assurer de bonnes conditions de sécurité et de confort tout en s'intégrant au mieux dans la topographie du site. Ils seront conçus en tenant en compte des différentes caractéristiques présentées dans le tableau 2 ci- après :

[L'annexe 3 montre les dessins en détail.](#)

Tableau 2 : Caractéristiques géométriques du tracé de la route³

| DESIGNATION DU PARAMETRE | | | | SYMBOLE ET UNITE | VR(Km/h) = 60 |
|--|--|---|-------------------|---------------------|------------------|
| TRACE EN PLAN | Dévers maximal | | | dm (%) | 7 |
| | Rayon en plan RH(m) | Minimal absolu | | RHm (m) | 120 |
| | | Minimal normal | | RHN (m) | 240 |
| | | Au dévers minimal | | Rh" (m) | 450 - 500 |
| | | Non déversé | | R' (m) | 600 |
| PROFIL EN LONG | Déclivité maximale en rampe | | | m (%) | 7 |
| | Rayon en anglant saillant RV(m) | Chaussée unidirectionnelle | Minimal absolu | RVm1 | 1500 |
| | | Route à 4 voies ou à 2 chaussées | Minimal normal | RVN1 | 3000 |
| | | Chaussées bidirectionnelles (route à 2 ou 3 voies) | Minimal absolu | RVm2 | 1600 |
| | | | Minimal normal | RVN2 | 4500 |
| | Rayon en anglant rentrant RV'(m) | Minimal absolu | | RVm' | 1500 |
| | | Minimal normal | | RVN' | 2200 |
| Rayon assurant la distance de visibilité de dépassement minimale sur route à 2 ou 3 voies | | | RDV | 6500 | |

³ Direction des Infrastructures de Transports et de la Mer.

2. ETABLISSEMENT DES AMENAGEMENTS ROUTIERS

Aménager un espace routier signifie qu'on y installe divers éléments pour influencer ou modérer le trafic dans les localités, les voies de passage et les quartiers. Les mesures d'aménagement doivent être conformes aux normes et aux dispositions légales. Ainsi, nous garantissons une sécurité maximale pour tous les usagers de la route.⁴

a) *Aménagements des amorces*

Les amorces sont des accès raccordant à la voie principale et conduisant dans les habitats seront bitumées sur environ 5 m et le rayon de raccordement est choisi pour faciliter l'intersection des véhicules longs.

b) *Aménagements des carrefours*

Les amorces routières sont des aménagements qui raccordant les branches secondaires à la route principales permettent ainsi aux véhicules d'accéder sans difficultés à celle-ci.

c) *Aménagements des aires de stationnement*

L'aire de stationnement est une surface rattachée à l'emprise de la route destinée aux usagers ayant la nécessité de s'immobiliser sur la chaussée.

Compte tenu de la présence des centres d'activités comme marchés, les écoles ou les hôpitaux à proximité des rues des propositions de parking seront faites

D'une manière générale, la largeur des voies de circulation sont restreinte, c'est qui provoque souvent le stationnement irrégulier des véhicules (souvent poids lourds), c'est pourquoi il est indispensable pour ce projet d'aménager dans certains endroits du tronçon des parkings permettant aux véhicules de se garer.

Pour notre projet, nous allons prévoir un espace sur la chaussée des aires de stationnement.

[L'annexe 16 montre l'aménagements des aires de stationnement](#)

d) *Les perrés maçonnés*

Les perrés sont les revêtements en pierre qui protégeront les entrées et sorties du le dalot ceci permettra d'éviter l'érosion des sols adjacents qui peuvent causer la dégradation précoce

e) *Les enrochements*

Les enrochements sont des fondations en gros blocs (roche) bétonnées disposés à l'entrée

⁴ SETRA, « Aménagement des routes principales », Aout 1994.

des petits ouvrages hydrauliques, ils permettront d'empêcher le phénomène d'ensablement des ouvrages hydrauliques. Nous avons prévue pour ce projet les enrochements à l'amont de chaque ouvrage pour éviter les phénomènes pour lutter contre l'ensablement.

f) Les gabions

C'est une cage grillagée rempli de moellon il est utilisé comme protection a aval des petits ouvrages hydrauliques pour lutter contre les affouillements. Ainsi nous avons prévue des gabions pour éviter l'affouillement.

g) Les bordures

Une bordure est un élément vertical ou incliné en béton bordant les zones de circulation des piétons ou des véhicules. Les bordures de type T2 infranchissables seront construites au niveau parking.

h) Les ralentisseurs

Les ralentisseurs sont des ouvrages en béton ou en béton armé réalisés perpendiculairement à l'axe de la chaussée et continus sur toute la largeur de celle-ci. Leur présence incite les conducteurs à réduire la vitesse de leur véhicule et doivent être annoncés par un panneau d'au moins 100 m en signalisation avancée.

Les ralentisseurs de types d'os d'âne qui sont de forme arrondie sont constitués de bandes d'enduit en relief attirant l'attention des usagers pour qu'ils adaptent leur vitesse à l'entrée des agglomérations ou dans certains points particuliers (emprunts, sites, villages etc....)

[L'annexe 17 montre l'aménagements d'un ralentisseur](#)

II. Étude géotechnique

L'étude géotechnique a pour objet :

- La définition des caractéristiques de portance de sols d'assise de la chaussée ;
- L'identification des sites de carrière pour granulats ;
- L'étude des caractéristiques des matériaux ainsi que leur condition d'utilisation ;
- L'évaluation autant que possible de la puissance de la carrière ;
- L'étude du trafic que va supporter la chaussée ;
- Le dimensionnement de la structure de la chaussée.

1. Caractérisation des matériaux d'emprunt

Les matériaux entrant dans la constitution des différentes couches de la structure de la chaussée ont bien été spécifiés selon leurs caractéristiques physiques et mécaniques dans le cahier des

clauses techniques particulières. Sur cette base l'entreprise a choisi des sites d'emprunt répondant aux caractéristiques attendues des couches de fondation et de base.

2. Sondage et reconnaissance des sols du tracé par l'entreprise

Le sol en place constitue la plate-forme sur laquelle repose la chaussée. Pour bien remplir son rôle, il est souhaitable qu'il possède un certain nombre de qualités :

- Elle doit offrir une assise convenable pour le compactage des couches de chaussée et doit donc être suffisamment rigide.
- Elle doit donc être peu sensible aux intempéries ;
- Elle participe, par sa rigidité, au fonctionnement de la chaussée : une meilleure plate-forme autorise une chaussée moins épaisse, donc moins coûteuse.

La reconnaissance du sol nous permet d'apprécier les caractéristiques qu'a le sol support afin de bien dimensionner la structure de la chaussée.

Pour ce projet, la reconnaissance des sols supports a été effectuée par exécution des sondages, tous les 500 m environ, sur chaque voie avec prélèvement d'échantillons. Au total 18 sondages manuels ont été menés à des profondeurs variant de 45cm à 100cm

Les échantillons de matériaux (préciser la nature) issus des sondages ont fait l'objet d'essais en laboratoire par le Bureau d'Etudes et de Contrôles des Ouvrages Hydro-agricoles et Annexes (BECOHA).

3. Le principe des essais par sondages

C'est le seul moyen précis pour reconnaître l'épaisseur et la nature des couches des sols en présence, on y prélève généralement des échantillons de sols remaniés ou intacts pour les besoins d'essais de laboratoires.

a) *Les essais physiques*

Teneur en eau

La teneur en eau d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec. On peut aussi dire que la teneur en eau est le poids d'eau W contenu par unité de poids de matériau sec.

$$w = \frac{W_w}{W_s}$$

W_w : Poids d'eau

W_s : Poids de matériau sec

Analyses granulométriques (NFP 18-560, NFP 18-540)

C'est le procédé par lequel on détermine la proportion des différents constituants solides d'un matériau grenu en fonction de leur grosseur à l'aide de tamis. Il permet donc de distinguer les sols fins des sols sableux ou encore des sols graveleux.

Limites d'Atterberg (NF P 94-051)

Le but de l'essai est de déterminer la teneur en eau d'un sol à son passage de l'état liquide à

w: La teneur en eau

L'état plastique (limite de liquidité) et de la teneur en eau d'un sol à son passage de l'état plastique à l'état solide (limite de plasticité).

L'indice de plasticité est obtenu en soustrayant la limite de plasticité à la limite de liquidité.

Soit :

$$IP = WL - WP$$

IP : Indice de Plasticité

WL : Limite de liquidité

WP : Limite de plasticité

b) Les essais mécaniques

Essai Proctor (NF P 94-093)

L'essai Proctor consiste à placer dans un moule non perforé de dimensions et de poids connu, un échantillon humidifié de manière homogène à une teneur en eau donnée, peu élevée au début, et à compacter cet échantillon par couches (cinq couches au total pour le Proctor modifié contrairement aux trois du Proctor normal) au moyen d'une dame de poids standardisé tombant d'une hauteur également standard. La densité de compactage est de 56 coups pour chacune des cinq couches du moule.

Pour chacune des teneurs en eau considérée, on détermine le poids volumique sec du sol et on établit la courbe de variation de ce poids volumique en fonction de la teneur en eau.

Essai CBR (Californian Bearing Ratio NF P94- 078)

Cet essai a pour but d'évaluer la portance du sol en estimant sa résistance au poinçonnement, afin de pouvoir dimensionner la chaussée et orienter les travaux de terrassements.

L'essai consiste à soumettre des échantillons d'un même sol au poinçonnement, les échantillons sont compactés dans des moules perforés à la teneur en eau optimum (déterminée grâce au Proctor modifié) avec trois énergies de compactage : 55 coups/ couche ; 25 c/c ; 10c/c (cinq (5) couches par moule) et imbibé pendant 96h.

Les résultats sont récapitulés dans le tableau N° 3 ([voir annexe N°5 pour les résultats détaillés](#))

Tableau 3 : Résultats géotechnique du sol support

| Sondages | Natures | Proctor modifié | | Essai CBR | | Gonflement | | |
|---------------------------|-----------------|------------------|-------|-----------|---------|------------|----------|----------|
| | | Ds OPM | W OPM | 95% OPM | 98% OPM | 55 coups | 25 coups | 10 coups |
| | | t/m ³ | % | en % | en % | en% | en% | en% |
| P1+P2+P3 | Grave argileuse | 2 195 | 7,7 | 40 | 76 | | | 0,36 |
| P4+P6+P7+P8+P11 | Grave argileuse | 2 045 | 10,9 | 22 | 35 | | | 0,28 |
| P9+P10+P12+P14+P16 | Grave argileuse | 2,26 | 6,7 | 41 | 118 | | | 0,17 |
| P15+P17+P18 | Grave argileuse | 2,27 | 6,7 | 33 | 40 | | | 0,22 |

NB : Les sondages P1, P2 et P3 ont été effectués au niveau du giratoire ; P4, P6, P7, P8, P11 sur la voie B15 ; P9, P10, P12, P14, P16 sur la voie d'accès, et enfin P15, P17, P18 sur la voie T1. La figure N°4 nous présente le plan des sondages

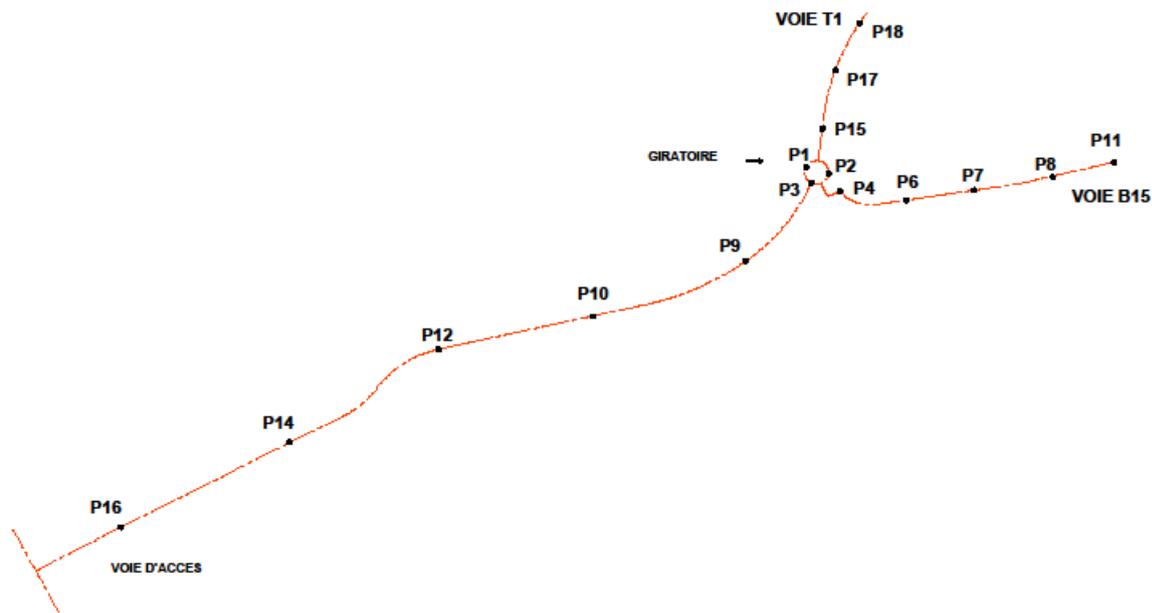


Figure 4 : Plan des sondages

L'état des lieux nous montre que notre plateforme est assez résistante, ce qui rend notre sol projet assez bon. Le dimensionnement de la route sera réalisé avec un CBR de plateforme supérieure à 30.

4. Détermination des classes de portance des sols

L'indice CBR permet de déterminer l'aptitude des matériaux à supporter les charges. Il permet également de classer les sols et de définir les matériaux constituant la chaussée.

En fonction de l'indice CBR, le guide de dimensionnement du CEBTP, met à notre disposition un tableau faisant ressortir la portance des différents sols supports et d'emprunts. (Voir tableau N°4)

Tableau 4 : Classe des sols selon CEBTP⁵

| Classes des sols | Valeurs CBR |
|------------------|---------------|
| S1 | CBR < 5 |
| S2 | 5 < CBR < 10 |
| S3 | 10 < CBR < 15 |
| S4 | 15 < CBR < 30 |
| S5 | CBR > 30 |

Interprétation : À partir des différents CBR et du tableau N°4 ci-dessus, il en ressort la classification du sol support et du site de l'emprunt. (Voir tableau N°5)

Tableau 5 : Classe du sol support et des sols d'emprunt

| Sondage | Classe de portance |
|---------------------------|--------------------|
| P1+P2+P3 | S5 |
| P4+P6+P7+P8+P11 | S4 |
| P9+P10+P12+P14+P16 | S5 |
| P15+P17+P18 | S5 |

Il en ressort alors que le sol support à une classe de portance S4 (le cas le plus défavorable)

5. Caractéristiques des emprunts

Sept (7) sites de graveleux latéritique ont été identifiés hors de la ville. Des prélèvements d'échantillons y ont été effectués pour des essais au laboratoire et les caractéristiques géotechniques obtenues sont récapitulées ci – dessous. Les caractéristiques géotechniques du premier tableau (tableau N°6) sont celles de la couche de fondation, et le deuxième tableau (tableau N°7) pour la couche de base.

⁵ CEBTP, *Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux*, 1980.

Tableau 6 : Emprunt pour couche de fondation

| Emprunts | Granulométrie % éléments | | | Limites | | Proctor modifié | | CBR | | |
|----------|--------------------------|--------|-------|---------|------|-----------------|------|--------|-----|-------|
| | N° | >10 mm | >2m m | <8 0μ | WL | IP | γd | W% OPM | 90% | 95% |
| 1 | 13 | 60 | 22 | 25 | 11 | 2.13 | 7.5 | 14 | 35 | 69 |
| 2 | 10 | 54 | 28 | 26.5 | 15 | 2.15 | 8.7 | 8 | 32 | 65 |
| 3 | 23 | 62 | 27 | 33 | 16.5 | 2.28 | 10.2 | 22 | 30 | 43,20 |

Tableau 7 : Matériaux pour couche de base

| Emprunts | Granulométrie% éléments | | | Los Angeles | Limites | | Proctor modifié | | CBR | | |
|----------|-------------------------|--------|------|-------------|---------|----|-----------------|-----|--------|-----|-----|
| | N° | >10 mm | >2mm | | <80μ | WL | IP | γd | W% OPM | 90% | 95% |
| 1 | 9 | 68 | 14 | 50 | 20 | 6 | 2.25 | 6.8 | 65 | 82 | 90 |
| 2 | 15 | 65 | 20 | 47 | 25 | 9 | 2.175 | 8.7 | 58 | 82 | 96 |
| 3 | 20 | 65 | 18 | 40 | 23 | 8 | 2.24 | 8.2 | 50 | 80 | 106 |
| 4 | 16 | 65 | 13 | 45 | 29 | 12 | 2.23 | 8.2 | 60 | 80 | 110 |

6. Étude de trafic

Etant donné que notre projet sera réalisé sur une zone vierge, sans trafic, le dimensionnement se fera avec une classe de trafic T2 comme nous l'a suggéré la structure d'accueil. Nous allons faire le rapport avec le tableau des classes de trafic proposé par le CEBTP, illustré ci-dessous :

Tableau 8 : Classe de trafic selon CEBTP⁶

| Classes du trafic | Trafic cumulé | Trafic équivalent en Véh/j |
|-------------------|---|----------------------------|
| T1 | < 5.10 ⁵ | < 300 |
| T2 | de 5.10⁵ à 1,5.10⁶ | de 300 à 1000 |
| T3 | de 1,5.10 ⁶ à 4.10 ⁶ | de 1000 à 3000 |
| T4 | de 4.10 ⁶ à 10 ⁷ | de 3000 à 6000 |
| T5 | de 10 ⁷ à 2.10 ⁷ | de 6000 à 12000 |

⁶ CEBTP.

Pour la suite, nous allons continuer le dimensionnement avec un trafic cumulé de $1,5.10^6$, soit de 1000 véhicules par jour (condition la plus défavorable pour le trafic T2).

III. Dimensionnement du corps de chaussée

Le dimensionnement consiste à déterminer les épaisseurs à donner aux différentes couches de la chaussée afin de réduire les contraintes et déformations à des valeurs admissibles pour un trafic donné. La structure d'une chaussée routière doit alors résister aux différentes sollicitations, notamment celles dues au trafic, appliquées tout au long de sa vie.

Il y a lieu de se demander quelles épaisseurs et quels matériels adoptés pour la chaussée lui permettront de résister aux sollicitations provenant du trafic durant toute sa vie projetée.

A ce niveau, il s'agit de déterminer la nature et l'épaisseur des différentes couches qui constituent la chaussée afin qu'elle puisse résister aux diverses agressions auxquelles elle sera soumise.

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement de la structure d'une chaussée, dont on peut citer entre autres :

- La méthode CEBTP, Guide LCPC ;
- La méthode CBR, la méthode AASHO, la méthode rationnelle, etc.

Pour ce projet, nous utiliserons la méthode CEBTP pour le dimensionnement. Après quoi, une vérification des résultats sera faite avec le logiciel Alize-LCPC, par la méthode rationnelle.

1. Proposition des variantes de la structure

Le sol support à une classe de portance S4, nous pouvons affirmer que le sol est bon et ne nécessite aucune amélioration.

Ainsi, avec un sol de classe S4 et un trafic de classe T2, les différentes variantes proposées sont énumérées dans le tableau N°9 :

Tableau 9 : Variantes de la structure de chaussée⁷

| Structure de chaussée | Couche de roulement | Couche de base | Couche de fondation |
|-----------------------|--|--|--|
| Variante 1 | 5 cm d'enrobé dense ou enduit tri couche | 15cm Graveleux latéritique naturel | 20cm Graveleux latéritique naturel |
| Variante 2 | 5 cm d'enrobé dense ou enduit tri couche | 15cm Graveleux latéritique ou grave naturel amélioré au ciment | 20cm Graveleux latéritique ou grave naturelle O/D |
| Variante 3 | 5 cm d'enrobé dense ou enduit tri couche | 15 cm Concassé o/d | 20 cm Graveleux latéritique ou grave naturelle O/D ou concassé o/d |

2. Analyse multicritères et choix de variante

À travers l'analyse multicritère, nous allons, par élimination, déterminer la variante la plus adaptée pour reprendre le trafic induit. Ce choix doit être optimal et répondre aux différentes règles de l'art.

Pour cela nous dressons un tableau des avantages et inconvénients des différentes variantes

Tableau 10 : Analyse multicritères des variantes

| Variantes | Avantages | Inconvénients |
|-------------------|--|--|
| Variante 1 | -Matériau disponible en quantité suffisante ; -Maitrise moyenne lors de la réalisation ; -Matériau de bonne qualité et sans impact sur l'environnement ; -Bon confort aux usagers ; | -Cout de réalisation très élevé ; |
| Variante 2 | -Matériau moyennement disponible ; - Très bon confort aux usagers ; | -Cout de réalisation très élevé ; -Mauvais impact sur l'environnement ; |
| Variante 3 | -Matériau moyennement disponible ; -Très bon confort aux usagers ; | -Cout de réalisation très élevé ; -Mauvais impact sur l'environnement ; |

⁷ CEBTP.

Choix : Après analyse, il ressort clairement que la variante n°1 présente plus d'avantages et tient compte des réalités du projet. Ainsi nous avons choisi l'enduits tri-couche vue son caractère durable et économique (Voir tableau N°11)

Tableau 11 : Caractéristiques de la structure de chaussée retenue

| Revêtement | 5cm Enduit tri-couche |
|---------------------|------------------------------------|
| Couche de base | 15cm Graveleux latéritique naturel |
| Couche de fondation | 20cm Graveleux latéritique naturel |

3. Calculs des contraintes avec ALIZE-LCPC (méthode rationnelle)

Pour valider la structure de chaussée retenue, nous faisons une vérification avec le logiciel Alize-LCPC. Le principe de calcul avec ALIZE consiste en priorité à modéliser les structures de manière à évaluer les contraintes ou les déplacements provoqués par une charge type unitaire. On recherche ensuite la contrainte maximale susceptible d'engendrer la rupture de la structure et on la compare à la limite admissible du matériau considéré pour le trafic souhaité.

Dans ce modèle élastique d'étude des structures par le logiciel ALIZE, il faut distinguer deux phases critiques :

- ✚ La phase de recherche du module de Young des différentes couches de la chaussée existante,
- ✚ La phase du dimensionnement

a) Détermination du module de Young des différentes couches de la chaussée existante

La première phase prend en compte les caractéristiques mécaniques de la structure en place.

La deuxième phase en revanche, considère des matériaux de bonne performance qui doivent prendre le temps de vieillir avant de perdre eux aussi les bonnes caractéristiques qu'ils avaient à leur mise en œuvre.

Après avoir choisi les paramètres de la chaussée existante, nous utiliserons le programme ALIZE pour modéliser chaque section en utilisant la relation $E = 5 \times \text{CBR}$ pour le module de Young de la plateforme. La chaussée est souple, ce qui nous conduit à utiliser les valeurs suivantes pour le calcul du module de Young pour les couches de fondation et de base :

- ✚ Couche de fondation :

$$E_{\text{GNT}} = K \times E_{\text{plateforme}}$$

- ✚ Couche de base :

$$E_{\text{GNT}} = K \times E_{\text{couche sous-adjacente}}$$

Le coefficient K dépend de la catégorie du GNT :

Tableau 12 : Catégories de GNT

| Catégorie | 1 | 2 | 3 |
|-------------------|-----|-----|-----|
| K | 3 | 2.5 | 2 |
| Elim (Mpa) | 600 | 400 | 200 |

Nous retenons les graves non traitées de catégorie 2, donc le coefficient K sera pris égale à 2.5. Les paramètres à prendre en compte pour la simulation sont énumérés dans le tableau 13

b) Etape du dimensionnement

Les calculs sont faits en référence aux prescriptions du SETRA-LCPC « conception et dimensionnement des structures de chaussée », Guide technique, Edition de décembre 1994. Une fois les paramètres judicieusement choisis, nous passerons au calcul des contraintes et déformations suivant la méthode ALIZE.

La démarche suivante est adoptée :

- La détermination des sollicitations admissibles dans les différents matériaux en utilisant les lois de fatigues ;
- Le calcul des sollicitations dans la structure ;
- La vérification du niveau des contraintes et déformations calculées en s'assurant que ces dernières restent inférieures aux contraintes et déformations admissibles.

c) Hypothèses de dimensionnement

La modélisation sur Alizé LCPC sera faite en considérant les hypothèses suivantes :

- Les épaisseurs des couches considérées sont celles retenues lors du dimensionnement avec la méthode empirique ;
- Le revêtement en enduit superficiel tri-couche ne sera pas modélisé car il ne participe pas au fonctionnement structural de la chaussée.
- Le coefficient de Poisson $\nu = 0.35$ pour toutes les couches.

Tableau 13 : Caractéristiques corps de chaussée

| Structure de chaussée | Epaisseur (cm) | Module de Young en (MPa) | Coefficient de poisson ν | Température en °C | Nature des interfaces |
|-----------------------|----------------|--------------------------|------------------------------|-------------------|-----------------------|
| Couche de base | 15 | 400 | 0,35 | 40 | Collées |
| Couche de fondation | 20 | 400 | 0.35 | 40 | Collées |
| Plateforme S4 | Infinie | 200 | 0.35 | 40 | Collées |

La plateforme de classe de portance S4, correspond à la classe de plateforme PF4 selon le guide de dimensionnement de chaussée SETRA : soit 200 MPa.

4. Calcul des contraintes et des déformations admissibles

Les matériaux pour la construction routière sont caractérisés par leurs limites admissibles. Pour la structure de notre chaussée nous allons vérifier les contraintes de déformations verticales admissibles (σ_{zadm}) et les déformations verticales admissibles (ϵ_{zadm}) pour le sol support et les couches de base et de fondation.

a) Contraintes verticales admissibles

Les contraintes de déformation verticales sont calculées à partir de la formule de Kerkhoven et Dormon qui est la suivante :

$$\sigma_{z, adm} = \frac{0,3 \times CBR}{1 + 0,7 \log(Ne)}$$

$$NE = Tc \times CAM$$

$$Tc = \text{trafic cumulé}$$

$$CAM = 1, \text{ comme on est en présence des GNT}$$

$$D'où NE = Tc = 1.510^6$$

Pour le sol support

$$CBR = 15$$

$$\sigma_{z, adm} = \frac{0,3 \times 15}{1 + 0,7 \log(1500000)} = 0.845$$

$$\sigma_z, adm = 0,845 \text{ MPa}$$

Pour la couche de fondation

$$\text{CBR} = 30$$

$$\sigma_z, adm = \frac{0,3 \times 30}{1 + 0,7 \log(1500000)} = 1,69$$

$$\sigma_z, adm = 1,69 \text{ MPa}$$

- Pour la couche de base,

Sol de classe de portance S5 => CBR = 80

$$\sigma_z, adm = \frac{0,3 \times 80}{1 + 0,7 \log(1500000)} = 4,51$$

$$\sigma_z, adm = 4,51 \text{ MPa}$$

b) Déformations admissibles verticale

Les déformations admissibles verticales sont obtenues à partir des formules suivantes :

$$\epsilon_{zadm} = 16000 * N^{-0,222} \text{ pour les chaussées à faible trafic } (T \leq T3)$$

Le trafic du projet étant de type T2 ϵ_{zadm} est donc calculé de la manière suivante :

$$\epsilon_{zadm} = 16000 * N^{-0,222}$$

$$\text{AN : } \epsilon_{zadm} = 16000 * (1500000)^{-0,222} = 680,8 \text{ } \mu\text{déf}$$

$$\epsilon_{zadm} = 680,8 \text{ } \mu\text{déf}$$

5. Vérification des contraintes et déformation par Alizé

Nous avons utilisé les abaques du CEBTP pour déterminer une variante de la structure de chaussée. Mais nous avons aussi les méthodes rationnelles, plus précises, qui prennent en compte le comportement mécanique des matériaux et impliquent la notion de contraintes admissibles.

Parmi ces méthodes dites rationnelles, nous avons la méthode rationnelle française du LCPC-SETRA qui convient bien au dimensionnement des chaussées dans la région. On a le logiciel ALIZE LCPC qui a été créé pour faciliter la mise en œuvre de la méthode. La figure N°5 nous présente des détails de calcul sur alize.

Alizé-Lcpc - Résultats (Structure : données écran - cf. C:\... Documents\STAGE2018.c

C:\... Documents\STAGE2018.dat

| épais. (m) | module (MPa) | coefficient Poisson | Zcalcul (m) | EpsT (μdef) | SigmaT (MPa) | EpsZ (μdef) | SigmaZ (MPa) |
|------------|----------------|---------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| 0.150 | 400.0 collé | 0.350 | 0.000 | -235.1 | -0.044 | 600.4 | 0.657 |
| | | | 0.150 | -274.6 | 0.020 | 820.5 | 0.359 |
| 0.200 | 400.0 collé | 0.350 | 0.150 | -274.6 | 0.020 | 820.5 | 0.359 |
| | | | 0.350 | -244.4 | -0.069 | 360.6 | 0.110 |
| infini | 200.0 | 0.350 | 0.350 | -244.4 | -0.005 | 530.5 | 0.110 |

Figure 5 : Détails de calcul et de vérifications avec le logiciel ALIZE

Après modélisation de la structure de chaussée dans ALIZE LCPC les résultats nous ont permis de faire une comparaison entre les valeurs admissibles et les valeurs réelles de déformation. Le tableau 14 nous présente les résultats obtenus.

Tableau 14 : Valeurs admissibles

| STRUCTURE DE CHAUSSEE | | Déformations verticales | | Contraintes verticales | |
|-----------------------|-------------|--------------------------------------|-------|-------------------------|--------|
| | | εz de calcul | εzadm | σz de calcul | σz adm |
| | | μdéf | μdéf | MPa | MPa |
| Couche de base | Résultats | 820,5 | 680,8 | 0,657 | 4,51 |
| | Observation | εzcalcul < εzadm ⇒ pas bon | | σz calcul < σz adm ⇒ ok | |
| Couche de Fondation | Résultats | 820,5 | 680,8 | 0,359 | 1,69 |
| | Observation | εzcalcul < εzadm ⇒ pas bon | | σz calcul < σz adm ⇒ ok | |
| Sol de plateforme | Résultats | 530,5 | 680,8 | 0,110 | 0,845 |
| | Observation | εzcalcul < εzadm ⇒ ok | | σz calcul < σz adm ⇒ ok | |

Conclusion : Les contraintes des matériaux sous-jacentes sont toutes inférieures aux valeurs admissibles mais les déformations en dessous de la couche de base et au-dessus de la couche de fondation sont supérieures à la déformation admissible. Nous allons donc augmenter l'épaisseur de la couche de base et refaire les vérifications. Il faut considérer une nouvelle structure.

Pour la nouvelle vérification nous avons :

- Couche de roulement : enduit superficiel tri-couche ;
- Couche de base : 20 cm de grave latéritique naturel ;
- Couche de fondation : 20 cm de grave latéritique naturel.

La figure 6 et le tableau N°15 suivant nous présente les résultats obtenus avec la nouvelle variante de couches de chaussée.

Alizé-Lcpc - Résultats (Structure : données écran - cf. C:\... Documents\STAGE2018.c

| C:\... Documents\STAGE2018.dat | | | | | | | |
|--------------------------------|----------------|---------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| épais. (m) | module (MPa) | coefficient Poisson | Zcalcul (m) | EpsT (µdef) | SigmaT (MPa) | EpsZ (µdef) | SigmaZ (MPa) |
| 0.200 | 400.0 collé | 0.350 | 0.000 | -243.0 | -0.050 | 611.3 | 0.657 |
| | | | 0.200 | -232.9 | 0.004 | 614.1 | 0.259 |
| 0.200 | 400.0 collé | 0.350 | 0.200 | -232.9 | 0.004 | 614.1 | 0.259 |
| | | | 0.400 | -205.9 | -0.061 | 316.4 | 0.094 |
| infini | 200.0 | 0.350 | 0.400 | -205.9 | -0.005 | 463.2 | 0.094 |

Figure 6 : Résultats obtenus avec Alize

Tableau 15 : Résultats obtenus avec la nouvelle variante de couches de chaussée.

| STRUCTURE DE CHAUSSEE | | Déformations verticales | | Contraintes verticales | |
|-----------------------|-------------|-------------------------|-------|-------------------------|--------|
| | | εz de calcul | εzadm | σz de calcul | σz adm |
| | | µdéf | µdéf | MPa | MPa |
| Couche de base | Résultats | 614,3 | 680,8 | 0,259 | 4,51 |
| | Observation | εzcalcul < εzadm ⇒ ok | | σz calcul < σz adm ⇒ ok | |
| Couche de Fondation | Résultats | 614,1 | 680,8 | 0,259 | 1,69 |
| | Observation | εzcalcul < εzadm ⇒ ok | | σz calcul < σz adm ⇒ ok | |
| Sol de plateforme | Résultats | 463,2 | 680,8 | 0,094 | 0,845 |
| | Observation | εzcalcul < εzadm ⇒ ok | | σz calcul < σz adm ⇒ ok | |

Choix : Après vérification, il ressort que les valeurs de calcul sont bien inférieures aux valeurs admissibles. D'où nous optons pour la structure de chaussée suivante : (Voir tableau N°16)

Tableau 16 : Structure définitive de chaussée

| | |
|---------------------|------------------------------------|
| Revêtement | Enduit superficiel tri-couche |
| Couche de base | 20cm Graveleux latéritique naturel |
| Couche de fondation | 20cm Graveleux latéritique naturel |

Conclusion

Les déformations et les contraintes des matériaux sous-jacentes sont toutes inférieures aux valeurs admissibles donc la nouvelle structure de chaussée choisie peut être adopté pour notre projet. Nous retenons une chaussée de 20 cm de graves latéritiques comme couche de fondation, 20 cm de graves latéritiques comme couche de base et une couche de revêtement tri couche en enduit superficiel. Les vérifications montrent que la chaussée qui est posée sur une plateforme de classe S4, résistera au trafic qui lui sera imposé qui est de type T2 pendant sa durée de vie.

CHAPITRE III : Assainissement routier

Introduction

Les études hydrologiques et hydrauliques ont pour but de dimensionner les ouvertures d'ouvrages capables d'évacuer l'eau hors de la chaussée. Pendant la période de crue importante, ces ouvrages, s'ils sont bien dimensionnés, permettront d'assainir la route et d'éviter la dégradation de celle-ci. Dans ce chapitre nous allons d'abord déterminer les différentes caractéristiques des bassins versants pour ensuite déterminer les sections hydrauliques des caniveaux et dalot et enfin faire le dimensionnement structural des ouvrages hydraulique.

I. Étude hydrologique

L'étude hydrologique fournit les données sur les débits et les caractéristiques d'écoulement des cours d'eau. Elle fournit la base de calcul du dimensionnement hydraulique des ouvrages d'assainissement.

Les données pluviométriques de la région étant données, l'analyse fréquentielle se fera avec le logiciel Hyfran. On obtient les résultats suivants (voir tableau 17) :

Tableau 17 Caractéristiques des données pluviométriques

| Caractéristiques | Valeurs |
|-----------------------|---------|
| Nombre d'échantillons | 29,0 |
| Maximum | 261,0 |
| Minimum | 44,0 |
| Moyenne | 71,3 |
| Écart type | 39,8 |
| Médiane | 62,0 |

1. Délimitation des bassins versants

La délimitation des bassins versants permet, à l'aide du Système d'Information Géographique SIG, d'avoir une idée sur les différentes caractéristiques intervenant dans le calcul du débit ruisselé.

Pour cela, nous avons utilisé le logiciel ArcGIS pour déterminer la zone des bassins versant intervenants sur les différentes voies, chose qui nous permettra d'aboutir aux résultats suivants (figure 7 et tableau 18).

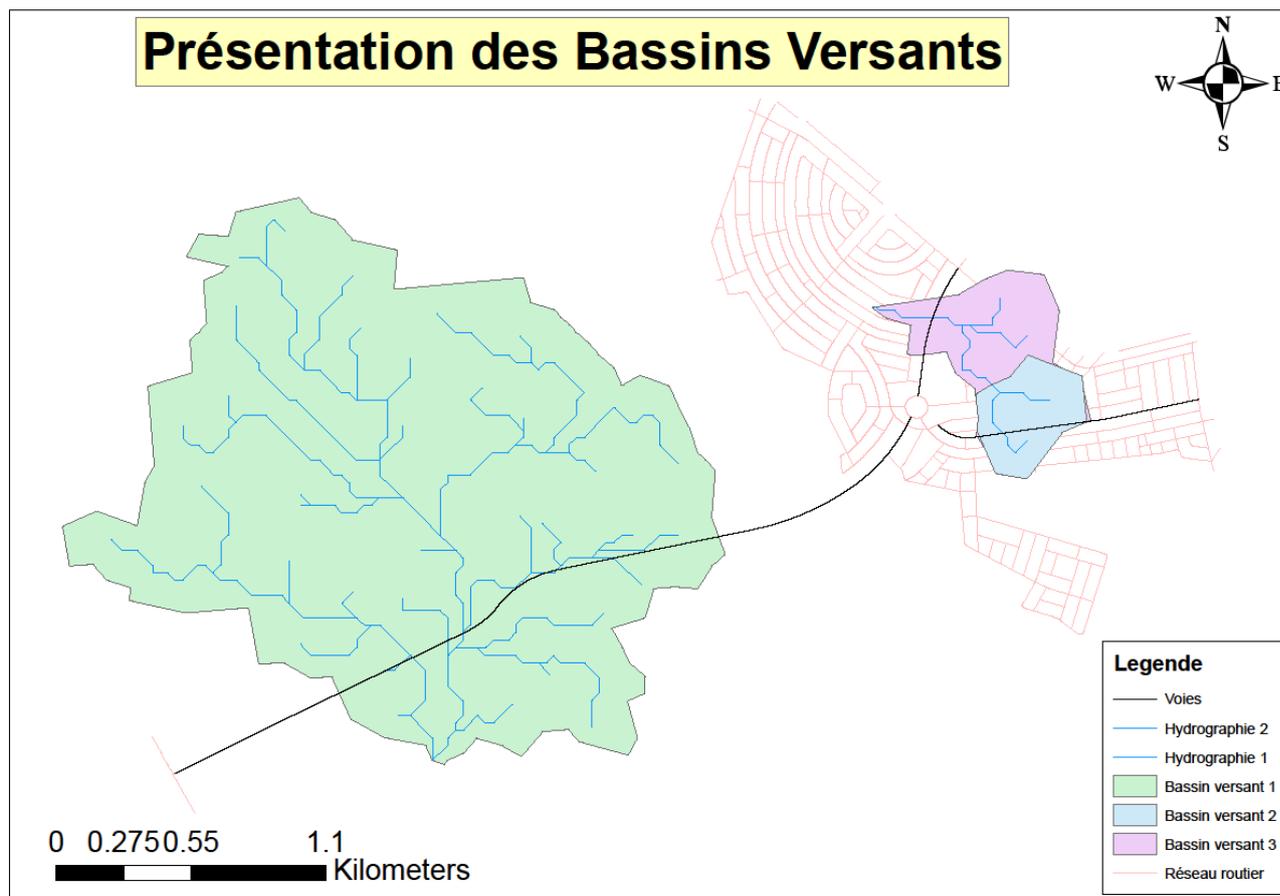


Figure 7 : Présentation des bassins versants

Tableau 18 : Caractéristiques des bassins versants

| Bassin versant | S (km ²) | P (km) | Z min | Z max | Longueur (km) |
|------------------|----------------------|--------|-------|-------|---------------|
| BV1 voie d'accès | 2.83 | 8.62 | 297 | 320 | 3.52 |
| BV2 | 0.146 | 1.499 | 311 | 317 | 0.764 |
| BV3 | 0.246 | 2.840 | 307 | 322 | 0.99 |

2. Présentation des différentes méthodes d'évaluation des débits.

L'évaluation du débit de crue décennale peut être faite à partir du manuel élaboré par les équipes du CIEH, l'ORSTOM, du Laboratoire Commun de Télédétection CEMAGREF-ENGREF (LCT) et de la FAO et de « Hydraulique Routière ».

Le « Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins

versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche » définit les deux (2) méthodes actualisées ORSTOM et CIEH.

Ces méthodes s'appliquent aux bassins versants situés entre les isohyètes annuelles 150 - 200 et 1200 mm, ayant des superficies comprises entre 0,2 ou 1-2 Km² à 1500 ou 2000 Km².⁸

L'hydraulique routière donne la méthode rationnelle utilisée pour l'estimation des débits de crues des petits bassins dont la superficie ne dépasse pas 2 Km².

Pour ce projet les méthodes ORSTOM et rationnelle seront utilisées pour l'évaluation des débits des différents bassins versants.

3. Détermination du débit pour les ouvrages transversaux

L'étude hydrologique a pour objectif principal le calcul des débits maximum (période de crue) afin de dimensionner leurs sections hydrauliques.

La Méthode ORSTOM.

Cette méthode est appliquée aux bassins versant dont la superficie est supérieure à 2km².⁹

a) Calcul du débit pour le bassin BV1 de la voie d'accès

Le débit de pointe décennale est calculé par la formule : $Q_{10} = A P_{10} K_{r10} \alpha_{10} \frac{S}{T_{b10}}$

Q_{10} : débit de pointe en m³/s

A : coefficient d'abattement

P_{10} : hauteur de pluie journalière décennale

K_{r10} : coefficient de ruissèlement correspondant à la pluie décennale

α_{10} : coefficient de pointe correspondant à la pluie décennale

S : surface du bassin versant

T_{b10} : temps de base correspond à la pluie décennale

- Calcul du coefficient d'abattement

$$A = 1 - 0.001(9 \log_{10} T - 0.042 P_{an} + 152) \log_{10} S$$

$$A = 1 - 0.001(9 \log_{10} 50 - 0.042 * 747 + 152) * \log_{10} 2.83$$

$$A = 0.99$$

⁸ FAO, Crues et apports, *Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche*, 1996.

⁹ FAO, Crues et apports.

Calcul de la hauteur de pluie décennale P_{10}

La pluie moyenne de fréquence décennale est calculée en appliquant à P_{10} le coefficient d'abattement A, déterminé à l'aide de l'équation de Vuillaume. Sa valeur est donnée par la formule suivante :

$$P_{m10} = A \times P_{10}$$

Donc $P_{m10} = 95.55 \times 0.99 = 94,59 \text{ mm}$

$$P_{m10} = 94,59 \text{ mm}$$

Calcul du coefficient de ruissèlement correspondant à la pluie décennale

Tableau 19 : Paramètres de l'équation de Kr en fonction en zone sahélienne en fonction la perméabilité et de l'indice de pente¹⁰

| Perméabilité du bassin | Indice global | Kr70 pour pluie journalière décennale | | | Kr100 pour pluie journalière décennale | | |
|------------------------|---------------|---------------------------------------|-----------|-------------|--|-----------|-----------|
| | Ig | a | b | c | a | b | c |
| PI | 15 | 3650 | 51 | 27 | 5528 | 69 | 28 |
| | 7 | 2636 | 41 | 23 | 3656 | 51 | 26 |
| | 3 | 2239 | 39 | 22 | 2727 | 44 | 25 |
| I | 15 | 1455 | 33 | 21 | 1833 | 38 | 24 |
| | 7 | 1140 | 30 | 20 | 1476 | 37 | 22 |
| | 3 | 825 | 25 | 19 | 1125 | 32,5 | 20 |
| RI | 15 | 329 | 18,5 | 16,5 | 421 | 20,5 | 17,5 |
| | 7 | 239 | 17,7 | 14,5 | 300 | 20 | 15 |
| | 3 | 164 | 17 | 10,5 | 250 | 20 | 12 |
| P | 15 | | | | 200 | 20 | 8 |
| | 7 | 131 | 13,8 | 5 | 150 | 20 | 6 |
| TP | 7 | 35 | 5 | 1,5 | 67 | 14 | 2 |

- Détermination de Kr_{70}

$$Kr_{70} = \frac{a}{(s+b)} + c$$

$$Kr_{70} = \frac{164}{(2,83+17)} + 10,5 = 21,98$$

- Détermination de Kr_{100}

¹⁰ FAO, Crues et apports.

$$Kr_{100} = \frac{a}{(s+b)} + c$$

$$Kr_{70} = \frac{250}{(2,83+20)} + 12 = 24,00$$

L'indice globale de la pente $I_G = \frac{\Delta D}{L} = 3m/km$

$Kr_{10,1} = 22$ Pour une pluie de 70 mm

$Kr_{10,2} = 24$ Pour une pluie de 100 mm

Par interpolation $Kr_{10} = 23,64$ pour une pluie décennale de 94,59 mm

Le coefficient de pointe correspondant à la pluie décennale $\alpha_{10} = 2,6$

Calcul de temps de base correspondant à la pluie décennale

Après lecture sur la figure, on a $T_{b10} = 890 mn$

D'où : $Q_{10} = 0,99 \times 94,59 \times 23,64 \times 2,6 \times \frac{2,83}{890} = 18,30 m^3/s$

$$Q_{10} = 18.30 m^3/s$$

4. Détermination du débit pour les ouvrages longitudinaux

La mise hors d'eau de la chaussée se fera grâce à des ouvrages longitudinaux : caniveaux. La détermination du débit se fera comme suit :

La Méthode rationnelle.

Cette méthode est appliquée aux petits bassins versant dont la superficie ne dépasse pas 2km².

$$Q_{10} = \frac{CIA}{3,6}$$

a) Calcul du débit pour le bassin BV2

Le débit de pointe décennale est calculé par la formule : $Q_{10} = \frac{CIA}{3,6}$

Q_{10} : débit de pointe en m³/s

C : coefficient de ruissèlement

I : intensité critique

A : superficie du bassin versant

Détermination du coefficient de ruissèlement

D'après le manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche, le coefficient de ruissèlement pour les habitations denses est $C=0,7$.¹¹

¹¹ FAO, Crues et apports.

Détermination de l'intensité critique :

L'intensité est déterminée à partir de la relation de Montana en utilisant les paramètres pluviométriques a et b de la région d'étude pour une période de retour de 10ans en fonction du domaine de validité qui encadre le temps de concentration de l'intensité du bassin versant.

$$i = a t_c^{-b}$$

$$\text{Le temps de concentration } t_c = \frac{L}{V} = \frac{L}{1,4 \times p^{1/2}}$$

- L est le plus long chemin hydraulique du bassin
- p la pente moyenne du bassin

Calcul de L

$$L=2\sqrt{S} \Rightarrow L = 2 * \sqrt{0,146} = 0,764\text{km}$$

$$P = \frac{\Delta z}{\Delta l} = \frac{90}{764,2} = 0,12$$

$$t_c = \frac{L}{1,4 \times p^{1/2}} = \frac{764}{1,4 \times 0,12^{1/2}} = 1575,3\text{s Soit } 26,26 \text{ mn}$$

Pour les pays de L'Afrique de l'Ouest, les coefficients a et b de la formule de Montana sont :

$$a = 7,5 \text{ et } b = 0,5 ,$$

$$\text{L'intensité } i = 7,5 \times 26,26^{-0,5} = 1,46 \text{ mm/mn} = 87,81\text{mm/h}$$

$$\text{Le débit de pointe décennale est alors, } Q_{10} = \frac{0,7 \times 87,81 \times 0,146}{3,6} = 2,49 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{10} = 2,50 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) Calcul du débit pour le bassin BV3

Le débit de pointe décennale est calculé par la formule : $Q_{10} = \frac{CIA}{3,6}$

Q_{10} : débit de pointe en m^3/s

C : coefficient de ruissèlement

I : intensité critique

A : superficie du bassin versant

Détermination du coefficient de ruissèlement

D'après le manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche, le coefficient de ruissèlement pour les habitations denses est $C=0,7^{12}$

¹² FAO, Crues et apports.

Détermination de l'intensité critique :

L'intensité est déterminée à partir de la relation de Montana en utilisant les paramètres pluviométriques a et b de la région d'étude pour une période de retour de 10ans en fonction du domaine de validité qui encadre le temps de concentration de l'intensité du bassin versant.

$$i = a t_c^{-b}$$

$$\text{Le temps de concentration } t_c = \frac{L}{V} = \frac{L}{1,4 \times p^{1/2}}$$

- L est le plus long chemin hydraulique du bassin
- p la pente moyenne du bassin

Calcul de L

$$L=2\sqrt{s} \Rightarrow L = 2 * \sqrt{0,246} = 0,99\text{km}$$

$$P = \frac{\Delta z}{\Delta l} = \frac{90}{1190} = 0,076$$

$$t_c = \frac{L}{1,4 \times p^{1/2}} = \frac{990}{1,4 \times 0,076^{1/2}} = 2565,07\text{s}$$

Soit 42,75 mn

Pour les pays de L'Afrique de l'Ouest, les coefficients a et b de la formule de Montana sont :

$$a = 7,5 \text{ et } b = 0,5$$

$$\text{L'intensité } i = 7,5 \times 42,75^{-0,5} = 1,14 \frac{\text{mm}}{\text{mn}} = 68,4\text{mm/h}$$

Le débit de pointe décennale est alors,

$$Q_{10} = 3,52 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q_{10} = \frac{0,7 \times 68,4 \times 0,267}{3,6} = 3,18 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tableau 20 : Récapitulatif des débits

| Bassins Versants | Débits(m ³ /s) |
|------------------|---------------------------|
| BV1 | 18,30 |
| BV2 | 2,50 |
| BV3 | 3,18 |

II. Étude hydraulique

Dans ce projet routier, l'assainissement est un élément essentiel qui conditionne le comportement de la route. La dégradation d'une route est en majeure partie due à l'insuffisance du drainage en période d'inondation. L'eau pénètre dans le corps de chaussée et réduit la capacité portante de l'ensemble, de la plate-forme, il y a des dégradations des talus, etc. et pour empêcher tous ces problèmes, on doit faire un bon drainage.

1. Drainage de la route

Pour qu'un corps de chaussées puisse acquérir une longue durée de vie, et pour qu'il réponde à sa fonction, il faut que l'eau de ruissellement en surface et celle qui s'infiltré dans les couches inférieures de la chaussée soit évacuée avec soin.

De ce fait, il est donc justifié de considérer le rétablissement des écoulements et le drainage comme une partie essentielle dans une conception économique de la route, pouvant et devant même influencer le choix du tracé.

Pour assurer l'assainissement routier et permettre la circulation des eaux de ruissellement, on utilise les ouvrages hydrauliques suivants :

- les ouvrages parallèles à l'axe de la route,
- les ouvrages transversaux de Franchissement,

2. Types d'ouvrages hydrauliques

a) *Les buses*

Les buses sont utilisées exclusivement dans des sections où l'on dispose d'une épaisseur suffisante de remblai (un minimum de 80 cm de remblai est nécessaire au-dessus de la buse) ou des hauteurs de remblais plus élevées.¹³

Deux types de buses sont couramment utilisés : les buses circulaires et les buses en arches. Elles peuvent être en béton ou métallique.

b) *Les dalots*

Les ouvrages tels que les dalots servent au franchissement des cours d'eau ou à l'assainissement. Les méthodologies pour l'étude de ceux-ci sont totalement différentes de celles des grands ouvrages tels que les ponts. Une circulation à même la dalle peut être envisagée moyennant des précautions lors de la construction. Ils ne peuvent en général admettre

¹³ Nguyen VAN TUU, *Hydraulique routière*, 1979.

qu'une petite épaisseur de remblai de l'ordre de 1m ou 2m à moins d'être spécialement calculés pour les surcharges élevées de remblais. Il faut noter que ces remblais sont à proscrire si la chaussée doit être revêtue.

Trois types de dalots sont couramment utilisés :

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

3. Critères de choix d'une option

Le choix d'un type d'option d'aménagement (type de structure de chaussées, type d'ouvrage hydraulique) est conditionné par les critères techniques et économiques. La solution techniquement possible ne coïncide pas forcément avec l'optimum économique car les prix unitaires des différentes options ne sont pas les mêmes. Le choix de la structure de chaussée et du type d'ouvrage hydraulique doit correspondre à la politique routière suivie par le maître d'ouvrage, visant à un équilibre entre investissement initial et entretien.

Les principaux critères que nous retenons comme déterminants sont :

- Critères économiques qui résident dans les coûts de construction, de maintenance
- Critères techniques durée de construction, déroulement, équipements nécessaires, disponibilité des matériaux, etc.
- Critères liés au développement durable : nuisances, énergie consommée, distances de transport, etc.

4. Choix du type d'ouvrage

Pour ce projet, le choix s'est porté exclusivement sur **les ouvrages hydrauliques types dalots et caniveau** pour assainir la route.

5. Dimensionnement hydraulique des ouvrages

a) Caniveau

Dans le souci de faciliter l'exécution et l'entretien, il a été retenu des caniveaux pour l'assainissement longitudinal de la chaussée dans la zone urbaine (voiries). Les caniveaux ont

été dimensionnés (écoulement non permanent uniforme) à l'aide de la formule de Manning – Strickler dont l'expression est la suivante :

$$Q = S \times K \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

Avec :

Q : débit en m³/s ;

R : rayon hydraulique (en m) ;

S : section d'écoulement (en m²)

I : pente du caniveau

K : coefficient de rugosité de Strickler (67 pour notre cas puisque nous sommes en présence des ouvrages en béton) ;

En fonction du débit d'évacuation, la section du caniveau varie, fluctuation due à l'importance du débit. Nous avons opté pour des caniveaux de section rectangulaire. Partant de l'hypothèse d'une section hydrauliquement favorable, nous avons :

$$P = b + 2yn$$

$$S = b \times yn$$

Le débit Q devient alors :

$$Q = \frac{K \times (b + yn)^{5/3}}{(b + 2y)^{2/3}}$$

yn : la profondeur d'eau normale du caniveau ;

b : la largeur au fond du caniveau

Détermination de la profondeur normale (Y_n) pour le caniveau 1 et 2 :

Il existe plusieurs méthodes pour le calcul de Y_n , mais pour la présente étude, nous avons utilisé la méthode de la débitance qui est une méthode itérative, dont les résultats obtenus sont résumés comme suit :

Tableau 21 : Données d'entrée pour dimensionner le Caniveau 1

| | | | | | |
|------------------|-------------------------------------|----------|-----------|---|-----|
| Données d'entrée | Q.Proj | I | Ks | m | b |
| | 0,985 | 0,005 | 67 | 0 | 1,2 |
| Formules | $P = b + 2yn$ | | | $RH = \frac{S}{P}$ | |
| | $S = b \times yn$ | | | $Q.ittér = Ks \times S \times RH^{2/3}$ | |

Tableau 22 : Résultats obtenus pour le dimensionnement du caniveau 1

| Yn | S | P | RH | Q.ittér | V | Q.projet |
|-----------|----------|----------|-----------|----------------|----------|-----------------|
| 0,100 | 0,120 | 1,400 | 0,086 | 0,111 | 0,013 | 2,500 |
| 0,200 | 0,240 | 1,600 | 0,150 | 0,321 | 0,077 | |
| 0,300 | 0,360 | 1,800 | 0,200 | 0,583 | 0,210 | |
| 0,400 | 0,480 | 2,000 | 0,240 | 0,878 | 0,422 | |
| 0,500 | 0,600 | 2,200 | 0,273 | 1,195 | 0,717 | |
| 0,600 | 0,720 | 2,400 | 0,300 | 1,529 | 1,101 | |
| 0,700 | 0,840 | 2,600 | 0,323 | 1,874 | 1,574 | |
| 0,800 | 0,960 | 2,800 | 0,343 | 2,228 | 2,139 | |
| 0,900 | 1,080 | 3,000 | 0,360 | 2,589 | 2,796 | |
| 1,000 | 1,200 | 3,200 | 0,375 | 2,956 | 3,548 | |
| 1,100 | 1,320 | 3,400 | 0,388 | 3,328 | 4,393 | |
| 1,200 | 1,440 | 3,600 | 0,400 | 3,704 | 4,399 | |

Tableau 23 : Données d'entrée pour dimensionner le Caniveau 2

| Données d'entrée | Q.Proj | I | Ks | m | b |
|------------------|-------------------------------------|----------|-----------|---|-----|
| | 0,985 | 0,005 | 67 | 0 | 1,2 |
| Formules | $P = b + 2yn$ | | | $RH = \frac{S}{P}$ | |
| | $S = b \times yn$ | | | $Q.ittér = Ks \times S \times RH^{2/3}$ | |

Tableau 24 : Résultats obtenus pour le dimensionnement du caniveau 2

| Yn (m) | S (m²) | P (m) | RH (m) | Q.ittér | V | Q.projet |
|---------------|---------------|--------------|---------------|----------------|----------|-----------------|
| 0,100 | 0,120 | 1,400 | 0,086 | 0,111 | 0,013 | 3,180 |
| 0,200 | 0,240 | 1,600 | 0,150 | 0,321 | 0,077 | |
| 0,300 | 0,360 | 1,800 | 0,200 | 0,583 | 0,210 | |
| 0,400 | 0,480 | 2,000 | 0,240 | 0,878 | 0,422 | |
| 0,500 | 0,600 | 2,200 | 0,273 | 1,195 | 0,717 | |
| 0,600 | 0,720 | 2,400 | 0,300 | 1,529 | 1,101 | |
| 0,700 | 0,840 | 2,600 | 0,323 | 1,874 | 1,574 | |
| 0,800 | 0,960 | 2,800 | 0,343 | 2,228 | 2,139 | |
| 0,900 | 1,080 | 3,000 | 0,360 | 2,589 | 2,796 | |
| 1,000 | 1,200 | 3,200 | 0,375 | 2,956 | 3,548 | |
| 1,100 | 1,320 | 3,400 | 0,388 | 3,328 | 4,393 | |
| 1,200 | 1,440 | 3,600 | 0,400 | 3,704 | 4,399 | |

En conclusion, nous retenons pour tous nos tronçons, des caniveaux de 120*120 (cm²), pour des raisons de sécurité autrement dit, la largeur b= 120cm et la profondeur h= 120 cm.

b) *Dalots* :

Pour le calcul du dimensionnement des dalots, nous avons considéré l'écoulement dénoyé qui est celui qui est le plus fréquent.

Ainsi nous considérons l'écoulement dénoyé à sortie libre qui fonctionne à partir de la condition suivante : la hauteur amont (H_1) doit être inférieure ou égale à 1,25 fois la hauteur (D) de l'ouvrage (la condition $H_1/D < 1,25$).¹⁴

Partant des débits que nous avons obtenus lors de l'étude hydrologique, le dimensionnement hydraulique des dalots a été effectué en suivant les étapes ci-après :

1^{ère} étape : Calcul de la profondeur en amont H_1

A ce niveau il est question de calculer la profondeur amont et de vérifier si celle-ci est conforme à la situation topographique de l'ouvrage. Tout d'abord nous devons estimer une valeur approchée de D et B (respectivement la hauteur et la largeur des dalots) en utilisant pour cela la formule générale de base de l'hydraulique $Q = V \times S$, S (section mouillée) est donc obtenue comme suit : $S = \frac{Q}{V}$ (avec Q connu et V la vitesse limite fixée à 4m/s).¹⁵ Connaissant la section mouillée S , nous déduisons la largeur B tout en fixant la hauteur D .

Nous utilisons par la suite la relation suivante pour calculer le débit réduit Q^*_{H1} .

$$Q * H_1 = \left(\frac{Q}{S}\right) \times \left(\frac{1}{\sqrt{2gD}}\right)$$

Cette valeur nous donne, à partir d'un abaque (donné à l'annexe N°9), la valeur réduite H^*_1 . La valeur de H_1 est obtenue quant à elle à partir de la relation suivante :

$$H^*_1 = \frac{H_1}{D}$$

La valeur H_1 ainsi obtenue est par la suite comparée à la situation topographique de l'emplacement u projet.

2^{ème} étape : Calcul de la pente critique I_c

L'ouvrage doit être capable d'évacuer le débit critique correspondant à la profondeur H_1 amont. Pour cela, il faut que la pente longitudinale de l'ouvrage soit au moins égale à la pente critique (I supérieure ou égale à I_c). Dans cette étape nous calculerons la pente critique de l'ouvrage (notée I_c), ce qui nous permettra de choisir la pente longitudinale I à adopter pour l'ouvrage considéré.

¹⁴ VAN TUU.

¹⁵ VAN TUU.

Connaissant B et Q, nous calculons à ce niveau aussi, le débit réduit Q_i^* pour la pente critique en appliquant la formule suivante :

$$Q_i^* = \left(\frac{Q}{\sqrt{gB^5}} \right)$$

Connaissant le coefficient de rugosité de Manning Strickler K_s du matériau béton (béton=67²) et après calcul de Q_i^* , nous lisons sur un autre abaque (donné à l'annexe N°10), la valeur de la pente I_c^* qui nous permettra de déduire la pente critique I_c dans la formule suivante :

$$I_c = \left(\frac{g \times I_c^*}{K^2 \times B^{2/3}} \right)$$

Nous retenons ensuite des pentes longitudinales proches des pentes critiques calculées de telle sorte que I retenue soit supérieure ou égale à I_c .

3ème étape : Calcul de la vitesse dans l'ouvrage

A ce niveau nous déterminons les vitesses dans l'ouvrage et vérifions si celles-ci ne dépassent pas la vitesse limite (que nous avons maintenue autour à 4,5 m/s).

Nous déterminons également le débit réduit Q_v^* à partir des formules dérivées de Manning Strickler, en fonction de la pente longitudinale retenue I comme suit :

$$Q_v^* = \left(\frac{Q}{K_s \times I^{1/2} \times B^{8/3}} \right)$$

La valeur de Q_v^* obtenue nous donnera grâce à l'abaque (donné à l'annexe N°11) la valeur de V^* , qui nous permettra de déduire à son tour la vitesse V recherchée avec la relation ci-dessous :

$$V = V^* \times K_s \times B^{2/3} \times I^{1/2}$$

4ème et dernière étape 5 : Itération et vérification

Cette dernière étape est une étape de vérification de la vitesse. Si cette vitesse est acceptable (c'est-à-dire autour de 4,5 m/s) le calcul est terminé, sinon il va falloir changer les paramètres d'ouvertures du dalot à savoir B et D et reprendre totalement le cheminement.¹⁶

Les calculs explicités ci-dessus ont été reportés dans l'annexe N°8.

Calcul des capacités d'évacuation unitaire

Les résultats des calculs explicités ci-dessus donnent les éléments suivants pour des ouvertures variables. Les vitesses dans les ouvrages sont acceptables puisqu'elles varient de 3,94 à 4,26m/s. Le tableau N°25 donne les résultats des calculs des capacités unitaires des ouvrages.

¹⁶ VAN TUU.

Tableau 25 : Capacité d'évacuation des dalots

| Dimensions de l'ouvrage | Pentes critiques | Pentes retenues | Capacité d'évacuation | Vitesse dans l'ouvrage |
|-------------------------|------------------|-----------------|-----------------------|------------------------|
| 1,50 * 1,00 | 1,00 % | 1,50 % | 5,917 | 3,94 |
| 1,50 * 1,50 | 0,80 % | 1,00 % | 9,497 | 4,22 |
| 2,00 * 1,50 | 0,50 % | 0,80 % | 12,789 | 4,26 |
| 2*2,00 * 1,50 | 0,50 % | 0,80 % | 25,57 | 4,26 |

Nous optons pour un Dalot de 2x2,00x1,50 qui aura une capacité d'évacuation de 2x12,78m/s. C'est-à-dire 25,57m³/s

III. Dimensionnement structural des ouvrages hydrauliques

Cette partie se focalisera exclusivement au pré-dimensionnement des ouvrages en BA projetés et présentera un récapitulatif sous forme des tableaux des différents ferrillages obtenus. Quant aux hypothèses de calculs, les notes de calculs et les différents plans de ferrillages, nous les fournirons un peu plus en détails en annexe du présent document.

1. Dimensionnement structural des caniveaux

L'objectif est de vérifier que le dimensionnement adopté pour les caniveaux leur confère le niveau de fiabilité requis compte tenu de la qualité exigée des matériaux qui seront utilisés et du niveau de contrôle prévu lors de l'exécution.

a) Pré dimensionnement du caniveau

Pré dimensionner un ouvrage revient à déterminer ses dimensions qui serviront par la suite au calcul structural. La section de notre caniveau étant déjà déterminée à travers le calcul hydraulique, il nous reste à calculer l'épaisseur de ce caniveau. Cette épaisseur est fonction de la base.¹⁷ Elle est obtenue à partir de la formule suivante :

$$e = \frac{b}{32} + 0,125$$

Avec b : la largeur du caniveau et

e : l'épaisseur. $e \cong 0,15 \text{ m}$

NB : Nous adoptons $e = 15\text{cm}$ pour le caniveau.

¹⁷ Ministère de l'équipement, des transports et du logement, « Fascicule 62 Titre I section I du CCTG: Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites - BAEL 91 révisé 99 », 1999.

b) Récapitulatif du dimensionnement structural du caniveau

Le tableau 26 nous donne un résumé des sollicitations et du choix des armatures du caniveau.

Pour plus de détail sur le dimensionnement structural du caniveau [voir la note de calcul en annexe N°12](#). Pour le ferrailage [Voir l'annexe 13 pour le plan de ferrailage](#)

Tableau 26 : Récapitulatif du ferrailage du caniveau 120*120

| TABLEAU RECAPITULATIF DU FERRAILAGE DU CANIVEAU | | | | | | |
|---|----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Types d'armature | | DALLETTE | PIEDS DROITS | | RADIER | |
| | | | Face intérieure | Face extérieure | Face supérieure | Face extérieure |
| Armature principales | Section calculées | 6,39 cm ² | 1,45 cm ² | 5,51 cm ² | 5,51 cm ² | 1,45 cm ² |
| | Choix des armatures | 5 cadres HA 10 Es = 9,75cm | 5 HA8 Es = 20 cm | 5 HA12 Es = 20 cm | 5 HA12 Es = 20 cm | 5 HA8 Es = 20 cm |
| | sections totalisées | 7,86 cm ² | 2,51 cm ² | 5,65 cm ² | 5,65 cm ² | 2,51 cm ² |
| Armatures de répartition | Section calculées | 1,835 cm ² | 1,45 cm ² | 1,45 cm ² | 1,45 cm ² | 1,45 cm ² |
| | Choix des armatures | 4HA 8 Es = 20 | 4 HA8 Es = 20 cm | 4 HA8 Es = 20 cm | 4 HA8 Es = 20 cm | 4 HA8 Es = 20 cm |
| | sections totalisées | 2,01 cm ² | 2,01 cm ² | 2,01 cm ² | 2,01 cm ² | 2,01 cm ² |

2. Dimensionnement structural du dalot (2 × 2 × 1.5)

L'objectif est de vérifier que le dimensionnement adopté pour le dalot lui confère le niveau de fiabilité requis compte tenu de la qualité exigée des matériaux qui seront utilisés et du niveau de contrôle prévu lors de l'exécution.

a) Pré dimensionnement du dalot

Cette étape permet de définir les épaisseurs des différents éléments constitutifs du dalot.

L'épaisseur sera considérée uniforme pour le tablier, le radier et les piédroits.

Généralement, l'épaisseur du dalot est environ égale à :

$$e = \frac{l}{15} \text{ Où } l \text{ est la plus grande dimension de la cellule hydraulique. }^{18}$$

$$\text{Dans notre cas } l = 2 \text{ m} \Rightarrow e = \frac{200}{15} = 13,33 \text{ cm}$$

¹⁸ Ministère de l'équipement, des transports et du logement.

Pour nous assurer qu'il n'y aura pas d'acier comprimé et transversal dans le tablier, on peut utiliser la condition sur l en fonction de la hauteur de remblai H :

$$H < 2 \text{ m} ; e = l/10 - 5 \text{ cm}$$

$$e = 200/10 - 5 = 15 \text{ cm}$$

Finalement l'épaisseur e sera égale à :

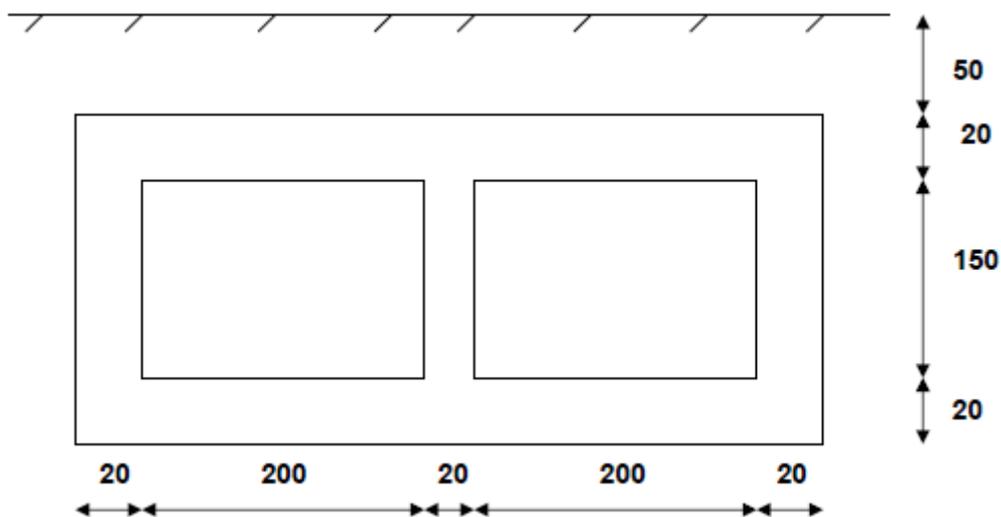
$$e = \max(13,33; 15) = 15 \text{ cm}$$

$$e = 15 \text{ cm}$$

Vu l'absence de goussets sur le dalot, il sera nécessaire d'épaissir les traverses et les piédroits.

Donc nous prendrons une épaisseur finale de :

$$e = 20 \text{ cm}$$



b) Récapitulatif du dimensionnement structural du dalot 2x2x1,5

Le tableau 27 nous donne un résumé des sollicitations et du choix des armatures du caniveau.

Pour plus de détail sur le dimensionnement structural du dalot [voir la note de calcul en annexe N°14](#). Pour le ferrailage [Voir l'annexe 15 pour le plan de ferrailage](#) :

Tableau 27 : Récapitulatif du ferrailage du dalot 2x2x1.5

| | Sollicitations | | Valeurs (kN.m et kN) | Aciers principaux (cm ²) | Choix des armatures | Sections totalisées (cm ²) | Aciers de répartition | Choix des armatures | Sections totalisées (cm ²) |
|------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|---------------------|--|-----------------------|---------------------|--|
| Tablier | Moment fléchissant | Travée A-B et B-C (lit inférieur) | 30,874 | 10,42 | 10HA12 | 11,31 | 4,35 | 6HA10 | 4,71 |
| | | Appuis B (lit supérieur) | 36,23 | 12,22 | 11HA12 | 12,44 | 4,35 | 6HA10 | 4,71 |
| | | Aux abouts A et C (lit supérieur) | 15,437 | 5,21 | 7HA10 | 5,50 | 4,35 | 6HA10 | 4,71 |
| Radier | Moment fléchissant | Travée A-B et B-C (lit supérieur) | 19,154 | 6,46 | 9HA10 | 7,07 | 4,35 | 6HA10 | 4,71 |
| | | Appuis B (lit inférieur) | 28,33 | 9,56 | 9HA12 | 10,18 | 4,35 | 6HA10 | 4,71 |
| Piédroit central B | Effort normal | | 186,39 | 9,6 | 9HA12 | 10,18 | 4,35 | 6HA10 | 4,71 |
| Piédroits extérieurs A et c | Flexion composée | | M= 39,62 N = 70,57 | 11,7 | 15HA10 | 11,79 | 2,17 | 3HA10 | 2,36 |

Conclusion

L'étude d'assainissement de ce projet a abouti au dimensionnement structural des ouvrages. En effet 1 dalot de sections 2x2x1,5 et des caniveaux de section 120x120, seront nécessaires pour assainir les voiries urbaines de la ville nouvelle de Yennenga de. Après cela, nous entamons au prochain chapitre signalisation routière et l'éclairage public.

CHAPITRE IV : Signalisation routière et éclairage public

Introduction

Pour le bien des usagers et des riverains, la construction routière nécessite un certain nombre de précautions à prendre pendant et après la réalisation, pour garantir la sécurité des travailleurs sur le chantier et des usagers, ainsi que pour garantir la pérennité de l'ouvrage.

La sécurité des usagers est aussi conditionnée par la visibilité nocturne. C'est dans cette optique qu'intervient l'étude de l'éclairage public pour permettre de faire le choix des luminaires, des candélabres et leur condition d'implantation.

I. Signalisation routière

1. Signalisation horizontale

Elle regroupe l'ensemble des marquages portés au sol dans le but d'indiquer sans ambiguïté les parties de la plate-forme réservées aux différents sens de circulation, ou à une certaine catégorie d'usagers.¹⁹ Pour ce projet, les marquages horizontaux sont constitués essentiellement :

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

2. Signalisation verticale

Cette signalisation regroupe les panneaux de signalisation dont l'objectif essentiel est de fournir conformément au code de la route et aux normes techniques utilisées pour la conception géométrique de la voirie, une lisibilité et une compréhension aisées pour les usagers.²⁰ Dans le cadre de ce projet, les panneaux utilisés pour la signalisation verticale sont :

- Le panneau AB3a (Cédez le passage) placé à l'approche du rond-point ;
- Le panneau AB4 (Stop) placé au niveau des amorces ;
- Le panneau AB25 (Carrefour à sens giratoire) placé à l'approche du rond-point ;
- Le panneau B14 (Limitation de vitesse) placé à l'entrée de la zone du projet ;
- Le panneau B21-1 (Obligation de tourner à droite avant le panneau) placé au niveau du rond-point ;
- Le panneau C20a (Passage pour piétons) placé à chaque traversée ;

¹⁹ Ministère des transports, « Instruction interministérielle sur la signalisation routière », arrêté du juin 1977.

²⁰ Ministère des transports.

- Le panneau D42b (Panneau de pré signalisation diagrammatique à sens giratoires) placé à l'approche du rond-point ;
- Le panneau J5 (Signalisation des têtes d'îlots directionnels à contournement par la droite) placé en tête des îlots séparateurs.

Les différents panneaux sont représentés à [l'annexe N°17](#).

II. Eclairage public

L'éclairage public doit permettre aux usagers de la voie publique de circuler de nuit avec une sécurité et un confort aussi élevé que possible. Il permet à l'automobiliste la perception et la localisation des points singuliers de la route et des obstacles éventuels. Pour le piéton, il s'agit d'assurer la visibilité distincte des bordures de trottoirs, des véhicules et des obstacles et d'éviter les zones d'ombres. Par ailleurs il faut noter que lorsque l'éclairage public est réalisé dans une zone, cela diminue le nombre d'accidents et d'agressions.²¹

1. Matériels d'éclairage

Pour ce projet nous utiliserons des lampes à incandescence qui sont d'utilisation plus courante et offrent un confort visuel appréciable. Ces lampes ont une durée de vie moyenne de 1000 heures. On distingue plusieurs types de candélabres présentant chacun des avantages et des inconvénients répertoriés dans le tableau N°28 :

Tableau 28 : Types de candélabres

| Type de candélabre | Avantages | Inconvénients |
|-----------------------------------|--|--|
| Candélabre en acier | Bonne résistance aux chocs Bonne résistance à la corrosion (traitement) Relativement peu couteux | Nécessite un traitement pour une protection contre la corrosion (peinture avec couche anti-corrosion galvanisation à la chaux) |
| Candélabre en alliage d'aluminium | Excellente tenue à la corrosion et aux facteurs climatiques Ne nécessite aucun entretien | Assez couteux Précaution de mise œuvre rigoureuse, main d'œuvre qualifiée |
| Candélabre en béton | Ne nécessite aucun entretien Bonne résistance aux chocs | Très lourds Manque d'esthétique |

²¹ Ministère des transports.

Notre choix se portera sur le candélabre type acier. En effet, vu le rapport avantages/inconvénients et la disponibilité de la matière, nous le préférons aux autres.

2. Implantation des candélabres

On distingue plusieurs types d'implantations faisant intervenir la largeur des voies et la hauteur de feu :

- Implantation unilatérale qui n'est recommandée que dans le cas où la largeur de chaussée est proche ou inférieure à la hauteur de feu ;
- Implantation bilatérale en quinconce : applicable pour les chaussées dont la largeur est inférieure à 1,5 fois la hauteur de feu. Ce type d'implantation est à éviter dans les courbes
- Implantation bilatérale vis-à-vis de la voie lorsque la largeur de la chaussée est supérieure à 1,5 fois la hauteur du feu ;
- Implantation axiale pour des cas particuliers ;
- Implantations sur caténaire et implantation sur terre-plein qui sont adaptées aux chaussées doubles.

Au vu des rapports existants entre la hauteur de feu et la largeur de la route, nous optons pour une implantation sur terre-plein pour les voies ayant un terre-plein, et une implantation bilatérale vis-à-vis pour les voies n'ayant pas de terre-plein. La configuration adoptée nous permet de calculer la hauteur de feu qui est : $h = l/2$ soit $h = 10m$ pour toutes les voies. On prendra donc des candélabres avec une hauteur de feu de 10m.

L'espacement entre les candélabres est $e = 3h$, soit une distance entre chaque candélabre de 33m. Avec cet espacement, nous avons déterminé le nombre de candélabre sur les différentes voies. Les candélabres utilisés sont à double foyer placés au niveau du terre-plein central et au niveau des voies sans terre-plein les candélabres utilisés sont à simple foyer.

Sur la voie d'accès (candélabres à double foyer)

$$L=3373m \quad \Rightarrow n = \frac{3373}{33} = 102,21$$

Nous prenons $n=102$

Sur la voie T1 (candélabres à double foyer)

$$L=558m \quad \Rightarrow n = \frac{558}{33} = 16,91$$

Nous prenons $n=17$

Sur la voie B15 (candélabres à simple foyer)

$$L=1060m \quad \Rightarrow n = \frac{1060}{33} = 32,12$$

Nous prenons $n= 32$

Donc nous avons un total de 119 candélabres à double foyer et 32 candélabres à foyer simple.

Conclusion

Au terme de ce chapitre, signalisation routière et l'éclairage ont été abordées. S'agissant du premier aspect, il sera réalisé des lignes continues, des lignes discontinues d'axes et des lignes de rive. Des panneaux de signalisation tels que les panneaux de signalisation de danger, de prescription, d'indication etc... 151 candélabres équipés des kits complets au total seront nécessaires pour assurer l'éclairage des voiries urbaines de la ville nouvelle de Yennenga.

CHAPITRE V : Études d'impact environnemental et social

Introduction

Ce chapitre apportera de la lumière sur les impacts environnementaux que va générer ce projet pour ensuite proposer les mesures d'atténuation et de correction.

Étude d'impact environnemental et social

1. Cadre législatif et institutionnel

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

A ce jour, plusieurs textes d'application du code de l'environnement ont été adoptés par le Gouvernement, et traitent à la fois des questions de prévention et de gestion des pollutions de même que le respect des normes environnementales en vigueur. La mise en œuvre du projet, devra s'y référer. Il s'appuiera essentiellement sur les textes suivants :

- Le décret n°2001-185/PRE/PM/MEE du 07 mai 2001, portant fixation des normes de rejets des polluants dans l'air, l'eau et les sols ;
- Le décret n°98-322/PRES/PM/MEE/MIHU/MATS/MEF/MEM/MCC/MCIA du 28 juillet 1998 qui fixe les conditions d'ouverture des établissements dangereux, insalubres et incommodes (EDII). L'article 2 de ce décret précise que « les EDII sont ceux présentant des dangers ou des inconvénients, soit pour la commodité du voisinage, soit pour la santé et la sécurité publique, soit pour l'agriculture, le cadre de vie, la conservation des sites, espaces, monuments et la diversité biologique » ;
- Le décret n°2001-342/PRES/PM/MEE du 17 juillet 2001 portant champ d'application, contenu et procédure de l'étude et de la notice d'impact sur l'environnement. En effet ce décret a l'avantage d'avoir classé les activités susceptibles d'avoir des impacts significatifs directs ou indirects sur l'environnement en trois (03) catégories :
 - Catégorie A : activités soumises à une étude d'impact sur l'environnement ;
 - Catégorie B : Activités soumises à une notice d'impact sur l'environnement
 - Catégorie C : Activités qui ne sont pas soumises à une étude d'impact sur l'environnement.

Notre projet se classe en catégorie A (Bitumage de route) et fait l'objet d'une Étude d'Impact Environnemental (EIE).

2. Les différents enjeux environnementaux et sociaux

Le projet présente des enjeux majeurs tant sur le plan socio-économique que biophysique. On peut citer principalement :

- Des risques sanitaires liés à la prolifération d'infections sexuellement transmissibles (IST) et du VIH/SIDA ;
- La dépravation des mœurs;
- Des risques de maladies respiratoires liés au dégagement de poussières ;
- La perturbation de la quiétude des populations du fait des nuisances sonores pendant les travaux ;
- Des risques de dégradation des sols et d'érosion liés aux emprunts et carrières.
- La fluidification de circulation et la réduction des risques d'accidents du fait de la décongestion routière ;
- La création d'emplois directs et indirects ;
- La facilitation du transit et le renforcement du flux économique ;
- L'embellissement du paysage urbain, etc.

Dans la présente étude, pour l'analyse des différents impacts, nous avons utilisé la matrice de Léopold (1971). C'est une matrice d'interrelation, mettant en relation les activités du projet sources d'impacts, avec les composantes de l'environnement du projet. Chaque interrelation identifiée représente un impact probable d'une activité du projet sur une composante de l'environnement. La matrice d'interaction entre le projet et son environnement et le tableau d'évaluation de l'importance des impacts sont en [annexe N°19](#) et [annexe N°20](#).

3. Identification des impacts environnementaux et sociaux

a) *Pendant la phase de planification et d'installation de chantier*

- Une érosion des sols par mouvements des engins lourds ;
- Une augmentation des niveaux sonores dans la région et une perturbation de la circulation causée par le transfert des engins.

b) *Pendant la Phase de Construction*

Impacts sur le milieu physique

Dégradation de l'environnement

- Une augmentation de la concentration des polluants présents dans l'air provenant des gaz d'échappement des véhicules et engins travaillant sur les différentes sections de la voirie ;
- Le soulèvement des poussières plus ou moins intenses selon les différentes phases et le mode de travaux au niveau des différentes plates-formes d'exécution des travaux ;

- La formation éventuelle de brouillard photochimique suite à des réactions liées principalement à la présence de mélange d'hydrocarbure et d'oxydes d'azote.

Erosion des sols

Les mouvements des engins motorisés risquent d'entraîner l'érosion des sols par compactage. Cet impact est de courte durée, de portée localisée et d'intensité moyenne.

Pollution sonore

Les mouvements des engins motorisés vont entraîner une augmentation des niveaux sonores dans la région. Toutefois, cet impact est de courte durée, de portée localisée et d'intensité moyenne.

Impacts associés à l'ouverture des carrières

L'exploitation des carrières aura des incidences relativement limitées sur l'évolution pédologique des zones d'emprunts.

Impact sur la végétation

Les impacts associés aux zones d'emprunt de matériaux graveleux puisqu'on procède au niveau de ses zones à deux types d'opération : le débroussement de la végétation et le décapage de la terre végétale.

Les impacts sociaux

Les impacts sociaux négatifs

Parmi les impacts sociaux négatifs on distingue :

- Une nuisance sonore provoquée par les engins et autres outillages qui vont impacter la tranquillité des habitants de la cité ;
- Des nuisances respiratoires provoquées par les gaz d'échappements des différents engins et qui pourraient entraîner des maladies respiratoires ;
- La dépravation des mœurs. Les travailleurs passeront un bon moment dans la zone environnant le projet. Ils pourraient s'adonner à des pratiques indécentes ;
- Le risque dégradation de santé avec notamment la propagation des maladies sexuellement transmissible.

Les impacts sociaux positifs

- La réduction du chômage dans la zone d'impact du projet avec le recrutement de nombreux jeunes dans cette région.
- Le développement d'activités génératrices de revenus (restauration, vente de produits du cru comestibles, etc.) aux abords des chantiers.

c) *Pendant la phase d'exploitation*

- **La pollution de l'air** : les gaz produit par les tuyaux d'échappements des différents

engins qui circuleront sur la voie vont altérer la qualité de l'air dans la zone environnante.

- **La pollution sonore :** le bruit provoqué par la circulation sur la voie va affecter la vie des riverains de la zone d'impact direct du projet en effet le bruit accentué les risques d'obtention de certaines maladies.
- Le risque d'accidents dus aux véhicules.

4. Mesures d'atténuation préconisées

a) *Mesures pour le milieu physique*

Mesures pour la végétation et la faune

La réalisation du projet se fera de sorte à éviter le terrassement d'arbres. Ainsi, l'installation de la base du chantier se fera dans une zone non boisée. Egalement, un accent sera mis sur la sensibilisation des employés au respect des espèces végétales.

La partie de la végétation détruite sera réhabilitée par la plantation d'arbres tous les trente (30) mètres de part et d'autre des voiries. Aussi, des arbres seront plantés autour des zones d'emprunt. Les arbres terrassés ne doivent pas constituer de tas de débris, mais seront retirés pour être valorisés (énergie, artisanat, etc.).

Concernant la faune, un accent sera mis sur la sensibilisation des employés au respect des espèces animales.

Mesures pour le sol

Les réserves de carburant seront stockées dans des récipients qui seront protégés et inspectés régulièrement de sorte à éviter et à détecter les éventuelles fuites.

La maintenance des engins sera aussi régulière pour éviter les fuites d'huiles, de carburant ou de bitume.

Mesures d'atténuation pour la qualité de l'air

La protection de la qualité de l'air est possible. Pour y parvenir, les zones de terrassement, la chaussée, les pistes d'accès aux zones d'emprunt ainsi que les sites d'emprunt seront régulièrement arrosées. Egalement, il se fera régulièrement l'entretien des engins et véhicules pour réduire l'émission de fumées.

La mise en place d'un filet de protection sur les camions transportant des matériaux et réglage de la teneur en eau des graveleux fournis sur le chantier avant leur déchargement.

b) *Mesures pour le milieu socio-économique*

Pour la santé

En vue de prévenir les risques de contraction des IST et le VIH/SIDA, un accent sera mis sur

la sensibilisation des employés et des populations riveraines. Cela sera suivi de distribution gratuite de préservatifs aux différents groupes cibles (filles libres, employés du chantier, lycéens/lycéennes, jeunes).

Pour prévenir les nuisances sonores, les engins utilisés devront respecter les normes en matière de bruit. Ainsi, le réglage des moteurs de ces engins devra être surveillé afin de limiter la production de bruit, et il faudra aussi éviter les travaux nocturnes.

Par ailleurs, un accent sera mis sur la sensibilisation des employés à la gestion des déchets générés et au respect des mesures d'hygiène et de protection, afin de prévenir tout mal.

Pour la sécurité

La prévention des accidents se fera par la sensibilisation des employés au respect des mesures de sécurité au chantier (port obligatoire des équipements de protection individuelle, etc.) et les conducteurs au ralentissement aux endroits critiques (écoles, ...). Ces endroits bénéficieront de panneaux pour la signalisation. Aussi, des aires de stationnement seront réalisées.

Conclusion :

Au terme de ce chapitre, l'étude d'impact environnemental a été abordée. Des impacts négatifs sur les ressources en eaux, le sol, l'air, la santé et la sécurité pour ne citer que cela, ont été identifiés et d'importantes mesures d'atténuation et de correction ont été proposées pour chacun des milieux récepteurs. Le prochain chapitre sera axé sur le planning et le devis de ce projet.

CHAPITRE VI : Planning et devis du projet

Introduction

La réalisation de ce projet, comme tout autre projet d'ailleurs, est assujettie à un planning et à un budget nécessaire pour sa réalisation. La détermination de ses paramètres résulte d'une étude effectuée au préalable, ce qui permet de faire un planning prévisionnel et d'estimer le coût de réalisation prévisionnel. Ce chapitre nous fournira le planning prévisionnel et le coût global du présent projet.

I. Planning prévisionnel du projet

La planification des travaux consiste à préparer un chantier en tenant compte des données fixes et variable et à trouver une succession logique d'activités qui doit rendre la réalisation du projet la plus efficace possible.

Le planning nous permet de :

- Coordonner l'ensemble des activités de l'organisation pour atteindre l'objectif visé
- Affecter les ressources nécessaires à la réalisation des tâches
- Suivre et communiquer l'avancement du projet

Organisation et procédure à mettre en place

Ce présent projet pourra s'effectuer pour une période de 6 lots pour l'ensemble des activités réparties sur six lots pour différents Corps. Et le projet dure huit (08) mois.

- Lot 1 : Installation de chantier
- Lot 2 Étude géotechnique
- Lot 3 Ouvrage de franchissement
- Lot 4 Travaux de terrassement et chaussées
- Lot 5 Aménagement et signalisation
- Lot 6 Travaux de finition et repli des matériaux

Tableau 29 : Planning prévisionnel du projet

| N° | Désignation | Mois | | | | | | | |
|--------------|--|------|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Lot1 | INSTALLATIONS DE CHANTIER | | | | | | | | |
| Lot2 | ETUDES GEOTECHNIQUES | | | | | | | | |
| Lot 3 | OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT | | | | | | | | |
| Lot 4 | TRAVAUX DE TERRASSEMENT ET DE CHAUSSEE | | | | | | | | |
| Lot5 | AMENAGEMENT ET SIGNALISATION | | | | | | | | |
| Lot 6 | TRAVAUX DE FINITION ET REPLI DES MATERIAUX | | | | | | | | |

II. Devis estimatif des travaux

Le devis estimatif permet de déterminer la valeur prévisionnelle des travaux. Il est ici donné par poste. Le détail des prix unitaires des travaux est en [annexe N°18](#) du support. De manière très générale, nous pouvons estimer les ressources humaines (voir le tableau N°30)

Ainsi, nous pouvons estimer le coût de notre projet, en récapitulant les différents montants obtenus, y compris celui du devis quantitatif.

Tableau 30 : Récapitulatif du cout du projet

| Désignation des travaux | Prix total (FCFA) |
|--|--------------------|
| Série 000 : INSTALLATIONS | 86 000 000 |
| série 200 : TERRASSEMENTS - CORPS DE CHAUSSEE | 922 320 938 |
| Série 300 : ASSAINISSEMENT | 745 427 752 |
| Série 500 : ECLAIRAGE PUBLICS, SIGNALISATION ET SECURITE | 46 920 000 |
| Série 600 : TRAVAUX COMPLEMENTAIRES ET MESURES D'ATTENUATION D'IMPACT ETENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL | 15 100 000 |
| SOUS-TOTAL 1 | 1 815 768 690 |
| MAJORATION APD 10 % | 181 576 869 |
| TOTAL GENERAL | 1 997 345 558 |
| TVA 18% | 359 522 201 |
| TOTAL TTC | 2 356 867 759 |
| Coût par km | 471 373 552 |

Ainsi, ce projet peut être estimé à **2 356 867 759 FCFA** soit un total de **471 373 552 le km**

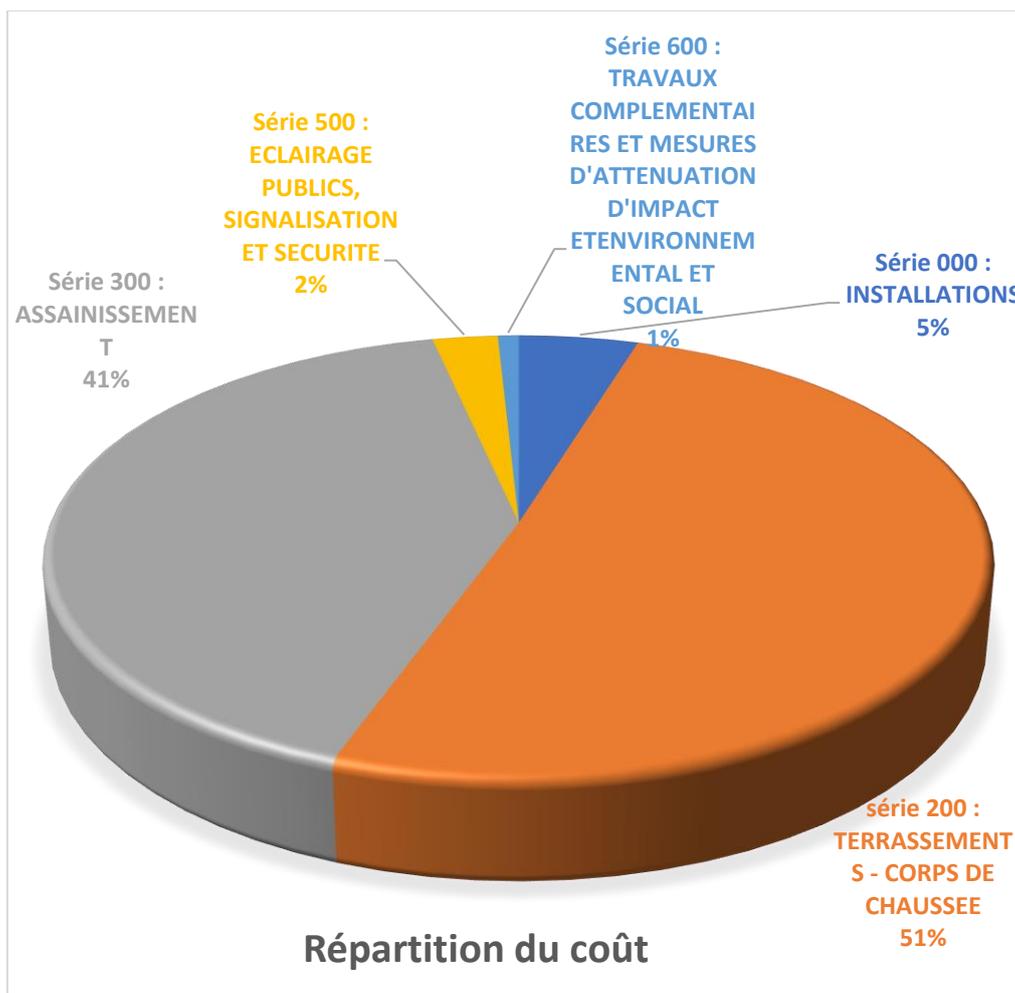


Figure 8 : Répartition du coût par poste de travail

Conclusion

L'étude quantitative nous a permis d'estimer le coût global de ce projet qui s'évalue à deux milliards, cent quarante et deux millions, six cent sept mille, cinquante-trois FRANCS CFA tout taxe comprise (2 356 867 759 FCFA TTC).

Conclusion générale

La route, grand facteur de civilisation et de développement nécessite de grands investissements, impliquant une démarche scientifique et professionnelle pour sa réalisation afin d'assurer sa pérennité. Dans cette optique, l'étude faite dans ce mémoire permet de proposer des infrastructures de qualités répondant aux normes du BTP et qui sont en accord avec les exigences du dossier d'appel d'offre (DAO).

Il est donc question d'une proposition d'une forme géométrique de la route, d'une structure du corps de chaussée, d'infrastructures d'assainissement et de franchissement de la route, de la signalisation et sécurité routière, d'aménagement. Pour mener à bien ce travail, nous avons cherché premièrement à comprendre le principe de dimensionnement des infrastructures de la CGE Burkina Faso ; ensuite nous avons vérifié les caractéristiques des matériaux à utiliser au laboratoire ; et enfin nous avons participé à l'exécution des travaux sur le chantier.

Le coût d'exécution pour la réalisation des tronçons s'élève à **deux milliards, trois cent cinquante-six millions, huit cent soixante-sept mille, sept cent cinquante-neuf FRANCS CFA toutes taxes comprises (2 356 867 759 FCFA TTC)**, soit **quatre soixante-onze millions, trois cent soixante-treize mille, cinq cent cinquante-deux FRANCS CFA le kilomètre (471 373 552 F CFA/km)**. La réalisation des tronçons représente une partie de l'ensemble du projet ville Nouvelle Yennenga.

Ce projet dont le lancement des activités a été effectué dans le dernier trimestre l'année 2016 doit répondre à un certain nombre d'exigences pour lesquels il est destiné. Pour ce faire, nous proposons les recommandations suivantes :

- La mise en place effective de toutes les signalisations (temporaires et permanentes) retenues pour ce projet dans le but de diminuer le risque d'accident ;
- La mise en place de campagne d'information et de sensibilisation des populations ;
- Le choix des sites de dépôt de remblais doit être fait de concert avec et le ministère de l'environnement ;
- La mise au point ou l'actualisation des plans d'urbanismes et des plans des réseaux enterrés est nécessaire pour éviter la démolition de ces ouvrages pendant l'exécution des travaux, et la destruction de la route pendant la phase d'exploitation ;

- Le curage régulier des caniveaux pour qu'ils fonctionnent au maximum de leur capacité et éviter les inondations ou la stagnation des eaux pouvant provoquer des maladies.

La réalisation de ce projet routier aura un effet de levier sur l'économie et l'urbanisme dans la ville nouvelle de Yennenga. Elle nous a permis de tirer profit de l'expérience des personnes du domaine et d'autres part d'apprendre une méthode à suivre pour élaborer un projet de travaux publics.

Bibliographie

- + **Direction des Infrastructures de Transports et de la Mer**, Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des voies rapides urbaines (ICTAVRU), 2009, Certu
- + **SETRA**, Conception et dimensionnement des structures de chaussées, 1994, LCPC
- + **Ministère de l'Intérieur et le Ministère des transports**, Instruction interministériel sur la signalisation routière, Juillet 2002
- + **SETRA**, Comprendre les principaux paramètres de conception géométriques des routes, 2006
- + **Ministère de l'équipement, des transports et du logement**. « Fascicule 62 Titre I section I du CCTG : Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites - BAEL 91 révisé 99 », 1999.
- + **CEBTP**. Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, 1980.
- + **CCTP**. Cahier des Clauses Techniques et Particuliers pour le chantier de la ville nouvelle de Yennenga, 2017.
- + **Direction des Infrastructures de Transports et de la Mer**. Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des voies rapides urbaines (ICTAVRU). Certu, 2009.
- + **FAO**, Crues et apports. Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche, 1996.
- + **Ministère des transports**. « Instruction interministérielle sur la signalisation routière », arrêté du juin 1977.
- + **VAN TUU**, Nguyen. Hydraulique routière, 1979.
- + **Gérard KARSENTY**, Guide pratique des VRD et aménagements extérieurs, Eyrolles, 2005

Logiciel

- + AUTOCAD 2018 : Logiciel de dessin assisté par ordinateur
- + Alize LCPC : Logiciel de dimensionnement des chaussées
- + ArcGis10.3 : Logiciel SIG
- + Piste : Logiciel de conception de chaussée
- + Microsoft Excel
- + Microsoft Word
- + Google Earth
- + Hyfran

Sites Internet

- + SETRA [En ligne]. - 23 Mai 2018. - <http://www.setra.equipement.gouv.fr/>.
- + Techniques de l'Ingénieur - Ressources documentaire pour les Ingénieurs – Documentation technique [En ligne]. - 02 Avril 2018. - <http://www.techniques-ingenieur.fr/>.

ANNEXES

ANNEXE N° 1 : Extrait du tableau donnant le dimensionnement des chaussées correspondant aux classes de trafic t1 – t2 en fonction du sol support.

Tableau 1: Dimensionnement des chaussées correspondant aux classes de trafic en fonction du sol support

| TRAFICS T1 – T2 | | S1 | | S2 | | S3 | | S4 | | S5 | |
|-----------------|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | T1 | T2 |
| REVÊTEMENT | | Bc ou 3E | 4E ou Tc |
| B | Graveleux latéritique naturel | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 25 | 25 |
| F | Graveleux latéritique naturel | 45 | 45 | 35 | 35 | 25 | 30 | 15 | 20 | 0 | 0 |
| B | Graveleux latéritique ou grave naturelle, améliorés au ciment | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 20 | 20 |
| F | Graveleux latéritique naturel ou grave naturelle O/D | 40 | 45 | 30 | 35 | 25 | 25 | 15 | 20 | 0 | 0 |
| B | Concassé o/d | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 20 | 20 |
| F | Graveleux latéritique naturel ou grave naturelle O/D ou concassé o/d | 40 | 45 | 30 | 35 | 25 | 25 | 15 | 20 | 0 | 0 |
| B F | Concassé o/d | 50 | 55 | 30 | 35 | 25 | 30 | 25 | 30 | 20 | 20 |
| B | Graveleux latéritique ou grave naturelle ou concassé o/d** | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 25 | 25 |
| F | Sable argileux | 40 | 40 | 30 | 30 | 25 | 25 | 15 | 20 | 0 | 0 |
| B | Sable argileux amélioré au ciment* | 15 | 20 | 15 | 20 | 15 | 20 | 15 | 20 | 15 | 20 |
| F | Sable argileux | 40 | 45 | 30 | 35 | 20 | 25 | 15 | 20 | 10 | 15 |

** : 15 cm au lieu de 20 cm ; 20 cm au lieu de 25 cm, si on utilise du concassé o/d.

* : structures demandant des précautions particulières d'étude et de mise en oeuvre

Bc : bicouche

Tc : tricouche

B = base

F = fondation

3E : enrobé 3cm

4E : enrobé 4cm

ANNEXE N° 2 : Calcul et de vérifications avec le logiciel ALIZE LCPC

Hypothèse de base

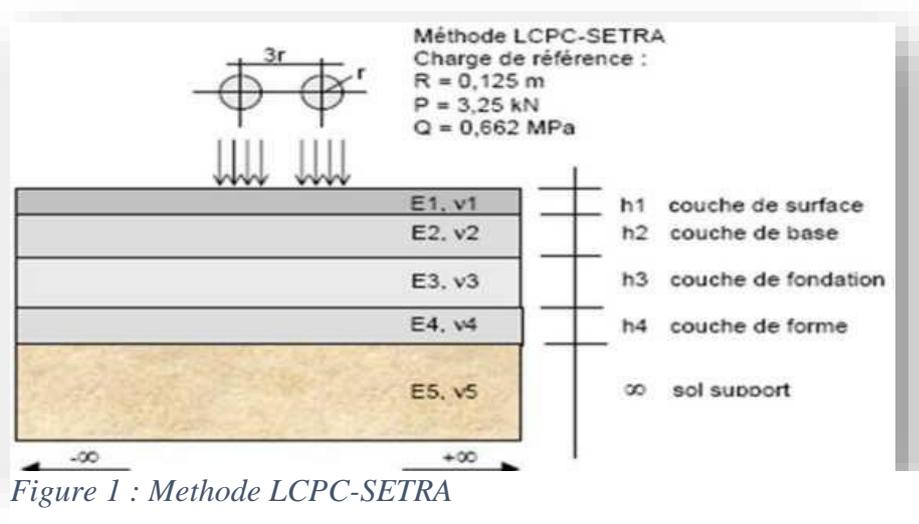
Les paramètres mécaniques à entrer dans le logiciel sont les suivants :

- l'épaisseur H ;
- le module équivalent Young R du matériau ;
- le coefficient de poisson du matériau ;
- les conditions d'interface au sommet et à la base de la couche, caractérisant le type de contact avec les couches adjacentes supérieures et inférieures.

Hypothèse de l'étude

Les données du chargement standard considérées sont les suivantes :

- Trafic cumulé $T_c = 1,5 \cdot 10^6$
- jumelage standard de 65 KN ;
- pression verticale : 0,6620 MPA ;
- rayon de contact : 0,1250 m ;
- entraxe jumelage : 0,3750 m.



Principe de modélisation de chaussée dans alizé

Valeur du module d'Young en fonction des matériaux (Source : Guide du dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux)

Tableau 2 : Caractéristiques corps de chaussée

| Couches | Nature | Module d'Young (MPa) |
|----------------------|-------------------------------|----------------------|
| Roulement | Enduit superficiel | - |
| Base | Graveleux latéritique naturel | 400 |
| Fondation | Graveleux latéritique naturel | 400 |
| Plateforme S4 | 15<CBR<30 | 200 |

Après modélisation de la structure de chaussée dans alizé les résultats nous ont permis de faire une comparaison entre les valeurs admissibles et les valeurs réelles de déformation

Alizé-Lcpc - Résultats (Structure : données écran - cf. C:\... Documents\STAGE2018.c

C:\... Documents\STAGE2018.dat

| épais. (m) | module (MPa) | coefficient Poisson | Zcalcul (m) | EpsT (μdef) | SigmaT (MPa) | EpsZ (μdef) | SigmaZ (MPa) |
|---------------|-----------------|------------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| 0.150 | 400.0 collé | 0.350 | 0.000 | -235.1 | -0.044 | 600.4 | 0.657 |
| | | | 0.150 | -274.6 | 0.020 | 820.5 | 0.359 |
| 0.200 | 400.0 collé | 0.350 | 0.150 | -274.6 | 0.020 | 820.5 | 0.359 |
| | | | 0.350 | -244.4 | -0.069 | 360.6 | 0.110 |
| infini | 200.0 | 0.350 | 0.350 | -244.4 | -0.005 | 530.5 | 0.110 |

Figure 2 : Détails de calcul et de vérifications 1 avec le logiciel ALIZE

Après modélisation de la structure de chaussée dans ALIZE LCPC les résultats nous ont permis de faire une comparaison entre les valeurs admissibles et les valeurs réelles de déformation. Le tableau suivant nous présente les résultats obtenus.

Tableau 3 : Valeurs admissibles 1

| STRUCTURE DE CHAUSSEE | | Déformations verticales | | Contraintes verticales | |
|-----------------------|-------------|--|---------------------|---|----------------|
| | | ϵ_z de calcul | ϵ_{zadm} | σ_z de calcul | σ_z adm |
| | | $\mu_{d\acute{e}f}$ | $\mu_{d\acute{e}f}$ | MPA | MPA |
| Couche de base | Résultats | 820,5 | 680,8 | 0,657 | 4,51 |
| | Observation | $\epsilon_{zcalcul} < \epsilon_{zadm} \Rightarrow$ pas bon | | σ_z calcul < σ_z adm \Rightarrow ok | |
| Couche de Fondation | Résultats | 820,5 | 680,8 | 0,359 | 1,69 |
| | Observation | $\epsilon_{zcalcul} < \epsilon_{zadm} \Rightarrow$ pas bon | | σ_z calcul < σ_z adm \Rightarrow ok | |
| Sol de plateforme | Résultats | 530,5 | 680,8 | 0,110 | 0,845 |
| | Observation | $\epsilon_{zcalcul} < \epsilon_{zadm} \Rightarrow$ ok | | σ_z calcul < σ_z adm \Rightarrow ok | |

Conclusion : Les contraintes des matériaux sous-jacentes sont toutes inférieures aux valeurs admissibles mais les déformations en dessous de la couche de base et au-dessus de la couche de fondation sont supérieures à la déformation admissible donc nous allons augmenter l'épaisseur de la couche de base et refaire les vérifications. Il faut considérer une nouvelle structure.

Pour la nouvelle vérification nous avons :

- Couche de roulement : enduit superficiel tri-couche ;
- Couche de base : 20 cm de grave latéritique naturel ;
- Couche de fondation : 20 cm de grave latéritique naturel.

Le tableau N°4 suivant nous présente les résultats obtenus avec la nouvelle variante de couches de chaussée.

Alizé-Lcpc - Résultats (Structure : données écran - cf. C:\... Documents\STAGE2018.c

C:\... Documents\STAGE2018.dat

| épais. (m) | module (MPa) | coefficient Poisson | Zcalcul (m) | EpsT (μdef) | SigmaT (MPa) | EpsZ (μdef) | SigmaZ (MPa) |
|---------------|-----------------|------------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| 0.200 | 400.0 collé | 0.350 | 0.000 | -243.0 | -0.050 | 611.3 | 0.657 |
| | | | 0.200 | -232.9 | 0.004 | 614.1 | 0.259 |
| 0.200 | 400.0 collé | 0.350 | 0.200 | -232.9 | 0.004 | 614.1 | 0.259 |
| | | | 0.400 | -205.9 | -0.061 | 316.4 | 0.094 |
| infini | 200.0 | 0.350 | 0.400 | -205.9 | -0.005 | 463.2 | 0.094 |

Figure 3: Détails de calcul et de vérifications 2 avec le logiciel ALIZE

Tableau 4 : Valeurs admissibles 2

| STRUCTURE DE CHAUSSEE | | Déformations verticales | | Contraintes verticales | |
|-----------------------|-------------|-------------------------|-------|-------------------------|--------|
| | | εz de calcul | εzadm | σz de calcul | σz adm |
| | | μdef | μdef | MPa | MPa |
| Couche de base | Résultats | 614,3 | 680,8 | 0,259 | 4,51 |
| | Observation | εzcalcul < εzadm ⇒ ok | | σz calcul < σz adm ⇒ ok | |
| Couche de Fondation | Résultats | 614,1 | 680,8 | 0,259 | 1,69 |
| | Observation | εzcalcul < εzadm ⇒ ok | | σz calcul < σz adm ⇒ ok | |
| Sol de plateforme | Résultats | 463,2 | 680,8 | 0,094 | 0,845 |
| | Observation | εzcalcul < εzadm ⇒ ok | | σz calcul < σz adm ⇒ ok | |

Choix : Après vérification, il ressort que les valeurs de calcul sont bien inférieures aux valeurs admissibles. D'où nous optons pour la structure de chaussée suivante :(Voir tableau suivant)

Tableau 5 : Structure définitive de chaussée

| | |
|---------------------|---|
| Revêtement | Enduit superficiel tri-couche |
| Couche de base | 20cm Graveleux latéritique naturel |
| Couche de fondation | 20cm Graveleux latéritique naturel |

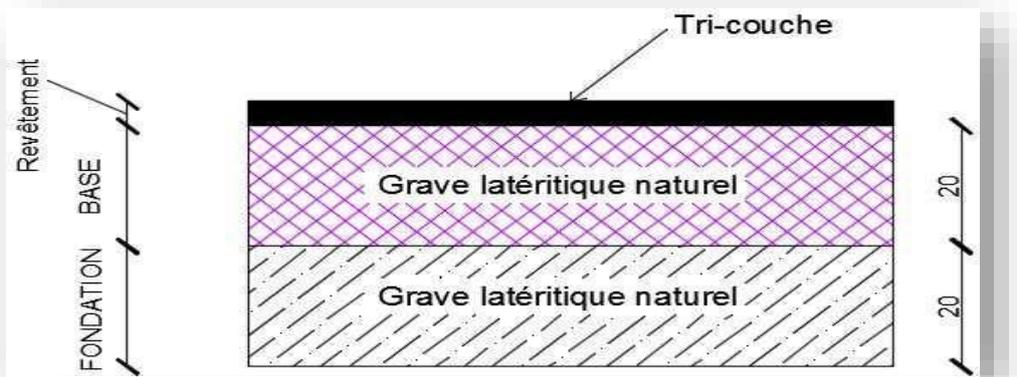
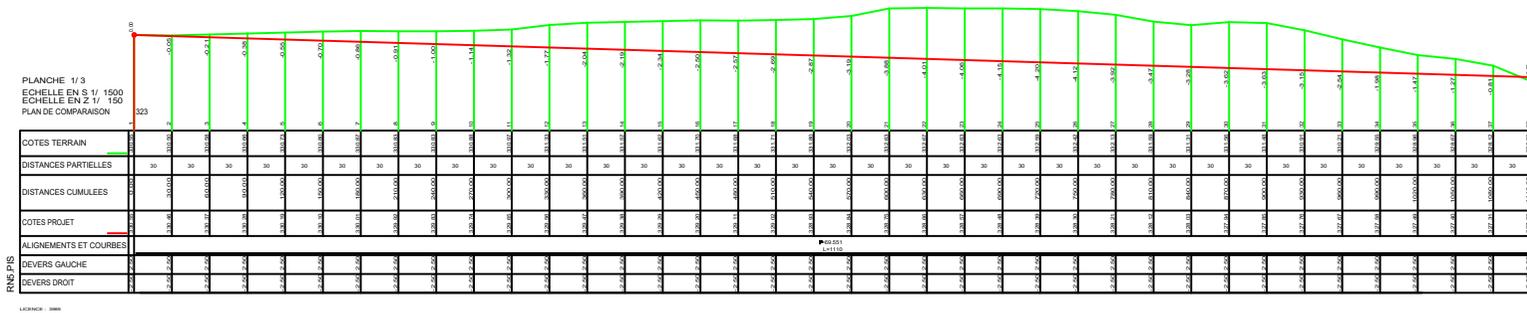
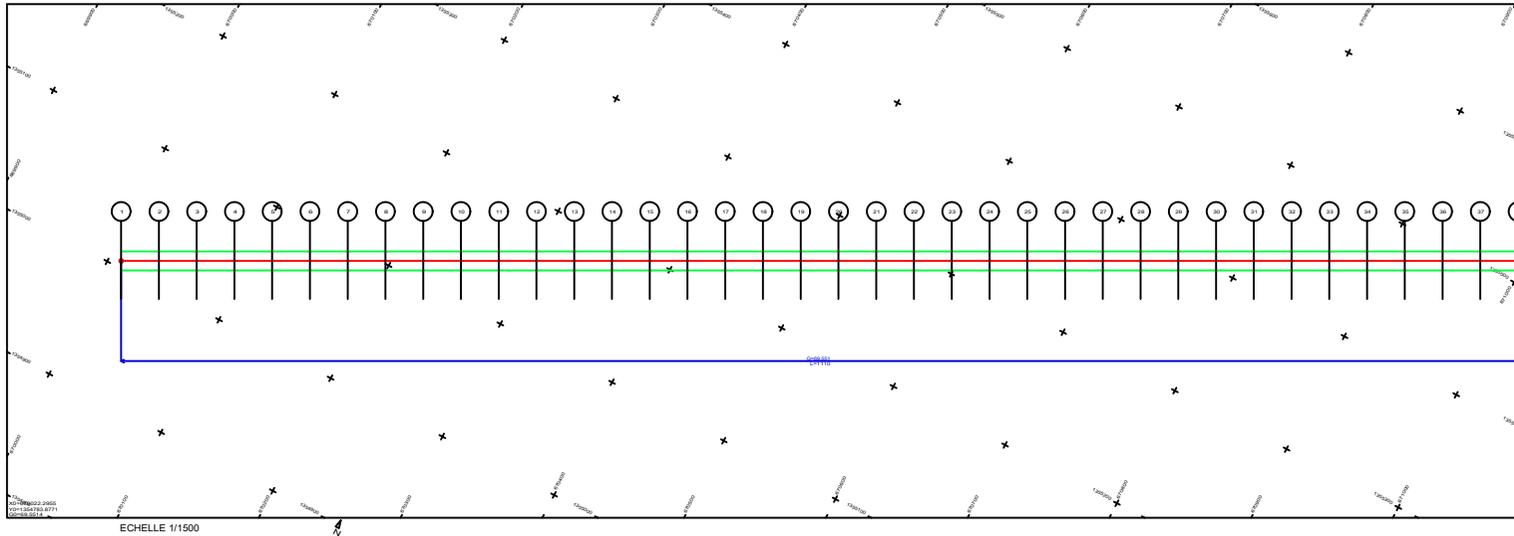


Figure 4 : Couches de la structure de chaussée.

Tracé combiné 1



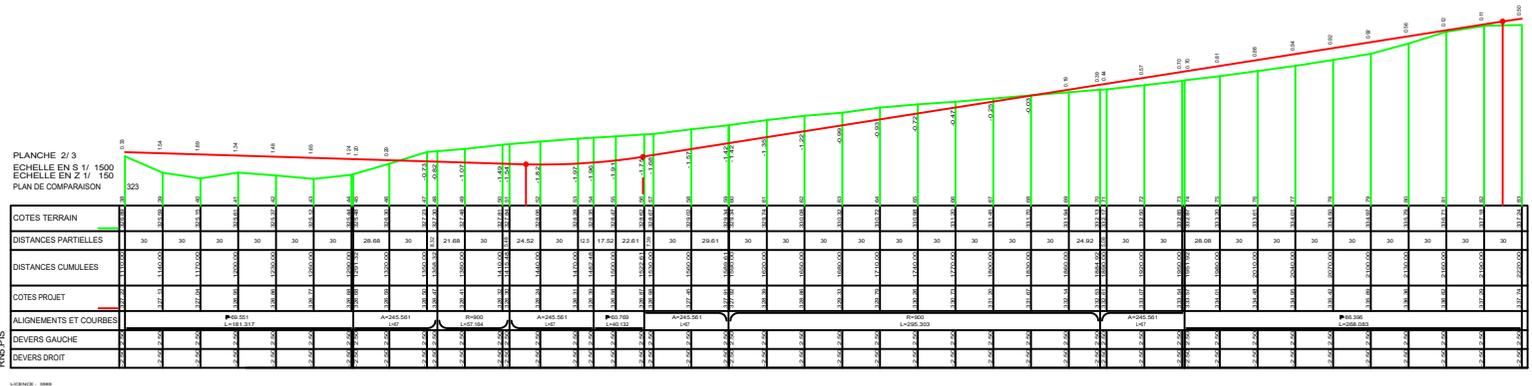
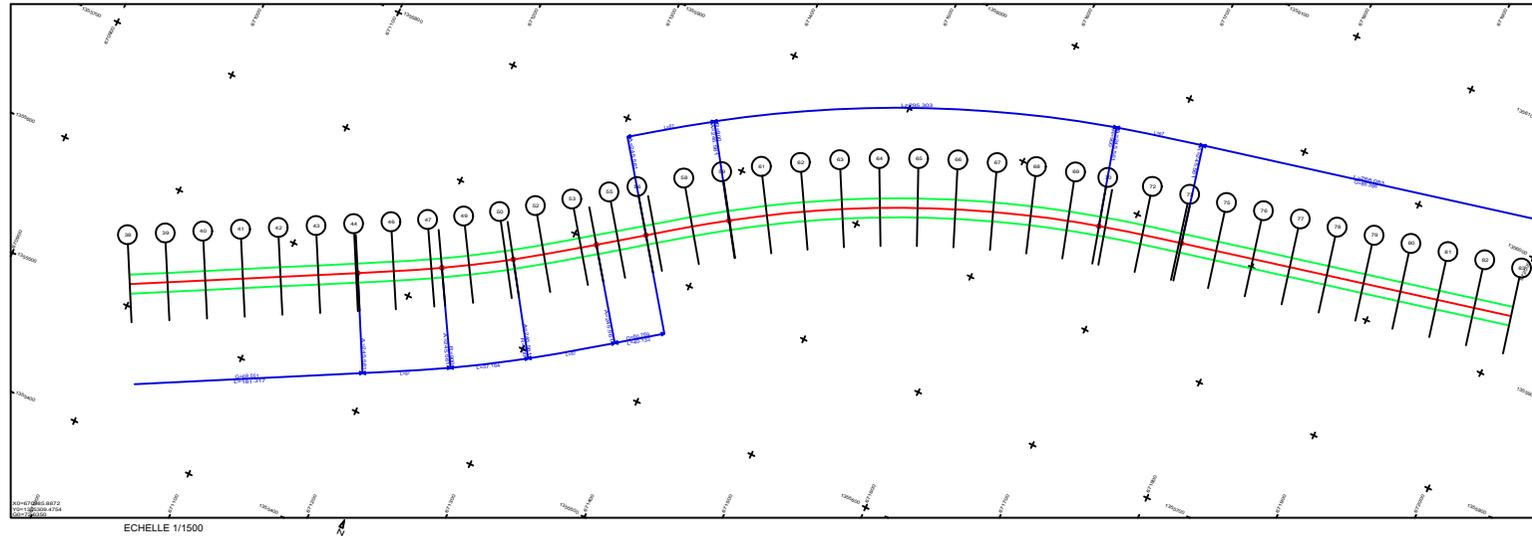
CGE
 01 B.P: 1337 Ouagadougou 01
 Burkina Faso
 Tel: (+226) 25 30 00 15
 Email: cgeimmobilier.com

REPUBLIQUE DU BURKINA FASO
 Unité-Progress-Justice
 ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX
 D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE VOIRIES
 URBAINES DANS LA VILLE NOUVELLE DE YENNENGA
Tracé combiné 1

Date: 31/05/2018
 Ech : Ajust au Format
 Plan : N°4
 Dessiné par: HASSANE SANDA Maman Bachir



Tracé combiné 2



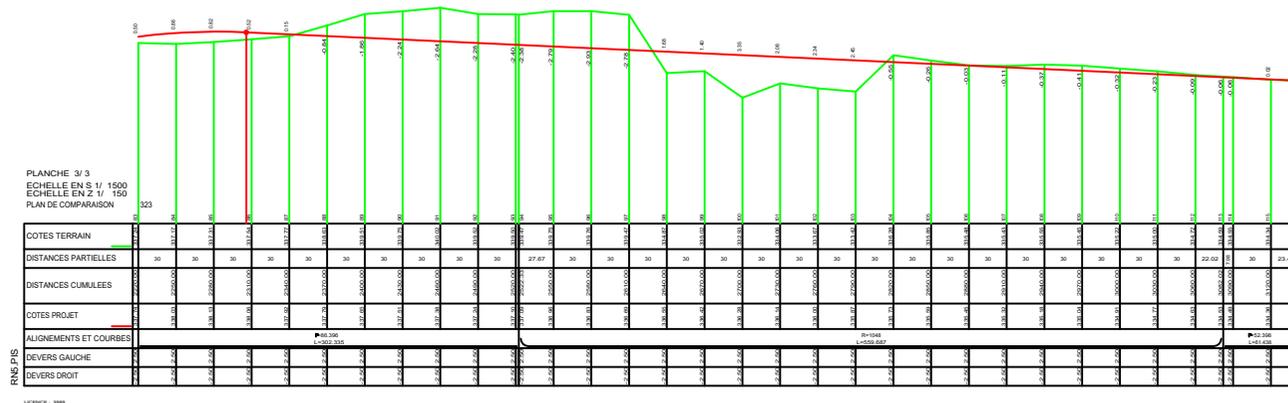
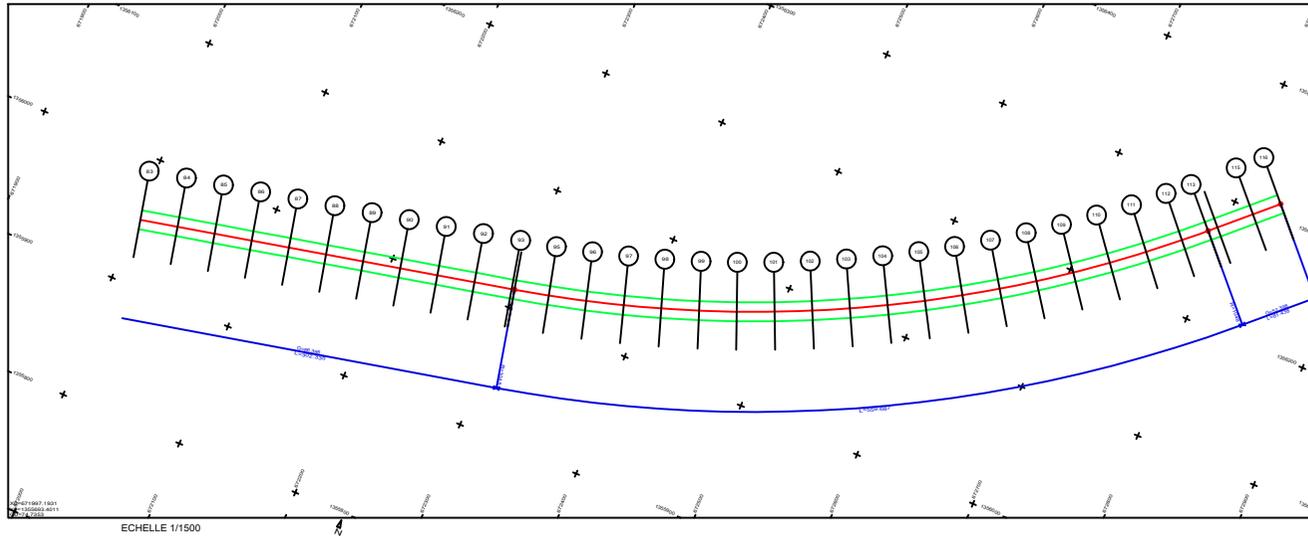
CGE
 01 B.P: 1337 Ouagadougou 01
 Burkina Faso
 Tel: (+226) 25 30 00 15
 Email: cgeimmobilier.com

REPUBLIQUE DU BURKINA FASO
 Unité-Progress-Justice
 ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX
 D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE VOIRIES
 URBAINES DANS LA VILLE NOUVELLE DE YENNENGA
Tracé combiné 2

Date: 31/05/2018
 Ech: **Ajust au Format**
 Dessiné par: **HASSANE SANDA Maman Bachir**



Tracé combiné 3



CGE
 01 B.P: 1337 Ouagadougou 01
 Burkina Faso
 Tel: (+226) 25 30 00 15
 Email: cgeimmobilier.com

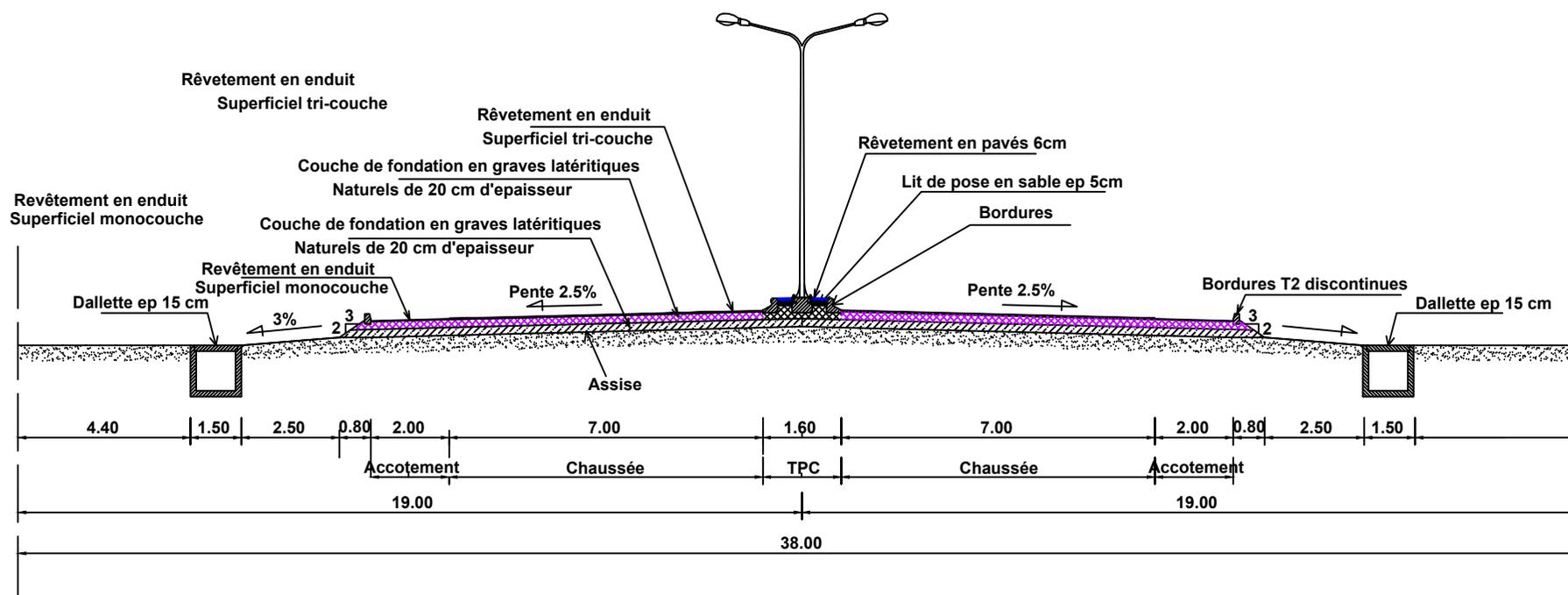
REPUBLIQUE DU BURKINA FASO
 Unité-Progress-Justice
**ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX
 D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE VOIRIES
 URBAINES DANS LA VILLE NOUVELLE DE YENNENGA**
Tracé combiné 3

Date: 31/05/2018
 Ech: **Ajust au
 Format** Plan: N°5
 Dessiné par:
**HASSANE SANDA
 Maman Bachir**



ANNEXE N° 4 : Les différents profils en travers

Profil en travers type voie d'accès



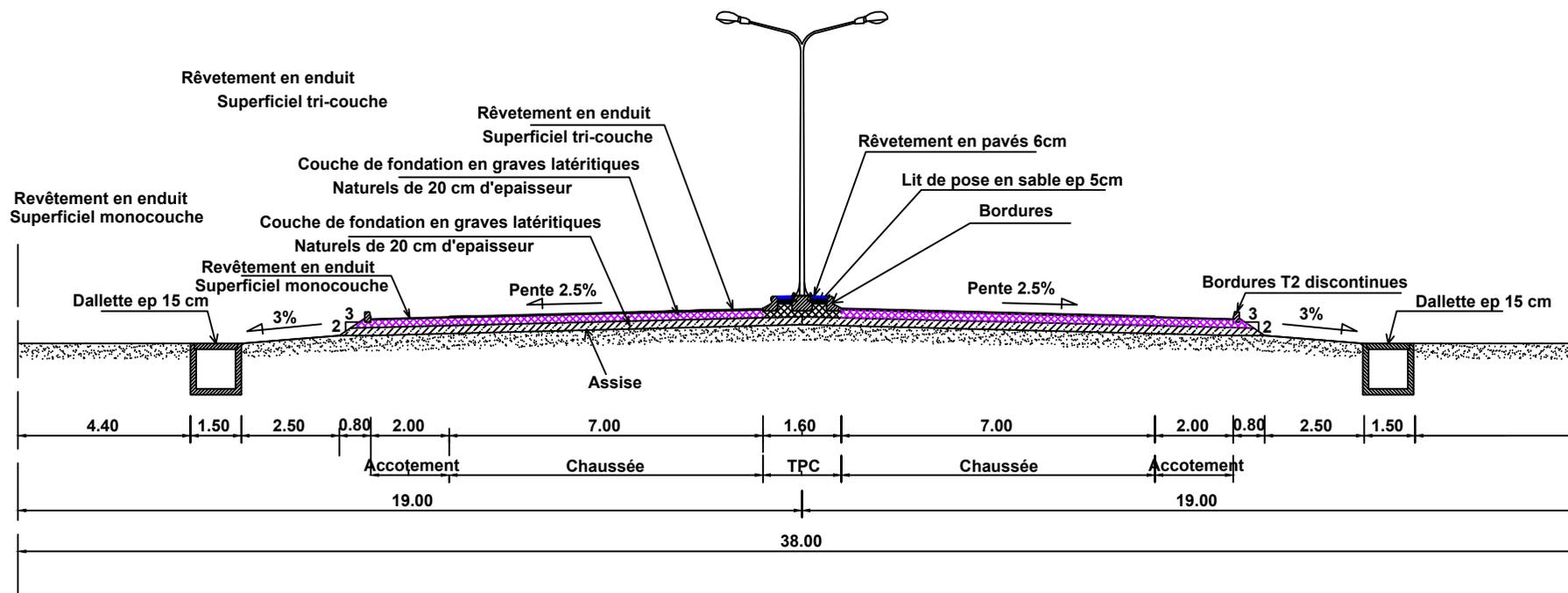
CGE
 01 B.P: 1337 Ouagadougou 01
 Burkina Faso
 Tel: (+226) 25 30 00 15
 Email: cgeimmobilier.com

REPUBLIQUE DU BURKINA FASO
 Unité-Progress-Justice
 ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX
 D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE VOIRIES
 URBAINES DANS LA VILLE NOUVELLE DE YENNENGA
Profil en traver type voie d'accès

Date: 31/05/2018
 Ech: Ajust au Format
 Plan: N°1
 Dessiné par:
 HASSANE SANDA
 Maman Bachir



Profil en travers type voie T1



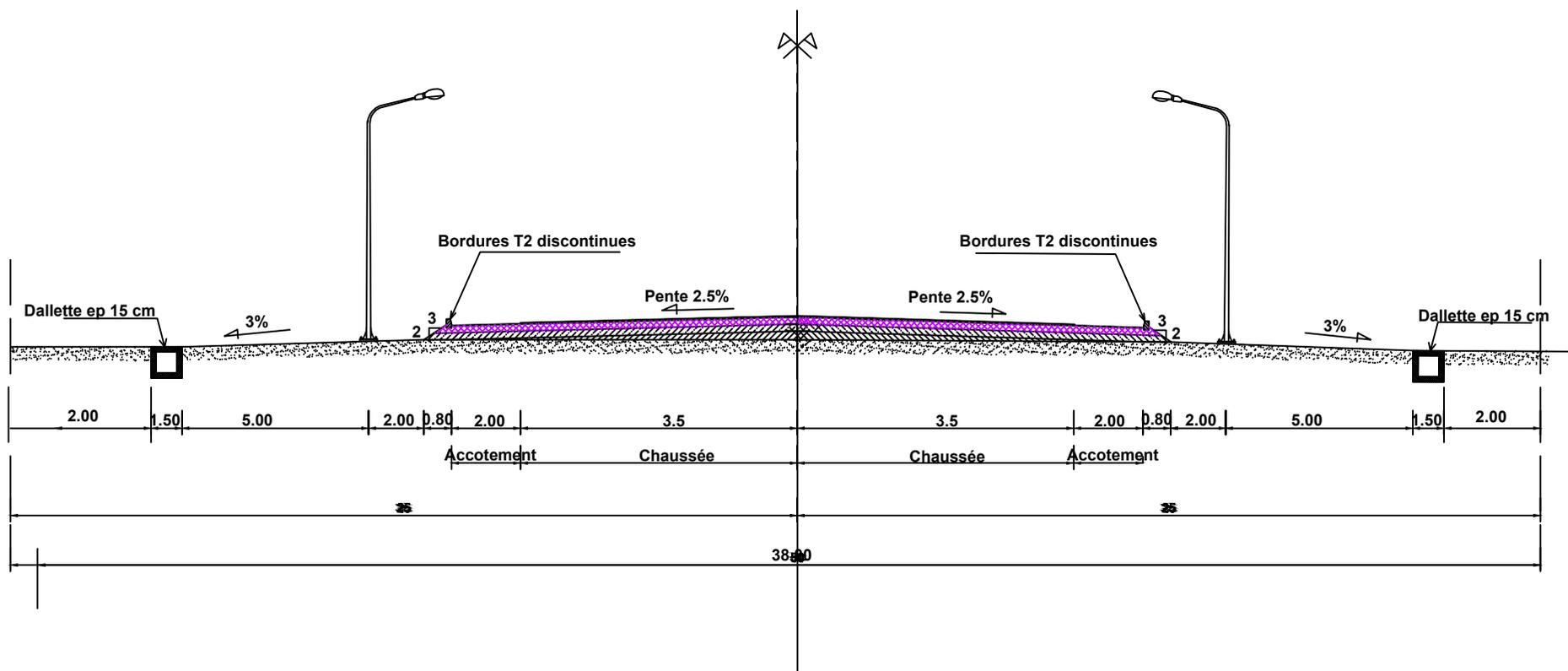
CGE
 01 B.P: 1337 Ouagadougou 01
 Burkina Faso
 Tel: (+226) 25 30 00 15
 Email: cgeimmobilier.com

REPUBLIQUE DU BURKINA FASO
 Unité-Progrès-Justice
 ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX
 D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE VOIRIES
 URBAINES DANS LA VILLE NOUVELLE DE YENNENGA
Profil en traver type voie T1

Date: 31/05/2018
 Ech: Ajust au Format
 Plan: N°2
 Dessiné par:
 HASSANE SANDA
 Maman Bachir



Profil en travers type voie B15



CGE
 01 B.P: 1337 Ouagadougou 01
 Burkina Faso
 Tel: (+226) 25 30 00 15
 Email: cgeimmobilier.com

REPUBLIQUE DU BURKINA FASO
 Unité-Progrès-Justice

ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX
 D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE VOIRIES
 URBAINES DANS LA VILLE NOUVELLE DE YENNENGA

Profil en traver type voie B15

Date: 31/05/2018

Ech : **Ajust au Format** Plan : N°3

Dessiné par:
HASSANE SANDA
 Maman Bachir



ANNEXE N° 5 : Valeur CBR du sol support en place

| FICHE TECHNIQUE REGROUPANT LES RESULTATS D'ESSAIS | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|--|------|------|------|---------------------|---------|---------|-------------------------|---------------------|-----------|-----|------------|----------|-----------------------|---------------------|
| Labo BECOHA | | | | | | | | | | Entreprise CGE Int. | | | | | | |
| DOSSIER: KOUBRI | | | | | | | | | | Date: janvier 2018 | | | | | | |
| Sondage | Profond en cm | Analyse granulométrique % de passant au tamis de | | | | Limites d'Atterberg | | | Proctor modifié | | Essai CBR | | Gonflement | | | Classification USCS |
| | | 20mm | 5mm | 2mm | 80µ | LL %eau | LP %eau | IP %eau | Ds OPM T/M ³ | W OPM %eau | 95% | 98% | 55 coups | 25 coups | 10 coups | |
| | | | | | | | | | | | OPM | OPM | | | | |
| Sol de fondation | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P1 | 5,0 - 100 | 98 | 67 | 57 | 45,5 | 32,4 | 16,3 | 16,1 | | | | | | | Grave sablo argileuse | |
| P2 | 5,0 - 100 | 98 | 53,5 | 38,5 | 24 | 27,6 | 15,9 | 11,7 | | | | | | | Grave argileuse | |
| P3 | 5,0 - 70 | 99 | 63 | 42,5 | 19 | 21,1 | 14,8 | 6,3 | | | | | | | Grave limoneuse | |
| P4 | 0 - 65 | 96,5 | 63,5 | 48 | 35,5 | 42,1 | 21,4 | 20,7 | | | | | | | Grave argileuse | |
| P5 | 5,0 - 100 | 100 | 77,5 | 64,5 | 48,5 | 39,7 | 24,6 | 15,1 | | | | | | | Grave sablo argileuse | |
| P6 | 10 - 100 | 100 | 88 | 51,5 | 38 | 40,5 | 23,5 | 17 | | | | | | | Grave argileuse | |
| P7 | 10,0 - 60 | 100 | 70 | 54,5 | 33,5 | 37,8 | 17,4 | 20,4 | | | | | | | Grave argileuse | |
| P8 | 5,0 - 70 | 98,5 | 66,5 | 47,5 | 27,5 | 32,5 | 21,2 | 11,3 | | | | | | | Grave argileuse | |
| P9 | 5,0 - 90 | 98,5 | 62 | 32,5 | 22 | 38,4 | 17,4 | 21 | | | | | | | Grave argileuse | |
| P10 | 5,0 - 50 | 95,5 | 47,5 | 28,5 | 18 | 22 | 13,9 | 8,1 | | | | | | | Grave argileuse | |
| P11 | 20 - 80 | 100 | 81 | 47,5 | 35 | 52,2 | 21,5 | 30,7 | | | | | | | Grave argileuse | |
| P12 | 0 - 70 | 95 | 44 | 30,5 | 21 | 32,1 | 14,3 | 17,8 | | | | | | | Grave argileuse | |
| P14 | 5,0 - 80 | 100 | 54,5 | 34 | 21 | 30,7 | 16,9 | 13,8 | | | | | | | Grave argileuse | |
| P15 | 0 - 50 | 99 | 59 | 46 | 32 | 27,3 | 14,2 | 13,1 | | | | | | | Grave argileuse | |
| P16 | 0 - 40 | 100 | 54 | 38,5 | 17,5 | 20,1 | 15,1 | 5 | | | | | | | Grave limoneuse | |
| P17 | 5,0 - 40 | 94 | 56 | 45 | 24,5 | 19,6 | 13,9 | 5,7 | | | | | | | Grave limoneuse | |
| P18 | 20 - 40 | 92 | 58 | 44 | 37,5 | 33,3 | 19,1 | 14,2 | | | | | | | Grave argileuse | |
| P1+P2+P3 | | | | | | | | | 2,195 | 7,7 | 40 | 76 | | | 0,36 | |
| P4+P6+P7+P8+P11 | | | | | | | | | 2,045 | 10,9 | 22 | 35 | | | 0,28 | |
| P9+P10+P12+P14+P16 | | | | | | | | | 2,26 | 6,7 | 41 | 118 | | | 0,17 | |
| P15+P17+P18 | | | | | | | | | 2,27 | 6,7 | 33 | 40 | | | 0,22 | |
| Bureau d'Etudes et de Contrôles des Ouvrages Hydro-agricoles et Annexes (BECOHA) | | | | | | | | | | | | | | | | |

ANNEXE N°6 : Récapitulatif de l'étude hydrologique

Les données de pluie journalière annuelle maximale de la station Ouaga-aéroport de la région de Koubri sont les suivantes :

Tableau 6 : Pluies maximales journalière

| Année | Koubri |
|-------|-------------------|
| | Pmax journalières |
| 1986 | 47 |
| 1987 | 76 |
| 1988 | 64 |
| 1989 | 75 |
| 1990 | 55 |
| 1991 | 105 |
| 1992 | 54 |
| 1993 | 54 |
| 1994 | 58 |
| 1995 | 73 |
| 1996 | 70 |
| 1997 | 45 |
| 1998 | 72 |
| 1999 | 66 |
| 2000 | 59 |
| 2001 | 50 |
| 2002 | 58 |
| 2003 | 62 |
| 2004 | 55 |
| 2005 | 76 |
| 2006 | 52 |
| 2007 | 117 |
| 2008 | 58 |
| 2009 | 261 |

| | |
|------|----|
| 2010 | 70 |
| 2011 | 44 |
| 2012 | 68 |
| 2013 | 67 |
| 2014 | 57 |

Avec le logiciel Hayfan, nous ferons une analyse fréquentielle de ces données pluviométriques. Cette analyse basée sur la méthode de Gumbel se fera avec un temps de retour de 10 ans.

- Ajustement sur une période de retour de 10 ans suivant la loi de Gumbel

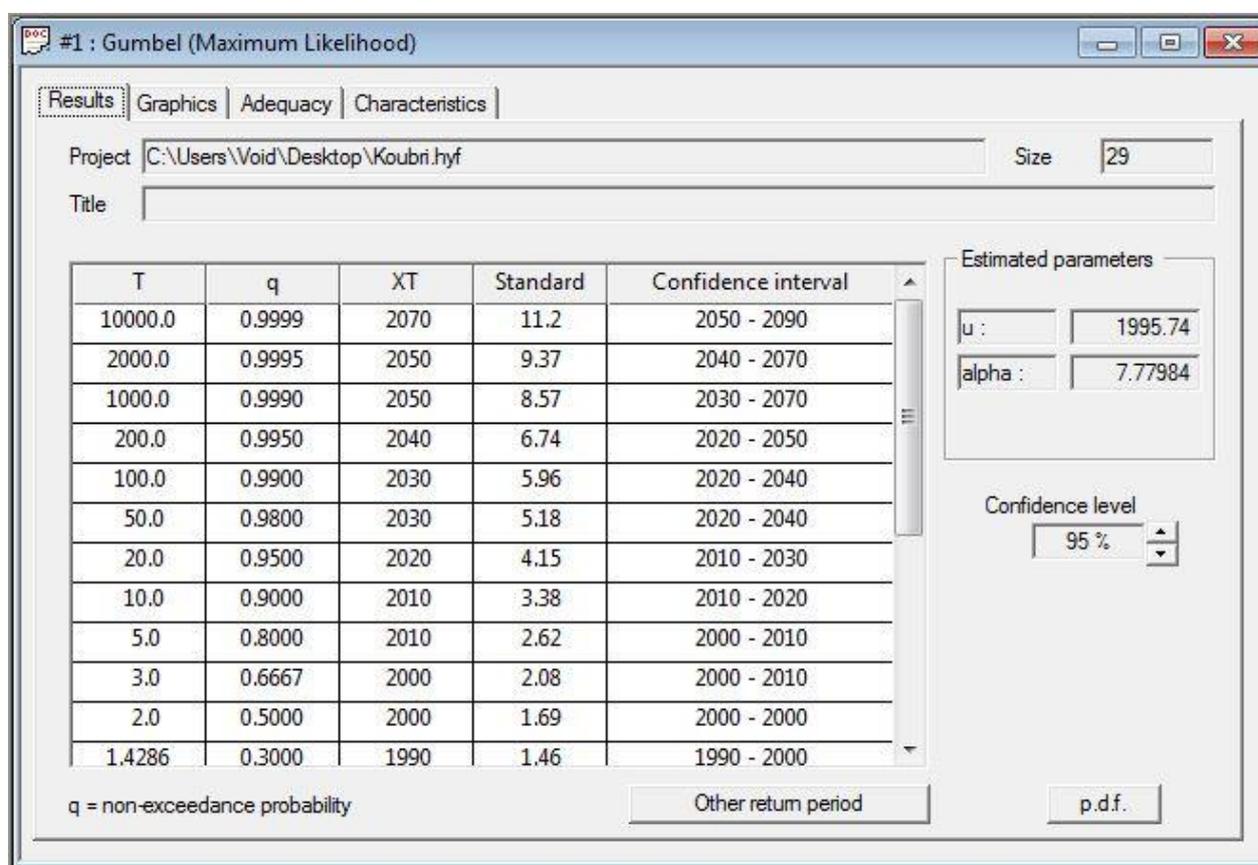


Figure 5 : Résultats obtenu avec Gumbel

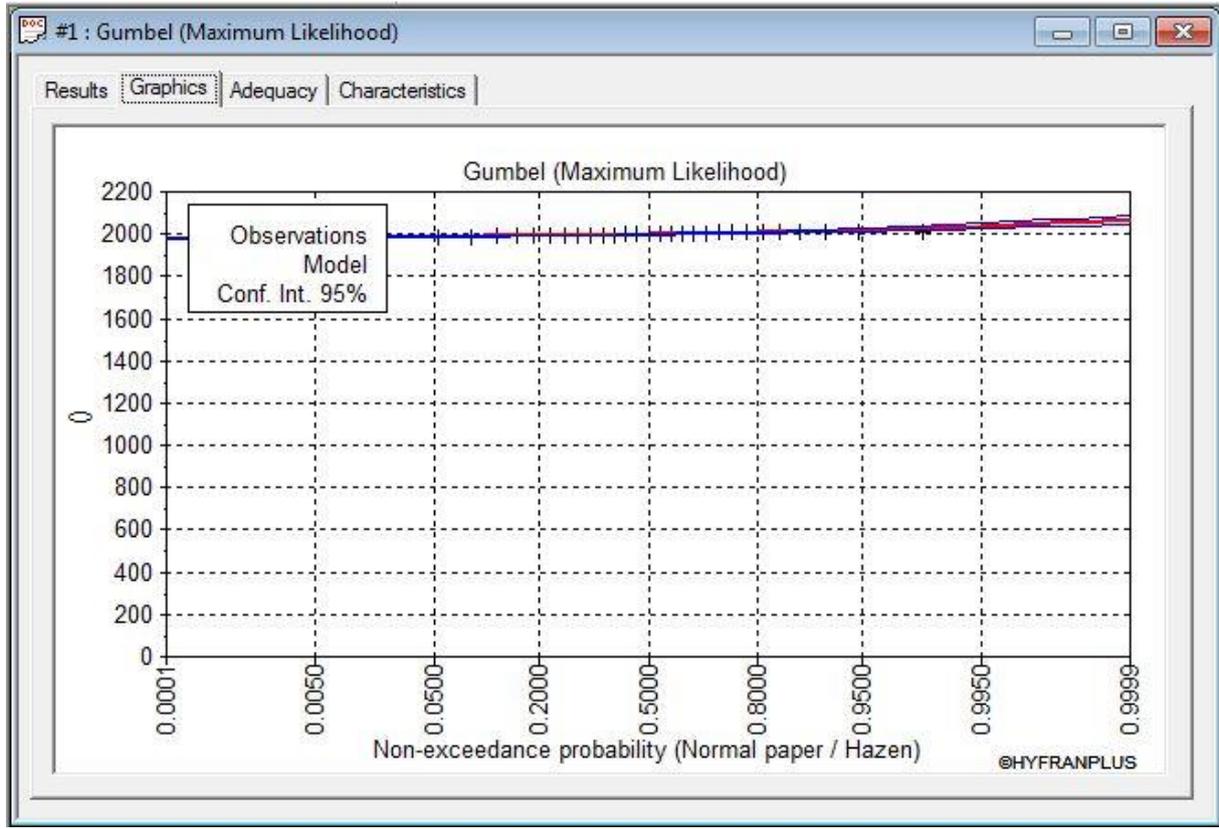


Figure 6 : Graphique de Gumbel

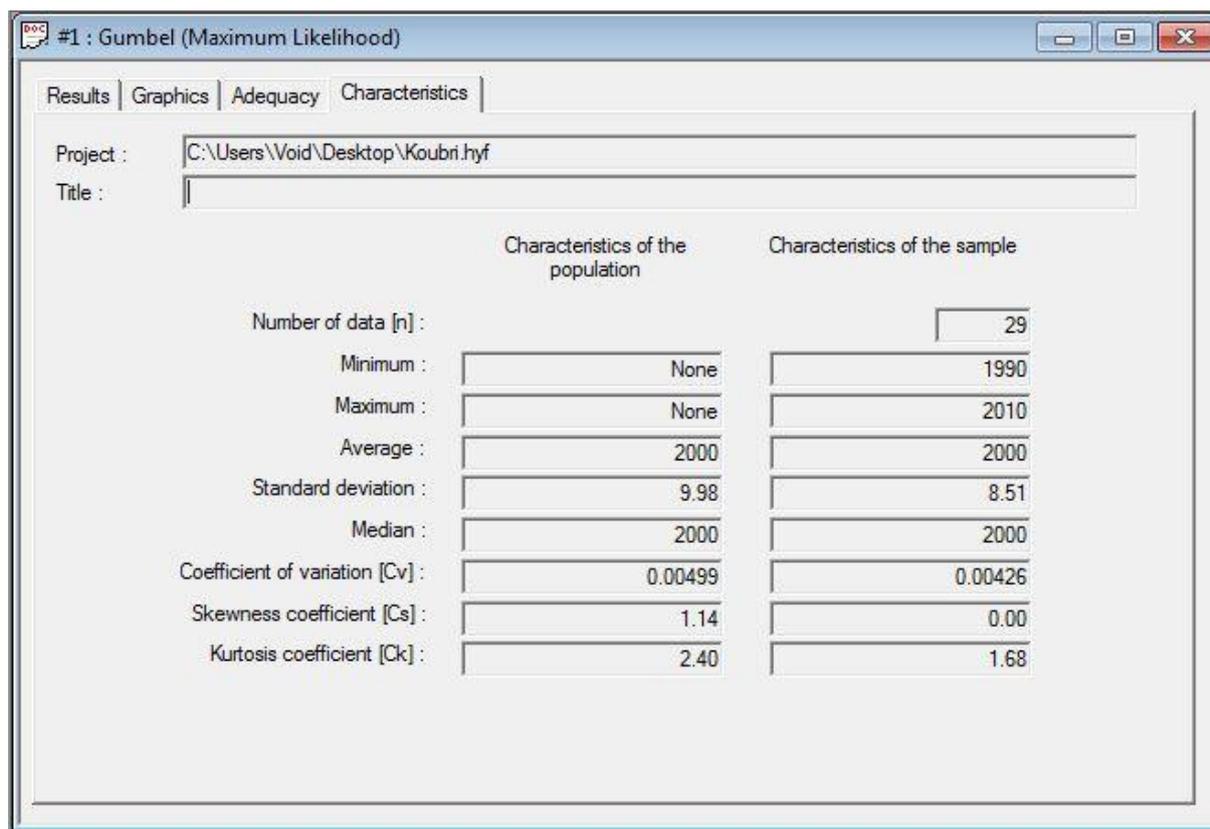


Figure 7 : Les caractéristiques de l'échantillon

Tableau 7 : Caractéristiques des bassins versants

| Bassins versants | S (km ²) | P (km) | Z min | Z max | Longueur (km) |
|-------------------------|----------------------|--------|-------|-------|---------------|
| BV1 voie d'accès | 2,83 | 8,62 | 297 | 320 | 3,52 |
| BV2 | 0,146 | 1,499 | 311 | 317 | 0,764 |
| BV3 | 0,246 | 2,840 | 307 | 322 | 0,99 |

Tableau 8 : Récapitulatif des bassins versants

| Bassins Versants | Débits(m ³ /s) |
|-------------------------|---------------------------|
| BV1 voie d'accès | 18,30 |
| BV2 | 2,50 |
| BV3 | 3,18 |

ANNEXE N°7 : Récapitulatif de l'étude hydraulique du dalot

Vérification de la profondeur à l'amont

$$Q^* = \frac{Q}{S\sqrt{2gH}} = \frac{18,30}{6\sqrt{2 \times 9,81 \times 1,5}}$$

$$Q^* = 0,55$$

Lisons sur l'abaque la valeur de $H^* \Rightarrow H^* = 0,5$

$$H^* = h_1/H \Rightarrow h_1 = H^* \times H = 0,5 \times 1,5$$

$$h_1 = 0,75m$$

 $h_1 < H \Rightarrow$ pas de débordement d'eau sur l'ouvrage $1,25H = 1,25m > h_1 \Rightarrow$ l'écoulement de l'eau se fera à surface libre

Pente critique

$$Q^* = \frac{Q}{\sqrt{gL^5}} = \frac{18,30}{\sqrt{9,81 \times 1,5^5}}$$

$$Q^* = 2,12$$

Lisons sur l'abaque $I_c^* = 5,7$

$$I_c = \frac{I_c^* \times g}{k^2 \times B^{\frac{1}{3}}} = \frac{5,7 \times 9,81}{67^2 \times 1,5^{\frac{1}{3}}}$$

$$I_c = 0,005$$

Vérification de la vitesse

$$Q^* = \frac{Q}{k \times B^{\frac{8}{3}} \times \sqrt{I_c}} = \frac{18,30}{67 \times 1,5^{\frac{8}{3}} \times \sqrt{0,005}}$$

$$Q^* = 2,12$$

Lisons sur l'abaque $V^* = 0,69$

$$V = V^* \times k \times B^{2/3} \times \sqrt{I_c} = 0,69 \times 67 \times 1,5^{2/3} \times \sqrt{0,005} \Rightarrow V = 4,26 \text{ m/s} < 4,5 \text{ m/s}$$

Nous optons alors pour un dalot 2x2,00x1,50

ANNEXE N°8 : Temps de base

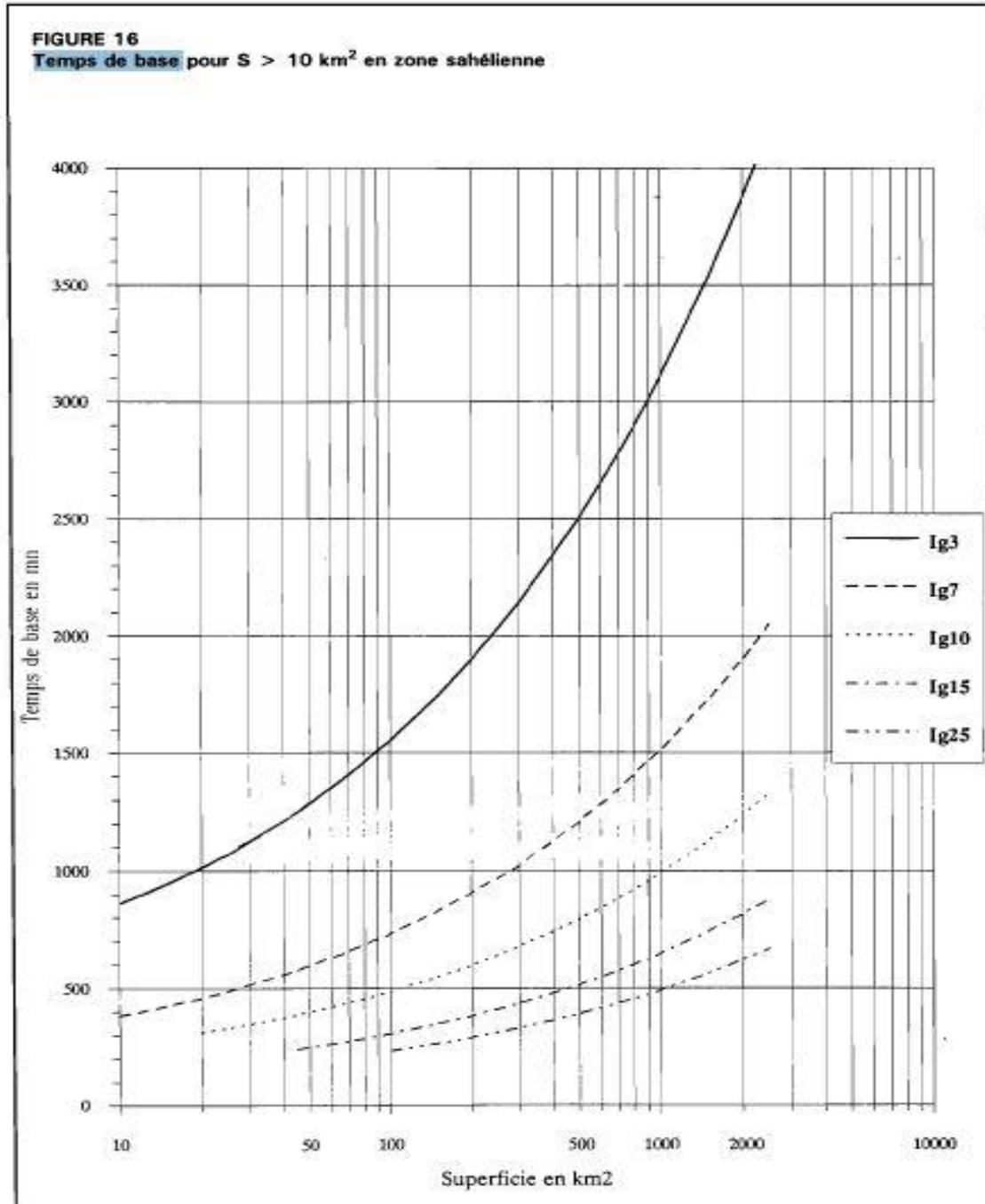


Figure 8 : Temps de base

ANNEXE N°9 : Sortie libre dalot rectangulaire

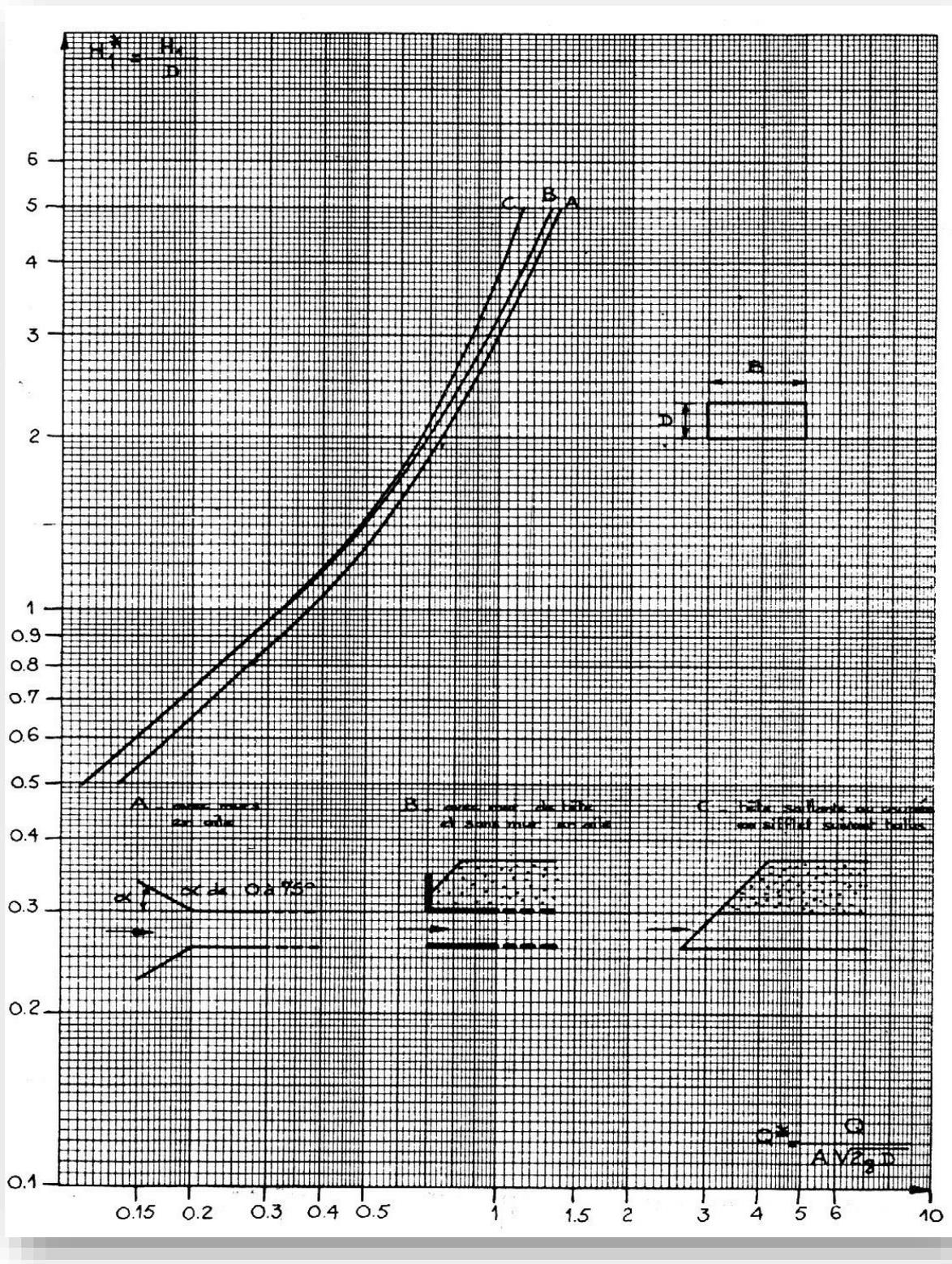


Figure 9 : Abaque Sortie libre dalot rectangulaire

ANNEXE N°10 : Calcul de la pente critique

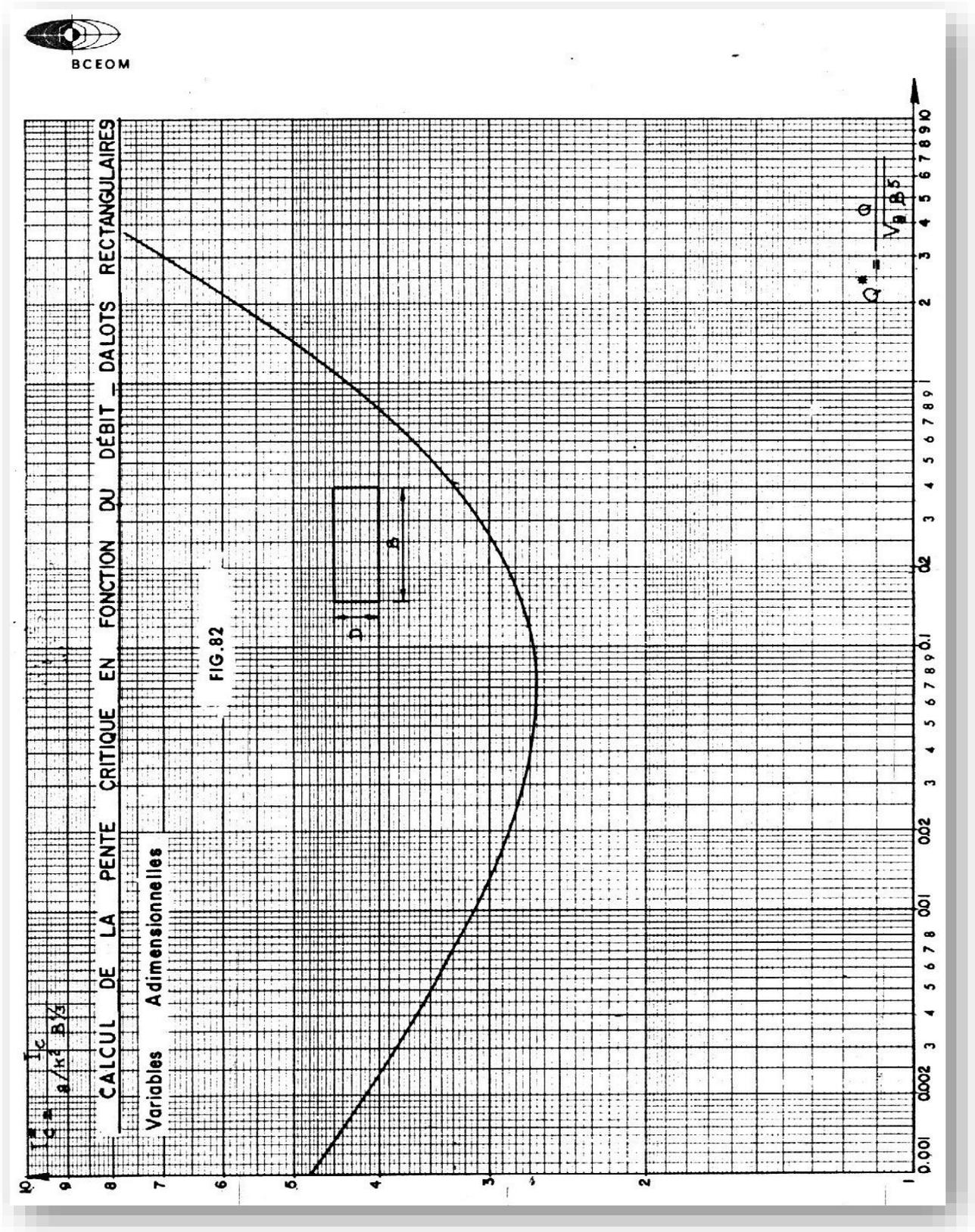


Figure 10 : Abaque pente Critique

ANNEXE N°11 : Calcul de la vitesse dans un dalot

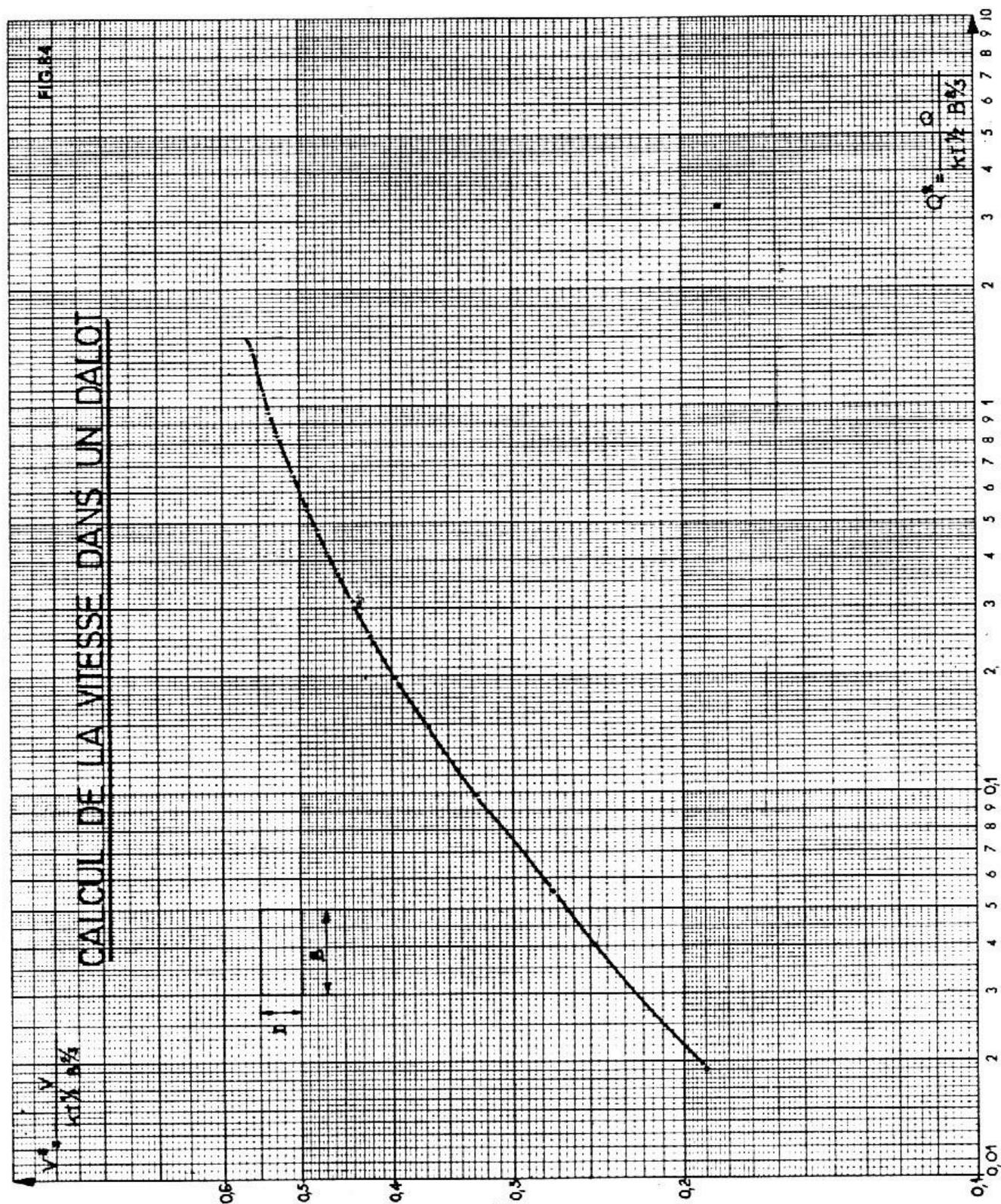


Figure 11 : Abaque calcul de la vitesse dans un dalot

ANNEXE N°12 : Dimensionnement structural de caniveaux 120x120

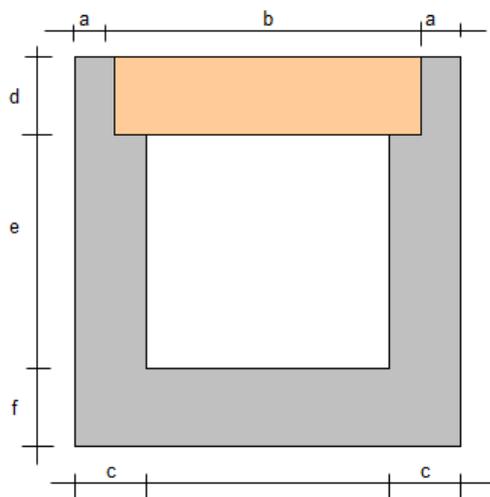


Figure 12 : Schéma de principe

Hypothèses de calcul

- ✚ Pour les chargements à considérer, nous utiliserons les prescriptions du *fascicule 61, Titre II* (Conception, Calcul et Epreuves des ouvrages d'Art) du Cahier des Prescriptions Communes applicables aux marchés de travaux publics de l'Etat Français ;
- ✚ Pour ce qui est des règles de calculs de Béton Armé, nous utilisons celles définies par le BEAL 91 modifié 99 ;
- ✚ La fissuration est jugée peu préjudiciable.

Cas de chargement à considérer :

- **Dallettes**
 - Elles seront étudiées sous une roue isolée de 10Tonnes (Br)
- **Voiles**
 - Effort dû à la dalle chargée ;
 - Poussées des terres
 - Poussée due à la roue de 10Tonnes concentrée se trouvant stationnée sur le bord de la chaussée, à proximité de la paroi du pied droit.
- **Radier**

Le dimensionnement du radier sera fait sous les efforts qui lui sont transmis par les voiles.

Données du problème :

Données géométriques du caniveau :

| | | |
|--------------------------------------|---------------------|----------|
| Epaisseur de la lèvre de feuillure : | a | = 0,07 m |
| Epaisseur du voile : | c | = 0,15 m |
| Epaisseur de la dalle : | d | = 0,15 m |
| Hauteur libre du caniveau : | e | = 1,20 m |
| Ouverture du caniveau : | l | = 1,20 m |
| Portée de la dalle : | $b = 1,5 - (2 * a)$ | = 1,36 m |
| Epaisseur du radier : | f | = 0,15 m |
| Redent de la feuillure : | $g = c - a$ | = 0,08 m |
| Largeur d'une dalle : | h | = 0,50 m |

Caractéristiques des matériaux :**+ Béton :**

Le béton que nous allons utiliser à les caractéristiques suivantes :

- Dosage 350 kg/m³ de Ciment Portland Artificiel (CPA),
- Résistance caractéristique à la compression à 28 jours $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$;
- Résistance à la traction à 28 jours $f_{t28} = 0,6 + 0,06f_{c28} = 2,1 \text{ MPa}$;
- Poids volumique du béton = 25 KN/m³
- Résistance de calcul du béton en compression à l'ELU : $f_{bu} = \frac{0,85 * f_{c28}}{\theta * \gamma_b} = 14,17 \text{ MPa}$ avec les valeurs de θ et γ_b respectivement égales à 1 et 1,5
- Contrainte admissible (limite) du béton en compression à l'ELS = $\sigma_{bc} = 0,6 * f_{c28} = 15 \text{ MPa}$

+ Armatures :

- Nuance d'acier : Acier à Haute Adhérence (HA) FeE 400 ;
- Contrainte admissible de l'acier $\sigma_{st} = \frac{f_e}{\gamma_s} = 347,83 \text{ MPa}$ avec la valeur de $\gamma_s = 1,15$;
- Enrobage : 3 cm

+ Sol :

- Poids volumique : $\gamma_s = 18 \text{ KN/m}^3$;
- Angle de frottement interne : $\varphi = 30^\circ$;
- Coefficient de poussée de la terre : $K_a = 0,333$;

- Contrainte admissible du sol : 1bar.

DETERMINATION DES ARMATURES :

POUR LA DALLETTE :

- Poids propre de la dalle (Pd) = $b \times e \times \gamma b = 0,84 \times 0,15 \times 25 = 3,15 \text{ KN/ml}$
- Charge concentrée d'une roue isolée de 10T (100KN), comme le stipule le Fascicule 61, en son Titre II. Cette charge sera notée Br durant cette étude.

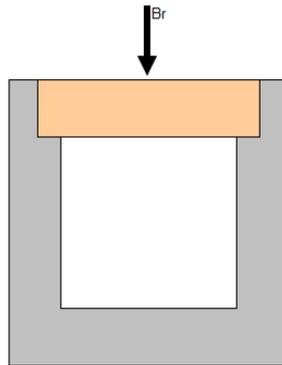


Figure 13 : Schéma statique 1

Calcul des moments :

La dalle sera dimensionnée en flexion simple, ainsi nous avons :

✚ Moment de flexion dû au poids propre de la dalle

$$M_{Pd} = Pd \times \frac{(b-2 \times g)^2}{8} = 3,15 \times \frac{(1,36-2 \times 0,08)^2}{8} = 0,567 \text{ KN.m}$$

$$M_{Pd} = 0,567 \text{ KN.m}$$

✚ Moment de flexion dû à la charge Br

$$M_{Br} = Br \times \left(\frac{b-2 \times g}{4} \right) = 100 \times \left(\frac{1,36-2 \times 0,08}{4} \right) = 30,00 \text{ KN.m}$$

$$M_{Br} = 30,00 \text{ KN.m}$$

✚ Effort tranchant dû au poids propre.

$$T_{Pd} = Pd \times \frac{(b-2 \times g)}{2} = 3,15 \times \frac{(1,36-2 \times 0,08)}{2} = 1,89 \text{ KN}$$

$$T_{Pd} = 1,89 \text{ KN/ml}$$

✚ Effort tranchant dû à la roue isolée.

$$T_{Br} = \frac{Br}{2} = \frac{100}{2} = 50 \text{ KN}$$

$$T_{Br} = 50 \text{ KN/ml}$$

Calcul des moments à l'ELU et l'ELS

A l'ELU

$$Mu = 1,5 MPd + 1,35 MBr = 41,35 \text{ KN.m}$$

$$Mu = 41,35 \text{ KN.m}$$

$$Tu = 1,5 TPd + 1,35 TBr = 70,34 \text{ KN}$$

$$Tu = 70,34 \text{ KN}$$

A l'ELS

$$Mser = MPd + MBr = 30,57 \text{ KN.m}$$

$$Mser = 30,57 \text{ KN.m}$$

$$Tser = TPd + TBr = 51,89 \text{ KN}$$

$$Tser = 51,89 \text{ KN}$$

Détermination des aciers à l'ELU

Aciers de flexion

Calcul de μu

$$\mu u = \frac{Mu}{(b \cdot d^2 \cdot F_{bu})} \quad \mu u = \frac{41,35 \times 10^{-3}}{(0,50 \times 0,12^2 \times 14,17)} = 0,226$$

$$\mu u = 0,405$$

$$\alpha u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu u}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - (2 * 0,405)})$$

$$\alpha u = 0,705$$

$$Zu = d(1 - 0,4 \alpha u) = 0,12 * (1 - (0,4 * 0,705))$$

$$Zu = 0,086 \text{ m}$$

Conclusion : Pas d'acier comprimé, par contre, nous avons la présence des aciers tendus A_{st}

$$A_{st} = \frac{Mu}{Zu \times \sigma_{st}} \quad A_{st} = \frac{41,35 \times 10^{-3}}{(0,086 \times 347,83)}$$

$$A_{st} = 0,001382 \text{ m}^2 = 13,82 \text{ cm}^2$$

Choix des armatures : **5 cadres HA10 espacés**

$$\text{Esp} = \frac{50 - ((2 \times 3) + (5 \times 0,1))}{4} = 9,75 \quad \text{Esp} = 9,75 \text{ cm}$$

Donc on a : **2 X 5 cadres de HA14 espacés de 9,75 cm pour chaque dalle, ce qui totalise 15,4 cm²**

Aciers d'effort tranchant :

Contrainte tangentielle :

$$\sigma_{t0} = \frac{T_u}{b \times d} = \frac{70,34 \times 10^{-3}}{(0,50 \times 0,12)} = 1,17 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t0} = 1,17 \text{ MPa}$$

Contrainte limite :

$\sigma_{tlim} = \min(0,13 \times f_{c28} ; 3)$, puisque nous avons opté pour des FeE 400

$$\sigma_{tlim} = \min(3,25 ; 3)$$

$$\sigma_{tlim} = 3 \text{ MPa}$$

Aciers transversaux (Ast) et espacement (esp)

$$\frac{A_{st}}{esp} = \frac{\sigma_{t0} - 0,3 \times f_{t28}}{(0,8 \times f_e \times b)} = \frac{1,15 - 0,3 \times 2,1}{(0,8 \times 400 \times 0,50)} = 0,003 \text{ m}$$

Ferraillage retenu pour la dalle :

Aciers longitudinaux : 5 cadres de HA 14/ dalle avec un espacement de 9,75 cm ;

Aciers transversaux : cadres de 4HA8 espacés de 20 cm, totalisant 2,02 cm²

POUR LE PIEDS DROIT DU CANIVEAU :

Les pieds droits sont d'une par soumis à leur poids propre + celui que transmet la dalle (efforts verticaux) et à la poussée de terre + celle de la roue se situant à proximité sur la chaussée. De ce fait, les pieds droits seront dimensionnés en flexion composée avec un effort de compression. Les pieds droits ne sont pas tous soumis aux mêmes efforts en fonction de leur position (à proximité immédiate de la chaussée et bord extérieur du caniveau)

Pieds droit soumis à son poids propre, à l'effort transmis par la dalle et la poussée de terre (1^{er} cas) :

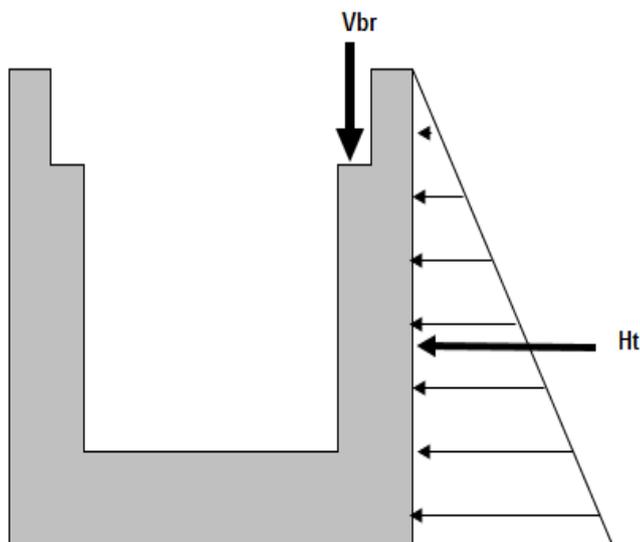


Figure 14 : Schéma statique 2

Calcul des efforts de sollicitation :

- Effort dû à l'action de Br de la dalle.

$$V_{Br} = \frac{T_{Br} \times 0,5}{h} = \frac{50 \times 0,5}{1,2} = 20,83 \text{ KN/ml} \quad \mathbf{V_{br} = 20,83 \text{ KN/ml}}$$

- Effort dû au poids propre de la dalle.

$$V_{Pd} = \frac{TP_d \times 0,5}{h} = \frac{1,89 \times 0,5}{1,2} = 0,78 \text{ KN/ml} \quad \mathbf{V_{Pd} = 2,78 \text{ KN/ml}}$$

- Effort dû au poids propre du pied droit.

$$V_{Pp} = 0,15 \times 25 \times 1,00 = 3,75 \text{ KN/ml} \quad \mathbf{V_{Pp} = 3,75 \text{ KN/ml}}$$

- Poussées des terres transmises

$$H_t = K_a \times \gamma_{sol} \times \frac{(e + d)^2}{2} = 0,33 \times 18 \times \frac{(1,20 + 0,15)^2}{2} = 5,41 \text{ KN/ml}$$

$$\mathbf{H_t = 5,41 \text{ KN/ml}}$$

- Calcul à l'ELU de l'effort vertical transmis au pied droit

$$V_{bru} = 1,35 \times (2,78 + 3,75) + 1,5 \times 20,83 = 40,06 \text{ KN/ml.}$$

$$\mathbf{V_{bru} = 40,06 \text{ KN/ml}}$$

- Calcul de la poussée transmise au pied droit à l'ELU

$$H_{tu} = 1,35 \times H_t = 1,35 \times 5,41 = 7,30 \text{ KN/ml}$$

$$\mathbf{H_{tu} = 7,30 \text{ KN/ml}}$$

Moment d'encastrement dû à la poussée de terre (Htu) :

$$MHtu = \frac{Htu \times (d + e)}{3} = \frac{7,30 \times (0,15 + 1,2)}{3} = 3,28 \text{ KN.m}$$

$$\mathbf{MHtu = 3,28 \text{ KN.m}}$$

Le pied droit étant en flexion composée, il ya lieu de calculer l'excentricité du centre de pression

(e) comme suit :

$$e = \frac{[MHtu + (\frac{c}{2} - \frac{g}{3}) \times Vbru]}{Vbru} = \frac{[3,28 + (\frac{0,15}{2} - \frac{0,08}{3}) \times 40,06]}{40,06} = 0,06 \text{ m}$$

$$\mathbf{e = 0,13m}$$

Calcul du noyau central (be) :

$$be = \frac{c}{6} = \frac{0,15}{6} = 0,025 \text{ m} \quad be = 0,025m$$

$e > be$, la section est donc partiellement comprimée.

Moment au centre de gravité des aciers tendus

$$Mu. \text{ centr} = e \times Vbru + Vbru \times (\frac{c}{6} - enrob) = 0,13 \times 40,06 + 40,06 \times (\frac{0,15}{6} - 0,03)$$

$$\mathbf{Mu. \text{ centr} = 5,01 \text{ KN.m/ml}}$$

Calcul du moment réduit :

Moment réduit de l'acier

$$\mu_s = 0,392$$

Moment réduit du béton

$$\mu_b = \frac{Mu \text{ centr}}{b_0 \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{5,01 \times 10^{-3}}{1 \times 0,12^2 \times 14,167} = 0,024$$

$\mu_b < \mu_s$, conclusion: pas d'aciers comprimés.

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_b}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - (2 \times 0,024)}) = 0,03$$

$$\alpha_u = 0,03$$

$$Z_u = d(1 - 0,4 \alpha_u) = 0,12 \times (1 - (0,4 \times 0,03)) = 0,118$$

Calcul des armatures tendues (Ast) :

$$Ast = \frac{Mu}{Z_u \times \sigma_s} = \frac{5,01 \times 10^{-3}}{0,118 \times 347,83} \rightarrow Ast = 0,000122 \text{ m}^2$$

La section d'acier réelle est donnée par :

$$Ast \text{ réel} = Ast - \frac{Vbru}{\sigma_s} = 0,000122 - \frac{40,06 \times 10^{-3}}{347,83} \rightarrow$$

$$Ast \text{ réel} = 6,89 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Condition de non fragilité :

$$Ast \text{ min} = 0,23 * b_0 * d * \frac{ft_{28}}{f_e} \qquad Ast \text{ min} = 0,23 * 1 * 0,12 * \frac{2,1}{400} = 0,0001449 \text{ m}^2$$

$$Ast \text{ min} = 1,45 \text{ cm}^2 / \text{ml}$$

Pied droit soumis à son poids propre, à l'effort de la dalle aux poussées de terre et de la roue Br (2è cas) :

Il s'agit du pied droit situé à proximité immédiate de la chaussée. Ce pied droit est simultanément soumis, en outre de son poids propre et de la dalle chargée, à la poussée de terre et à la poussée due à la présence de la roue Br sur la chaussée.

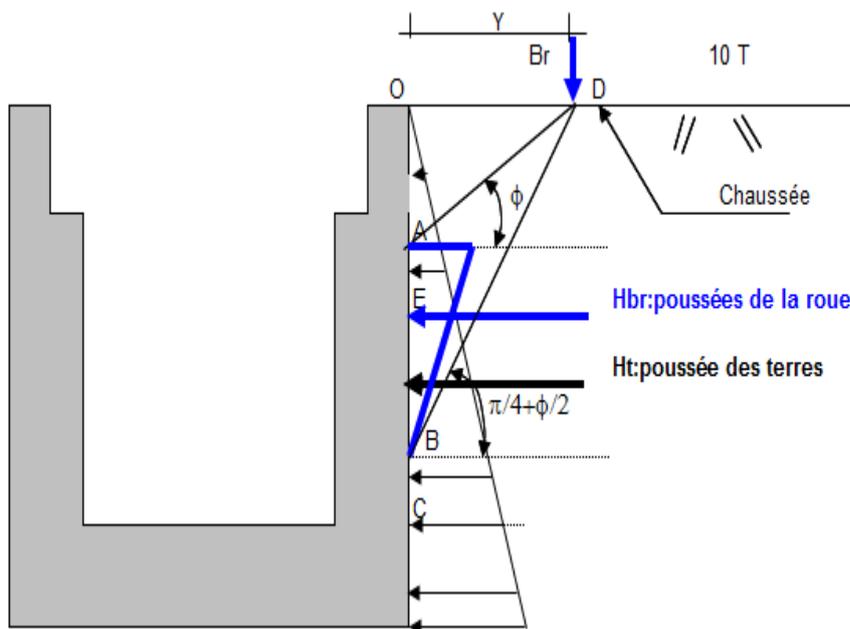


Figure 15 : Schéma statique 3

- OD : distance de l'axe de la surface d'impact de la roue au piedroit ;
- OA : Zone du piedroit soumise à aucune poussée de roue ;
- AB : Zone soumise à la poussée de la roue Br

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

$$OA = OD \times \text{tg} \left(\frac{\phi}{180} \times \frac{22}{7} \right) = 0,3 \text{ tg} \left(\frac{30}{180} \times \frac{22}{7} \right) = 0,173 \text{ m}$$

$$OB = OD \times \operatorname{tg} \left(\frac{22}{180} \times \left(\frac{1}{4} + 0,5 \times \frac{\emptyset}{130} \right) \right) = 0,520 \text{ m}$$

$$AB = OD - OA = 0,347 \text{ m}$$

$$AE = \frac{AB}{3} = 0,116 \text{ m}$$

- Point d'application de la résultante Hbr /encastrement

$$EC = OA - AE + (e + d) = 0,347 - 0,116 + (0,8 + 0,15) = 0,561 \text{ m}$$

- Angle de diffusion longitudinale de la charge $\theta = 27^\circ$

- **Longueur de la paroi influencée**

$$L_{pi} = 0,3 + 2 \times (AB + AO) \times \operatorname{tg} \left(\frac{22}{7} \times \frac{\theta}{180} \right) = 0,83 \text{ m} \quad \mathbf{L_{pi} = 0,83 \text{ m}}$$

- **Résultante Hbr des poussées latérales dues à la charge de la roue Br :**

$$RH_{br} = \frac{1}{3} \times Br \times \operatorname{tg} \left(\frac{22}{7} \times \left(\frac{1}{4} - 0,5 \times \frac{\emptyset}{180} \right) \right) = 19,25 \text{ KN/ml} \quad \mathbf{RH_{br} = 19,25 \text{ KN/ml}}$$

- **Résultante Ht des poussées de terres latérales :**

$$RH_t = K_a \times \gamma_{sol} \times \left(\frac{(d + e)^2}{2} \right) = 0,33 \times 18 \times \left(\frac{(0,15 + 1,2)^2}{2} \right) = 5,41 \text{ KN/ml}$$

$$\mathbf{RH_t = 5,41 \text{ KN/ml}}$$

- **Moment d'encastrement dû à la poussée de terre latérale (Ht) :**

$$MH_t = RH_t \times \left(\frac{d + e}{3} \right) = 5,41 \times \left(\frac{(0,15 + 1,2)}{3} \right) = 2,43 \text{ KN.m/ml}$$

$$\mathbf{MH_t = 2,43 \text{ KN.m/ml}}$$

- **Moment d'encastrement dû à la poussée latérale résultant de la roue Br (Mbr) :**

$$MH_{Br} = RH_{Br} \times (EC + d) = 19,25 \times (0,561 + 0,15) = 13,687 \text{ KN.m/ml}$$

$$\mathbf{MH_{Br} = 13,687 \text{ KN.m/ml}}$$

- **Moment d'encastrement dû à toutes les poussées (de terre et de la roue) à l'ELU**

$$M_u = 1,35 \times 2,43 + 1,5 \times 13,687 = 23,81 \text{ KN.m/ml}$$

$$\mathbf{M_u = 23,81 \text{ KN.m/ml}}$$

Calcul des armatures :

Moment réduit du béton :

$$\mu_b = \frac{M_u}{b_0 \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{23,81 \times 10^{-3}}{1 \times 0,12^2 \times 14,167} = 0,116$$

$\mu b < \mu s$, conclusion: pas d'aciers comprimés.

$$\alpha u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu b}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - (2 * 0,116)}) = 0,154$$

$$\alpha u = 0,154$$

$$Zu = d(1 - 0,4 \alpha u) = 0,12 * (1 - (0,4 * 0,154)) = 0,113$$

Calcul des armatures tendues (Ast) :

$$Ast = \frac{Mu}{Zu * \sigma s} = \frac{23,81 \times 10^{-3}}{0,113 \times 347,83} \rightarrow Ast = 0,000605 m^2$$

$$Ast = 6,05 cm^2$$

Condition de non fragilité :

$$Ast \min = 0,23 * b_0 * d * \frac{ft28}{fe} \quad Ast \min = 0,23 * 1 * 0,12 * \frac{2,1}{400} = 0,0001449m^2$$

Ast min = 1,45 cm²/ml Condition vérifiée !

$$Ast = 6,05 cm^2$$

Ferraillage retenu pour le pied droit :

- Face intérieure du pied droit : **5 HA8/ml** avec un espacement de 20cm, totalisant 2,51 cm² ;
- Face extérieure du pied droit (proximité immédiate de la chaussée) : **4 HA14/ml**, espacés de 33 cm, totalisant 6,16 cm² ;
- Aciers de répartition : **HA8** filant avec un espacement de 20 cm

POUR LE RADIER :

A ce niveau nous avons considéré le chargement le plus défavorable comme le montre le schéma suivant :

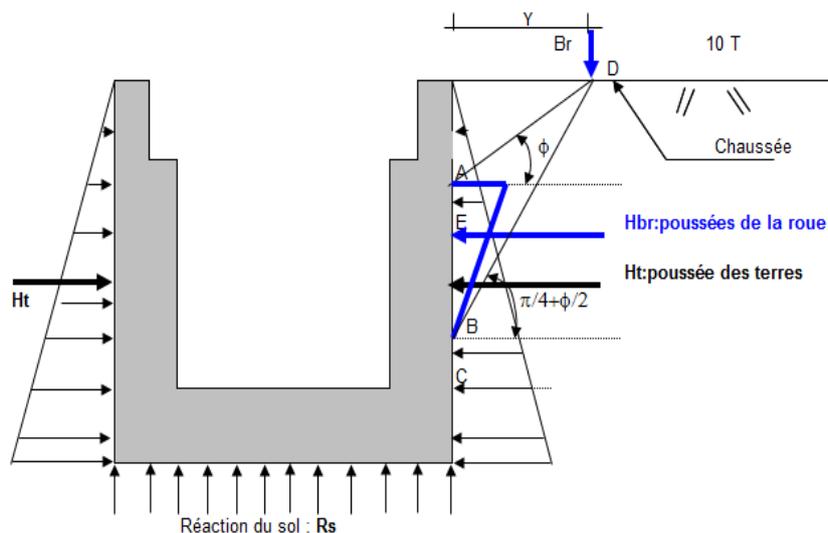


Figure 16 : Schéma statique 4

Chargement défavorable du radier

- La réaction du sol (R_s) vaut :

$$R_s = [-2 \times ((e + d) \times c - g \times d) + l \times f] \times \frac{\gamma b}{(1 + 2 \times c)} =$$

$$R_s = [-2 \times ((1,2 + 0,15) \times 0,15 - 0,08 \times 0,15) + 1,2 \times 0,15] \times \frac{18}{(0,6 + 2 \times 0,15)}$$

$$R_s = -4,02 \text{ KN/ml}$$

- La réaction du sol (R_s) à l'ELU :

$$R_{su} = 1,35 \times R_s = 1,35 \times (-4,02)$$

$$R_{su} = -5,427 \text{ KN/ml}$$

- Moment d'encastrement droit :

$$M_{du} = M_u \text{ calculé (au niveau du pied droit 2è cas)}$$

$$M_{du} = 23,81 \text{ KN.m/ml}$$

- Moment d'encastrement gauche :

$$M_{gu} = M_u \text{ calculé (au niveau du pied droit 1er cas)}$$

$$M_{gu} = 3,28 \text{ KN.m/ml}$$

- Moment maximal sollicitant le radier :

$$M_{\max} = \max \{M_{gu} ; M_{du}\} = M_{\max} = \max \{3,28 ; 23,81\}$$

$M_{max} = M_{du} = 23,81 \text{ KN.m/ml}$, de ce fait, nous adopterons le même ferrailage que précédemment (au 2^e cas).

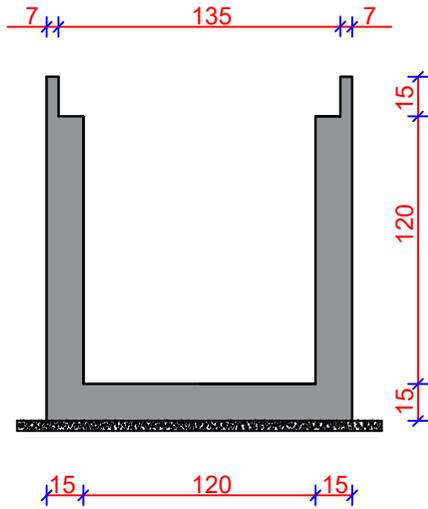
RECAPITULATIF DE FERRAILAGE POUR LE CANIVEAU :

TABLEAU RECAPITULATIF DU FERRAILAGE DU CANIVEAU

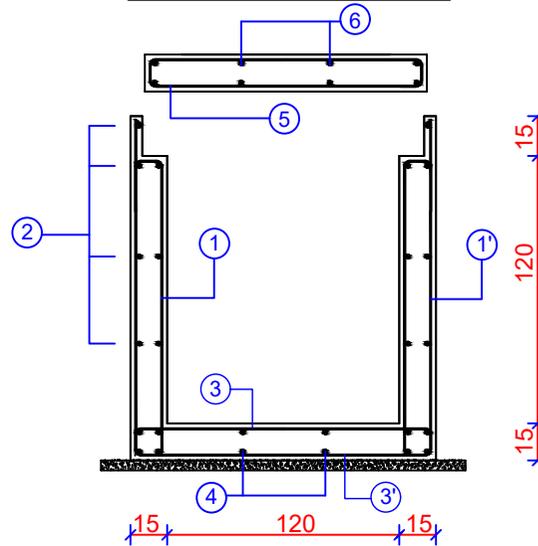
| Types d'armature | | DALLETT E | PIEDS DROITS | | RADIER | |
|-----------------------------|--------------------------------|---|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | | | Face intérieure | Face extérieure | Face supérieure | Face extérieure |
| Armature principales | Section calculées | 13,82 cm ² | 1,45 cm ² | 6,05 cm ² | 6,05 cm ² | 1,45 cm ² |
| | Choix des armatures | 5 cadres HA 14 Es = 9,75cm | 5 HA8 Es = 20 cm | 4 HA14 Es = 33 cm | 4 HA14 Es = 33 cm | 5 HA8 Es = 20 cm |
| | sections totalisées | 15,4 cm ² | 2,51 cm ² | 6,16 cm ² | 6,16 cm ² | 2,51 cm ² |
| Armatures de répartition | Section calculées | 1,835 cm ² | 1,45 cm ² | 1,45 cm ² | 1,45 cm ² | 1,45 cm ² |
| | Choix des armatures | 4HA 8 Es = 20 | 4 HA8 Es = 20 cm | 4 HA8 Es = 20 cm | 4 HA8 Es = 20 cm | 4 HA8 Es = 20 cm |
| | sections totalisées | 2,01 cm ² | 2,01 cm ² | 2,01 cm ² | 2,01 cm ² | 2,01 cm ² |

CANIVEAU 120 X 120

PLAN DE COFFRAGE CANIVEAU 120 X 120



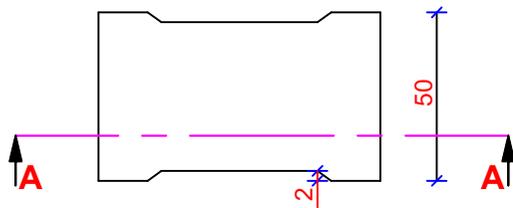
PLAN DE FERRAILLAGE



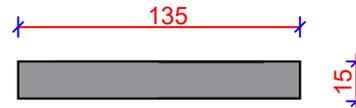
RECAPITULATIF DU FERRAILLAGE

| Numéro | Diamètre Armature | Forme |
|--------|--------------------------------|-------|
| ① | 5HA 8 St = 20 cm | |
| ①' | 5HA 12 St = 20 cm | |
| ② | 4HA 8 St = 20 cm | |
| ③ | 5HA 12 St = 20 cm | |
| ③' | 5HA 8 St = 20 cm | |
| ④ | 4HA 8 St = 20 cm | |
| ⑤ | 5 HA 10 / dall St : 9.75 cm | |
| ⑥ | 4HA 8/ dall St : 20 cm | |

VUE EN PLAN DALLETTE



COUPE A-A



| | | | | |
|--|--|---|---|--|
| | CGE 01 B.P: 1337 Ouagadougou 01 Burkina Faso Tel: (+226) 25 30 00 15 Email: cgeimmobilier.com | REPUBLIQUE DU BURKINA FASO Unité-Progrès-Justice ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE VOIRIES URBAINES DANS LA VILLE NOUVELLE DE YENNENGA | Date: 31/05/2018 Ech: Ajust au Format Plan: N°6 | |
| | CANIVEAU 120 X 120 | Dessiné par: HASSANE SANDA Maman Bachir | | |

ANNEXE N°14 : Dimensionnement structural du dalot (2 × 2 × 1,5)

L'objectif est de vérifier que le dimensionnement adopté pour le dalot lui confère le niveau de fiabilité requis compte tenu de la qualité exigée des matériaux qui seront utilisés et du niveau de contrôle prévu lors de l'exécution.

Pré dimensionnement du dalot

Cette étape permet de définir les épaisseurs des différents éléments constitutifs du dalot. L'épaisseur sera considérée uniforme pour le tablier, le radier et les piédroits.

Généralement, l'épaisseur du dalot est environ égale à :

$$e = \frac{l}{15} \text{ Où } l \text{ est la plus grande dimension de la cellule hydraulique.}$$

$$\text{Dans notre cas } l = 2 \text{ m} \Rightarrow e = \frac{200}{15} = 13,33 \text{ cm}$$

Pour nous assurer qu'il n'y aura pas d'acier comprimé et transversal dans le tablier, on peut utiliser la condition sur l en fonction de la hauteur de remblai H :

$$H < 2 \text{ m} ; e = l/10 - 5 \text{ cm}$$

$$e = 200/10 - 5 = 15 \text{ cm}$$

Finalement l'épaisseur e sera égale à :

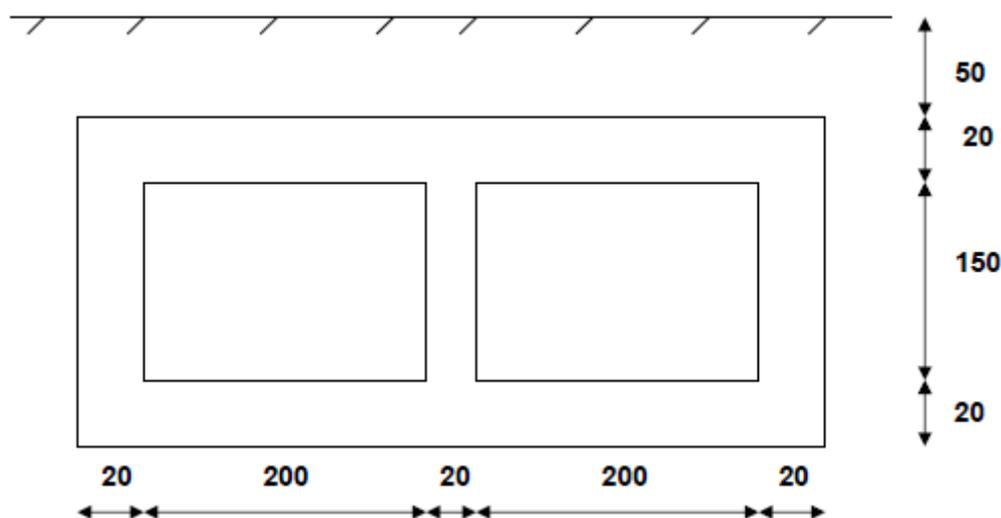
$$e = \max(13,33; 15) = 15 \text{ cm}$$

$$e = 15 \text{ cm}$$

Vu l'absence de goussets sur le dalot, il sera nécessaire d'épaissir les traverses et les piédroits.

Donc nous prendrons une épaisseur finale de :

$$e = 20 \text{ cm}$$



Hypothèses de calcul

Les calculs de ferrailage seront menés suivant les règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et construction en béton armé suivant la méthode des états limites dites règles B.A.E.L 91.

Les structures routières seront définies conformément aux prescriptions du titre II du fascicule 61 du cahier des prescriptions communes (C.P.C) français en la matière.

Les ouvrages seront calculés par rapport aux systèmes de charges A(L) et B (Bc, Bt et Br). Toutefois pour les dalots et ponts de longueur à 10 m, A(L) n'est pas envisagé (fascicule 61 chap. 1^{er}).

On mènera les calculs par bande de 1.00 m linéaire.

✚ Acier :

- Nuance : Acier à haute adhérence Fe 400
- Limite d'élasticité garantie $F_e = 400$ MPa
- Contrainte de calcul de l'acier à l'ELU $\sigma_s = \frac{F_e}{1,15} = \frac{400}{1,15} = 348$ MPa
- Contrainte de calcul de l'acier à l'ELS

$$\bar{\sigma}_s = \min \left\{ \frac{2}{3} f_e; \max(0,5f_e; 110 \sqrt{1,6 \times f_{c28}}) \right\} = 200 \text{ MPa}$$

- Enrobage = 3 cm.

✚ Béton :

- Poids volumique : 25 kN/m³
- Fissuration préjudiciable pour notre dalot triple ouvertures.
- Résistance nominale à 28j :
 - A la compression $f_{c28} = 25$ MPa
 - A la traction $f_{tj} = 0,6 + 0,06f_{c28}$
- Contrainte limite du béton : $\bar{\sigma}_{bc} = 0,6f_{c28} = 0,6 \times 25 = 15$ MPa

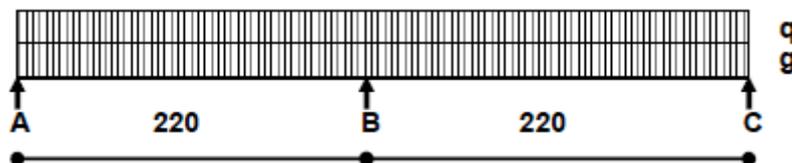
✚ Remblai :

- Vu la présence de remblai sur le tablier, on prend comme densité de terre ~ 20 kN/m³

- Le coefficient de poussée des terres sera $K_a = 0,33\ 7473\ 4155$

Evaluation des charges permanentes et surcharges routières

Schéma de calcul équivalent



Calcul des charges permanentes

✚ Au niveau du tablier

Poids propre du tablier : $P = 25 \times e \times 1 = 25 \times 0,2 \times 1 = 5 \text{ kN/m}$

Remblai sur dalot, $e = 0,5 \text{ m} \Rightarrow P = 20 \times e \times 1 = 20 \times 0,5 = 10 \text{ kN/m}$

Couche de roulement $e = 0,04 \text{ m} \Rightarrow P = 24 \times e \times 1 = 24 \times 0,04 = 0,96 \text{ kN/m}$

On a $P_1 = \sum P_i = 5 + 10 + 0,96 = 15,96 \text{ kN/ml}$

✚ Au niveau du radier

Le radier reçoit les charges permanentes du tablier P_1 et des piédroits.

Poids propre du piédroit : $P = 25 \times 0,2 \times 1 = 5 \text{ kN/m}$

Poids propre du radier : $P = 25 \times e \times 1 = 25 \times 0,2 \times 1 = 5 \text{ kN/m}$

$P_2 = 15,96 + 5 + \frac{5 \times 3}{(2 \times 2) + (0,2 \times 3)} = 24,22 \text{ kN/ml}$

Calcul des charges variables

Elles sont définies par le fascicule 61 titre 2 du C.P.C et concerne les charges et effets suivants :

- Les charges d'exploitation sans caractères particuliers ou charges routières normales ;
- Les charges d'exploitation à caractères particuliers ;
- Les effets du vent ;
- Les actions de la température ;

- Les actions climatiques ;
- Les actions en cours d'exécution.

Cependant dans notre cas nous nous intéresserons uniquement aux charges routières normales.

Surcharges routières

Elles regroupent l'ensemble des systèmes de chargements routiers définies par le Fascicule 61 titre

2 du C.P.C et sont constituées du :

- Système A ;
- Système B comprenant les charges de type Bc, Bt, Br.

Il nous faudra définir certaines notions qui seront utiles pour la suite.

Largeur roulable (Lr) : c'est la largeur du tablier comprise entre dispositifs de retenue, s'il y'en a ou bordures. Elle comprend donc la chaussée proprement dite et les sur largeurs éventuelles, telles que les bandes d'arrêt d'urgence (BAU), Bandes dérasées (BD) etc...

Dans le cas du présent projet, la largeur roulable est :

Lr = 14 m

Largeur Chargeable Lch : la largeur chargeable se déduit à partir de la largeur roulable :

En enlevant une bande de 0,50 m le long de chaque dispositif de retenue (glissière ou barrière) lorsqu'il en existe ; cependant si une chaussée est encadrée par deux (2) bordures, la largeur chargeable est confondue avec la largeur roulable et si elle est bordée d'un côté par un dispositif de retenue, de l'autre par une bordure, c'est une bande de 0,50 m qui sera soustraite.

Lch = Lr - n × 0,50

Avec : Lch : largeur chargeable en m et n : nombre de dispositifs de retenue et $n \leq 2$

Lch = 14 - (0 × 0,5)

Lch = 14 m

Nombre de voies Nv : par convention le nombre de voies de circulation Nv des chaussées est tel que :

$$N_V = \text{Entier} \left(\frac{L_{ch}}{3} \right)$$

$$N_V = \text{Entier} \left(\frac{14}{3} \right) = 4$$

$N_V = 4$ Voies

Largeur d'une voie (V) : la largeur d'une voie de circulation V est donnée par :

$$V = \frac{L_{ch}}{N_V}$$

$$V = \frac{14}{4}$$

$V = 3,5$ m

Classe des ponts : les ponts sont classés en trois (3) classes selon leur largeur roulable Lr et leur destination :

- 1ère Classe : tout le pont supportant une largeur roulable supérieure ou égale à 7 m et ceux portant des bretelles d'accès à de telles chaussées, ainsi que les autres ponts éventuellement désignés par le cahier des Prescriptions Spéciales (C.P.S), tels que les ponts urbains ou en zone industrielle avec risque d'accumulation de poids lourds quel que soit leur largeur.
- 2ème Classe : tous les ponts autres que ceux de la 1ère classe supportant des chaussées de largeur roulable comprise entre 5,50 m et 7 m ;
- 3ème Classe : les ponts autres que ceux-ci-dessus portant des chaussées de 1 ou 2 voies de largeur roulable inférieure ou égale à 5,5 m.

En se référant à cette classification des ponts du Fascicule 61 Titre 2, nous remarquons que le dalot du projet est un dalot de 1ère classe car ayant une largeur roulable supérieure à 7,00 m.

Tableau 9 : Classification des ponts selon le Fascicule 61 titre 2 du CPC

| Désignation | Caractéristiques |
|------------------------|---------------------|
| Classe de pont | Pont de 1ère Classe |
| Nombre de Voie N_V | $N_V = 4$ voies |
| Largeur Roulable Lr | Lr = 14 m |
| Largeur Chargeable Lch | Lch = 14 m |

Comme défini précédemment, on ne s'intéressera qu'au système B, le système A n'est pas envisagé pour les dalots de longueur inférieure à 10 m.

Système B

Le système B comprend trois (3) sous-systèmes dont les effets pour chaque élément des ponts sont examinés indépendamment :

- Le système Bc composé de camions types ;
- Le système Br composé d'une roue isolée ;
- Le système Bt composé de groupes de deux (2) essieux.

Dans la suite, il sera présenté une description de chaque type de système avant de passer aux différents calculs.

Le Système Bc

Le sous-système Bc se compose de camions de poids individuel égal à 300 kN. On dispose autant de files de deux camions au maximum que de voies de circulation, il est affecté un coefficient de pondération b_c (dégressivité transversale).

Le sous-système Bc est représenté sur les figures ci-dessous :

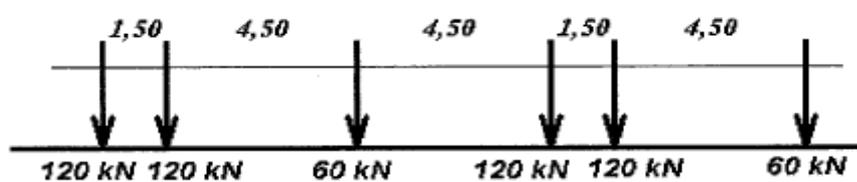


Figure 17: Disposition de deux camions dans le sens longitudinal (Système Bc)

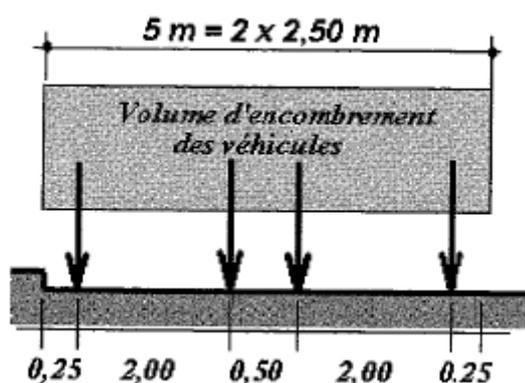


Figure 18: Disposition de deux camions dans le sens transversal (Sous-système Bc).

La détermination du coefficient b_c se fait en fonction de la classe du pont et du nombre de voies chargées, les différentes valeurs du coefficient b_c sont présentées dans le tableau qui suit :

Tableau 10 Valeurs du coefficient de dégression bc

| Classe du pont | Nombre de voies chargées | | | | |
|----------------|--------------------------|-----|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| I | 1,1 | 1 | 0,95 | 0,80 | 0,70 |
| II | 1 | 0,9 | | | |
| III | 0,9 | 0,8 | | | |

Dans le cas du présent projet, le pont est de première classe avec deux files donc le coefficient bc est respectivement égal à 1,20 pour une file, 1,10 pour deux (2) files 0,95 pour trois (3) files et 0,80 pour quatre (4) files. Nous avons quatre camions transversalement et deux files de deux essieux de 12 t.

Le tableau qui suit présente le calcul de la charge engendrée par le sous-système Bc :

Tableau 11 Chargement sous-système Bc par voie

| Nombre de Voies Chargées | bc | Charge par Essieu (KN) | | |
|--------------------------|------|------------------------|----------------------------|-----|
| | | | | |
| 1 Voie | 1,20 | E. AV | $1 \times 60 \times 1,20$ | 72 |
| | | E.AR | $1 \times 120 \times 1,20$ | 144 |
| 2 Voies | 1,10 | E. AV | $2 \times 60 \times 1,10$ | 132 |
| | | E.AR | $2 \times 120 \times 1,10$ | 264 |
| 3 Voies | 0,95 | E. AV | $2 \times 60 \times 0,95$ | 144 |
| | | E.AR | $2 \times 120 \times 0,95$ | 228 |
| 4 Voies | 0,8 | E. AV | $2 \times 60 \times 0,8$ | 96 |
| | | E.AR | $2 \times 120 \times 0,8$ | 192 |

$$S = 4 \times 120 \times 2 \times 0,8 = 192 \times 4 = 768 \text{ kN}$$

Le Système Bt

Le sous-système Bt se compose de deux tandems à deux essieux de quatre roues chacun, le poids de chaque essieu étant de 160 KN :

- Il ne s'applique qu'aux ponts de première et deuxième classe ;

- Le nombre de camions est limité à deux dans le sens transversal ;
- Il est affecté d'un coefficient de pondération bt égal à 1 pour les ponts de première classe et 0,90 pour ceux de deuxième classe.

La figure qui suit présente la disposition dudit système :

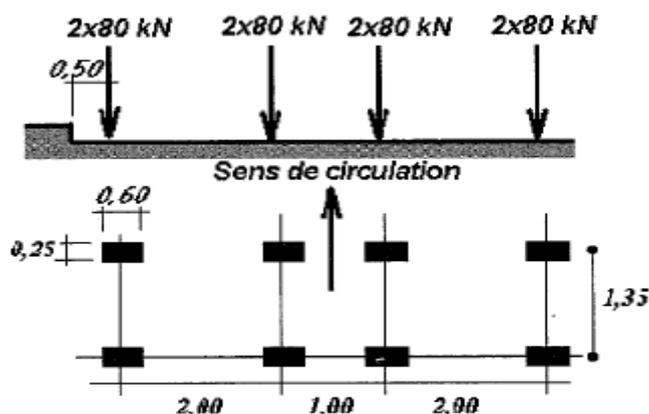


Figure 19: Disposition sous-système Bt

Le dalot soumis à cette étude étant de 1ère classe, le coefficient bt est alors égal à $b_t = 1$.

Le poids total maximal S des essieux du système Bt est alors égal à :

$$S = S_1 \times b_t$$

$$S = 2 \times 16 \times 2 \times 1 = 64 \text{ t} = 640 \text{ kN}$$

Tableau 12 Charge Bt par essieu

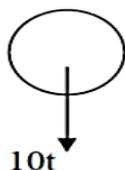
| Nombre de Tandem | BT | Charge par essieu (KN) | |
|------------------|----|-------------------------|-----|
| 1 | 1 | $160 \times 1 \times 1$ | 160 |
| 2 | 1 | $160 \times 2 \times 1$ | 320 |

:

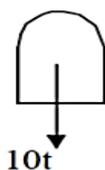
Le Système Br

Le sous-système Br se compose d'une roue isolée transmettant un effort de 100 kN à travers une surface d'impact rectangulaire de $0,60 \times 0,30$ m (la dimension 0,60 perpendiculaire à l'axe de déplacements des véhicules, représente la surface au sol de roues jumelées), il est représenté par la figure qui suit :

Longitudinalement



Transversalement



En plan

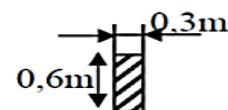


Figure 20 Configuration sous-système Br

Le système Br se calcul comme suit :

Deux voies chargées : $\rightarrow B_r = 10t = 100 \text{ kN}$

$$S = \max\{S_{Bc}; S_{Bt}; S_{Br}\} = \max\{768; 640; 100\} = 768 \text{ kN}$$

Pour la suite, nous prendrons la valeur de la surcharge B_c comme surcharge routière $q_L = 768 \text{ kN}$.

Au niveau du tablier

$$\text{Calcul de la charge répartie : } q_1 = \frac{768 \times 0,8}{2,2 \times 10} = 27,93 \text{ kN/m}^2$$

Coefficient de majoration dynamique :

$$\delta = 1 + \frac{0,40}{1+0,2L} + \frac{0,60}{1+4\frac{G}{S}}$$

Avec :

- L : longueur de la travée étudiée, $L = 2 \text{ m}$
- G : Poids total de ladite travée, $G = P_1 \times L = 15,96 \times 2 = 31,92 \text{ kN}$
- S : Poids total maximal des essieux du Système Bc, $S = 27,93 \times 4 = 111,72 \text{ kN}$

$$\delta = 1 + \frac{0,40}{1 + (0,2 \times 2)} + \frac{0,60}{1 + 4 \times \frac{31,92}{111,72}} \cong 1,57$$

D'où une surcharge uniformément répartie :

$$q = q_1 \times \delta = 27,93 \times 1,57 = 43,85 \text{ kN/ml}$$

Au niveau du radier

$$\text{Calcul de la charge répartie : } q_2 = \frac{768 \times 0,8}{4,6 \times 10} = 13,36 \text{ kN/m}^2$$

Coefficient de majoration dynamique :

$$\delta = 1 + \frac{0,40}{1+0,2L} + \frac{0,60}{1+4\frac{G}{S}}$$

Avec :

- L : longueur de la travée étudiée, $L = 2 \text{ m}$
- G : Poids total de ladite travée, $G = P_2 \times L = 24,22 \times 2 = 48,44 \text{ kN}$
- S : Poids total maximal des essieux du Système Bc, $S = 13,36 \times 4 = 53,44 \text{ kN}$

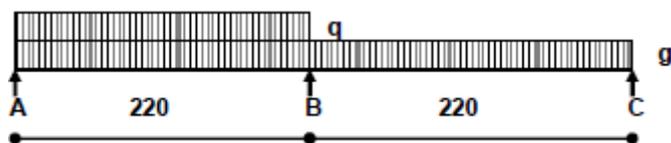
$$\delta = 1 + \frac{0,40}{1 + (0,2 \times 2)} + \frac{0,60}{1 + 4 \times \frac{48,44}{53,44}} \cong 1,42$$

D'où une surcharge uniformément répartie :

$$q = q_2 \times \delta = 13,36 \times 1,41 = 18,84 \text{ kN/ml}$$

Détermination des efforts et sollicitations

Ils seront déterminés selon les formules découlant des équations des trois moments. Pour les cas des surcharges routières, selon le principe des lignes d'influence, on chargera les travées appropriées pour obtenir suivant les sections considérées, les effets les plus défavorables.



Au niveau du tablier

Sous charges permanentes

$$g = 15,96 \text{ kN/ml}$$

Moments à mi- travée A-B et B-C,

$$M(A - B) = M(B - C) = 0,070 \times g \times L^2 = 0,070 \times 15,96 \times 2,20^2 = 5,41 \text{ kN. m/ml}$$

Moments sur appuis B

$$M(B) = -0,125 \times g \times l^2 = -0,125 \times 15,96 \times 2,20^2 = -4,39 \text{ kN. m/ml}$$

Réactions d'appuis

$$R(A) = R(C) = 0,375 \times g \times l = 0,375 \times 15,96 \times 2,2 = 13,17 \text{ kN}$$

$$R(B) = 1,25 \times g \times l = 1,25 \times 15,96 \times 2,2 = 43,89 \text{ kN}$$

Sous surcharges routières

$$q = 43,85 \text{ kN/ml}$$

Moments à mi- travée A-B, et B-C

$$M(A - B) = M(B - C) = 0,100 \times q \times L^2 = 0,100 \times 43,85 \times 2,20^2 = 21,22 \text{ kN. m/ml}$$

Moments sur appuis B

$$M(B) = -0,125 \times q \times l^2 = -0,125 \times 43,85 \times 2,2^2 = -26,53 \text{ kN. m/ml}$$

Réactions d'appuis

$$R(A) = R(C) = 0,437 \times q \times l = 0,437 \times 43,85 \times 2,2 = 42,16 \text{ kN}$$

$$R(B) = 0,625 \times q \times l = 0,625 \times 43,85 \times 2,2 = 60,29 \text{ kN}$$

Au niveau du radier*Sous charges permanentes*

$$g = 24,22 \text{ kN/ml}$$

Moments à mi- travée A-B, et B-C

$$M(A - B) = M(B - C) = 0,070 \times g \times L^2 = 0,070 \times 24,22 \times 2,20^2 = 8,21 \text{ kN. m/ml}$$

Moments sur appuis B

$$M(B) = -0,125 \times g \times l^2 = -0,125 \times 24,22 \times 2,2^2 = -14,65 \text{ kN. m/ml}$$

Réactions d'appuis

$$R(A) = R(C) = 0,375 \times g \times l = 0,375 \times 24,22 \times 2,2 = 19,98 \text{ kN}$$

$$R(B) = 1,25 \times g \times l = 1,25 \times 24,22 \times 2,2 = 66,61 \text{ kN}$$

Sous surcharges routières

$$q = 18,84 \text{ kN/ml}$$

Moments à mi- travée A-B et B-C

$$M(A - B) = M(B - C) = 0,100 \times q \times L^2 = 0,100 \times 18,84 \times 2,20^2 = 9,12 \text{ kN. m/ml}$$

Moments sur appuis B

$$M(B) = -0,125 \times q \times l^2 = -0,125 \times 18,84 \times 2,2^2 = -11,40 \text{ kN. m/ml}$$

Réactions d'appuis

$$R(A) = R(C) = 0,437 \times q \times l = 0,437 \times 18,84 \times 2,2 = 18,11 \text{ kN}$$

$$R(B) = 0,625 \times q \times l = 0,625 \times 18,84 \times 2,2 = 25,91 \text{ kN}$$

Au niveau du piédroit central*Sous charges permanentes*

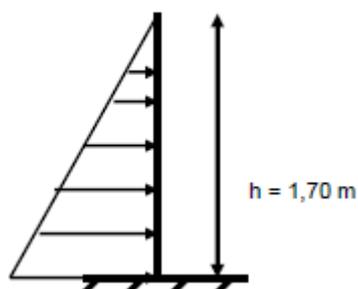
$$\text{Réaction d'appui du radier } N = R(B) = 66,61 \text{ kN}$$

Sous surcharges routières

$$\text{Réaction d'appui du tablier } N = R(B) = 60,29 \text{ kN}$$

Au niveau des piédroits extérieurs A et C

Sous charges permanentes

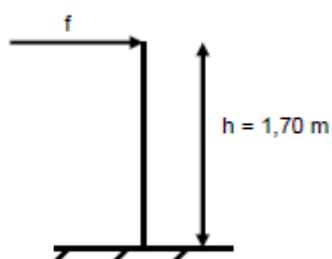
Effort normalRéaction d'appui du radier $N = R(A) = 19,98 \text{ kN}$ **Moment dû à la poussée des terres**

$$M = \gamma \times h^3 \times K_a / 6 = 20 \times 1,7^3 \times \frac{0,33}{6} = 5,40 \text{ kN.m/ml}$$

Sous surcharges routières

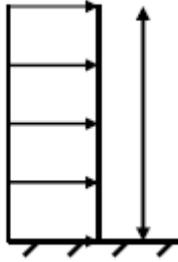
Effort normalRéaction d'appui du tablier $N = R(A) = 42,16 \text{ kN}$ **Moment dû à la force de freinage**

On répartit l'effort $F = 27,93 \text{ kN}$ (calculé précédemment) sur les deux piédroits extérieurs d'où $f = 13,97 \text{ kN}$.



$$M = f \times h = 13,97 \times 1,7 = 23,75 \text{ kN.m/ml}$$

Moment dû à la surcharge routière de remblai ($\sigma = 10 \text{ kN/m}^2$)



$$M = \sigma \times h^2 \times \frac{K_a}{2} = 10 \times 1,7^2 \times \frac{0,33}{2} = 4,77 \text{ kN.m/ml}$$

Calcul des sections d'armatures

Calcul des armatures du tablier

Données de calcul : $b = 2,00 \text{ m}$; $h = 0,20 \text{ m}$; $d = 0,9h = 0,18 \text{ m}$; $d' = 0,1h = 0,02 \text{ m}$;

$$f_{bu} = \frac{0,85f_{c28}}{\theta\gamma_b} = \frac{0,85 \times 25}{1 \times 1,5} = 14,17 \text{ MPa} ; f_{su} = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{400}{1,15} = 347,83 \text{ MPa}$$

Travée A-B et B-C (lit inférieur)

Calcul à l'Etat limite Ultime (ELU)

$$M_u = 1,35G + 1,6Q$$

$$M_u = 1,35 \times 5,41 + 1,6 \times 21,22 = 41,26 \text{ kN.m}$$

Calcul du moment réduit μ_u

$$\mu_u = \frac{M_u}{bd^2f_{bu}} = \frac{41,26}{2 \times 0,18^2 \times 14,17 \times 10^3} = 0,0449$$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,0449}) = 0,057$$

Recherche du Pivot

$$\mu_u = 0,057 < \mu_{AB} = 0,186 \Rightarrow \text{Pivot A}$$

Détermination du bras de levier

$$Z_u = d(1 - 0,4\alpha_u) = 0,18(1 - 0,4 \times 0,057) = 0,176$$

Calcul de la section d'acier

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}} = \frac{41,26}{0,176 \times 347,83 \times 10^3} = 6,74 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'Etat Limite de Service (ELS)

$$M_{ser} = G + 1,2Q$$

$$M_{ser} = 5,41 + 1,2 \times 21,22 = 30,874 \text{ kN.m}$$

Le moment résistant

$$M_{r_{serb}} = \frac{bd^2}{2} \bar{\sigma}_{bc} \times \bar{\alpha}_{ser} \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right)$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n\bar{\sigma}_{bc}}{n\bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 200} = 0,53$$

D'où

$$M_{r_{serb}} = \frac{2 \times 0,18^2}{2} \times 15 \times 0,53 \times \left(1 - \frac{0,53}{3}\right)$$

$$M_{r_{serb}} = 0,212 \text{ MN.m} > M_{ser} \Rightarrow \text{pas d'aciers comprimés}$$

Section d'aciers principaux

$$A_{pr} = \frac{M_{ser}}{d \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{st}}$$

$$A_{pr} = \frac{30,874 \times 10^{-3}}{0,18 \left(1 - \frac{0,53}{3}\right) \times 200} = 10,42 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 10,42 \text{ cm}^2$$

$$A_{pr} = 10,42 \text{ cm}^2$$

Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4}$$

$$A_{rep} = \frac{10,42}{4} = 2,60 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{min} = \frac{0,23 \times f_{t28} \times b \times d}{F_e}$$

$$A_{min} = \frac{0,23 \times 2,1 \times 2 \times 0,18}{400} = 4,35 \text{ cm}^2$$

Sections retenues pour le ferrailage des armatures du tablier en travée :

Section d'aciers principaux :

$$A_{pr} = 10,42 \text{ cm}^2$$

Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = 4,35 \text{ cm}^2$$

Sur appui B (lit supérieur)

Calcul à l'Etat limite Ultime (ELU)

$$M_u = 1,35G + 1,6 Q$$

$$M_u = 1,35 \times 4,39 + 1,6 \times 26,53 = 48,37 \text{ kN.m}$$

Calcul du moment réduit μ_u

$$\mu_u = \frac{M_u}{bd^2 f_{bu}} = \frac{48,37}{2 \times 0,18^2 \times 14,17 \times 10^3} = 0,053$$

$$\alpha_u = 1,25 \left(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}\right) = 1,25 \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,053}\right) = 0,068$$

Recherche du Pivot

$$\mu_u = 0,053 < \mu_{AB} = 0,186 \Rightarrow \text{Pivot A}$$

Détermination du bras de levier

$$Z_u = d(1 - 0,4\alpha_u) = 0,18(1 - 0,4 \times 0,068) = 0,175$$

Calcul de la section d'acier

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}} = \frac{48,37}{0,175 \times 347,83 \times 10^3} = 7,94 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'Etat Limite de Service (ELS)

$$M_{ser} = G + 1,2Q$$

$$M_{ser} = 4,39 + 1,2 \times 26,53 = 36,23 \text{ kN.m}$$

Le moment résistant

$$M_{r_{ser,b}} = \frac{bd^2}{2} \bar{\sigma}_{bc} \times \bar{\alpha}_{ser} \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right)$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n\bar{\sigma}_{bc}}{n\bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 200} = 0,53$$

D'où

$$M_{r_{ser,b}} = \frac{2 \times 0,18^2}{2} \times 15 \times 0,53 \times \left(1 - \frac{0,53}{3}\right)$$

$$M_{r_{ser,b}} = 0,212 \text{ MN.m} > M_{ser} \Rightarrow \text{pas d'aciers comprimés}$$

Section d'aciers principaux

$$A_{pr} = \frac{M_{ser}}{d \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{st}}$$

$$A_{pr} = \frac{36,23 \times 10^{-3}}{0,18 \left(1 - \frac{0,53}{3}\right) \times 200} = 12,22 \text{ cm}^2$$

$$A_{pr} = 12,22 \text{ cm}^2$$

Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4}$$

$$A_{\text{rep}} = \frac{12,22}{4} = 3,05 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{\text{min}} = \frac{0,23 \times f_{t28} \times b \times d}{F_e}$$

$$A_{\text{min}} = \frac{0,23 \times 2,1 \times 2 \times 0,18}{400} = 4,35 \text{ cm}^2$$

Sections retenues pour le ferrailage des armatures du tablier en travée :

Section d'aciers principaux :

$$A_{\text{pr}} = 12,22 \text{ cm}^2$$

Section d'aciers de répartition :

$$A_{\text{rep}} = 4,35 \text{ cm}^2$$

Aux abouts A et C (lit supérieur)

Calcul à l'Etat limite Ultime (ELU)

On estime forfaitairement

$$M_u = 0,5 \times M_u(A - B)$$

$$M_u = 0,5 \times 41,26 = 20,63 \text{ kN.m}$$

Calcul du moment réduit μ_u

$$\mu_u = \frac{M_u}{bd^2f_{bu}} = \frac{20,63}{2 \times 0,18^2 \times 14,17 \times 10^3} = 0,022$$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,022}) = 0,028$$

Recherche du Pivot

$$\mu_u = 0,022 < \mu_{AB} = 0,186 \Rightarrow \text{Pivot A}$$

Détermination du bras de levier

$$Z_u = d(1 - 0,4\alpha_u) = 0,18(1 - 0,4 \times 0,028) = 0,178$$

Calcul de la section d'acier

$$A_{\text{st}} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}} = \frac{20,63}{0,178 \times 347,83 \times 10^3} = 3,33 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'Etat Limite de Service (ELS)

On estime forfaitairement

$$M_s = 0,5 \times M_s(A - B)$$

$$M_s = 0,5 \times 30,874 = 15,437 \text{ kN.m}$$

Le moment résistant

$$M_{r_{ser}b} = \frac{bd^2}{2} \bar{\sigma}_{bc} \times \bar{\alpha}_{ser} \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right)$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n\bar{\sigma}_{bc}}{n\bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 200} = 0,53$$

D'où

$$M_{r_{ser}b} = \frac{2 \times 0,18^2}{2} \times 15 \times 0,53 \times \left(1 - \frac{0,53}{3}\right)$$

$$M_{r_{ser}b} = 0,212 \text{ MN.m} > M_{ser} \Rightarrow \text{pas d'aciers comprimés}$$

Section d'aciers principaux

$$A_{pr} = \frac{M_{ser}}{d \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{st}}$$

$$A_{pr} = \frac{15,437 \times 10^{-3}}{0,18 \left(1 - \frac{0,53}{3}\right) \times 200} = 5,21 \text{ cm}^2$$

$$A_{pr} = 5,21 \text{ cm}^2$$

Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4}$$

$$A_{rep} = \frac{5,21}{4} = 1,30 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{min} = \frac{0,23 \times f_{t28} \times b \times d}{F_e}$$

$$A_{min} = \frac{0,23 \times 2,1 \times 2 \times 0,18}{400} = 4,35 \text{ cm}^2$$

Sections retenues pour le ferrailage des armatures du tablier en travée :

Section d'aciers principaux :

$$A_{pr} = 5,21 \text{ cm}^2$$

Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = 4,35 \text{ cm}^2$$

Calcul des armatures du radier

Travée A-B et B-C (lit supérieur)

Calcul à l'Etat limite Ultime (ELU)

$$M_u = 1,35G + 1,6 Q$$

$$M_u = 1,35 \times 8,21 + 1,6 \times 9,12 = 25,68 \text{ kN.m}$$

Calcul du moment réduit μ_u

$$\mu_u = \frac{M_u}{bd^2 f_{bu}} = \frac{20,63}{2 \times 0,18^2 \times 14,17 \times 10^3} = 0,028$$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,028}) = 0,035$$

Recherche du Pivot

$$\mu_u = 0,028 < \mu_{AB} = 0,186 \Rightarrow \text{Pivot A}$$

Détermination du bras de levier

$$Z_u = d(1 - 0,4\alpha_u) = 0,18(1 - 0,4 \times 0,035) = 0,177$$

Calcul de la section d'acier

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}} = \frac{25,68}{0,177 \times 347,83 \times 10^3} = 4,16 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'Etat Limite de Service (ELS)

$$M_{ser} = G + 1,2Q$$

$$M_{ser} = 8,21 + 1,2 \times 9,12 = 19,154 \text{ kN.m}$$

Le moment résistant

$$M_{r_{ser}b} = \frac{bd^2}{2} \bar{\sigma}_{bc} \times \bar{\alpha}_{ser} \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right)$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n\bar{\sigma}_{bc}}{n\bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 200} = 0,53$$

D'où

$$M_{r_{ser}b} = \frac{2 \times 0,18^2}{2} \times 15 \times 0,53 \times \left(1 - \frac{0,53}{3}\right)$$

$$M_{r_{ser}b} = 0,212 \text{ MN.m} > M_{ser} \Rightarrow \text{pas d'aciers comprimés}$$

Section d'aciers principaux

$$A_{pr} = \frac{M_{ser}}{d \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{st}}$$

$$A_{pr} = \frac{19,154 \times 10^{-3}}{0,18 \left(1 - \frac{0,53}{3}\right) \times 200} = 6,46 \text{ cm}^2$$

$$A_{pr} = 6,46 \text{ cm}^2$$

Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4}$$

$$A_{rep} = \frac{6,46}{4} = 1,62 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{min} = \frac{0,23 \times f_{t28} \times b \times d}{F_e}$$

$$A_{min} = \frac{0,23 \times 2,1 \times 2 \times 0,18}{400} = 4,35 \text{ cm}^2$$

Sections retenues pour le ferrailage des armatures du tablier en travée :

Section d'aciers principaux :

$$A_{pr} = 6,46 \text{ cm}^2$$

Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = 4,35 \text{ cm}^2$$

Sur appui B (lit inférieur)

Calcul à l'Etat limite Ultime (ELU)

$$M_u = 1,35G + 1,6 Q$$

$$M_u = 1,35 \times 14,65 + 1,6 \times 11,4 = 38,02 \text{ kN.m}$$

Calcul du moment réduit μ_u

$$\mu_u = \frac{M_u}{bd^2 f_{bu}} = \frac{38,02}{2 \times 0,18^2 \times 14,17 \times 10^3} = 0,041$$

$$\alpha_u = 1,25 \left(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}\right) = 1,25 \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,041}\right) = 0,053$$

Recherche du Pivot

$$\mu_u = 0,041 < \mu_{AB} = 0,186 \Rightarrow \text{Pivot A}$$

Détermination du bras de levier

$$Z_u = d(1 - 0,4\alpha_u) = 0,18(1 - 0,4 \times 0,053) = 0,176$$

Calcul de la section d'acier

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}} = \frac{38,02}{0,178 \times 347,83 \times 10^3} = 6,20 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'Etat Limite de Service (ELS)

$$M_{\text{ser}} = G + 1,2Q$$

$$M_{\text{ser}} = 14,65 + 1,2 \times 11,4 = 28,33 \text{ kN.m}$$

Le moment résistant

$$M_{\text{rserb}} = \frac{bd^2}{2} \bar{\sigma}_{\text{bc}} \times \bar{\alpha}_{\text{ser}} \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{\text{ser}}}{3}\right)$$

$$\bar{\alpha}_{\text{ser}} = \frac{n\bar{\sigma}_{\text{bc}}}{n\bar{\sigma}_{\text{bc}} + \bar{\sigma}_{\text{st}}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 200} = 0,53$$

D'où

$$M_{\text{rserb}} = \frac{2 \times 0,18^2}{2} \times 15 \times 0,53 \times \left(1 - \frac{0,53}{3}\right)$$

$$M_{\text{rserb}} = 0,212 \text{ MN.m} > M_{\text{ser}} \Rightarrow \text{pas d'aciers comprimés}$$

Section d'aciers principaux

$$A_{\text{pr}} = \frac{M_{\text{ser}}}{d \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{\text{ser}}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{\text{st}}}$$

$$A_{\text{pr}} = \frac{28,33 \times 10^{-3}}{0,18 \left(1 - \frac{0,53}{3}\right) \times 200} = 9,56 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{pr}} = 9,56 \text{ cm}^2$$

Section d'aciers de répartition :

$$A_{\text{rep}} = \frac{A_{\text{pr}}}{4}$$

$$A_{\text{rep}} = \frac{9,56}{4} = 2,39 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{\text{min}} = \frac{0,23 \times f_{t28} \times b \times d}{F_e}$$

$$A_{\text{min}} = \frac{0,23 \times 2,1 \times 2 \times 0,18}{400} = 4,35 \text{ cm}^2$$

Sections retenues pour le ferrailage des armatures du tablier en travée :

Section d'aciers principaux :

$$A_{\text{pr}} = 9,56 \text{ cm}^2$$

Section d'aciers de répartition :

$$A_{\text{rep}} = 4,35 \text{ cm}^2$$

Calcul des armatures du piédroit central B

Le piédroit sera considéré au mètre linéaire comme un poteau de 100×20

Effort normal sollicitant le poteau :

$$N_u = 1,35 \times 66,61 + 1,6 \times 60,29 = 186,39 \text{ kN}$$

Calcul de l'élanement

$$\lambda = \frac{L_f}{i} = \frac{2\sqrt{3}}{a} L_f = \frac{2\sqrt{3}}{0,2} \times 0,7 \times 1 = 12,12$$

Calcul de α

$$\lambda < 50 \Rightarrow \alpha = \frac{0,85}{1+0,2\left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} = \frac{0,85}{1+0,2\left(\frac{12,12}{35}\right)^2} = 0,83$$

Calcul de la section réduite Br

$$B_r = (0,2 - 0,02)(1 - 0,02) = 0,18 \text{ m}^2$$

Calcul des armatures longitudinales

$$A_{sc} = \left[\frac{N_u}{\alpha} - \frac{B_r f_{c28}}{0,9\gamma_b} \right] \times \frac{\gamma_s}{f_e} = \left[\frac{0,186}{0,83} - \frac{0,18 \times 25}{0,9 \times 1,5} \right] \times \frac{1,15}{400} = -89,38 \text{ cm}^2$$

Le béton a lui seul peut reprendre les efforts de compression mais les dispositifs constructifs recommandent le minimum d'aciers,

Calcul de la section minimale

$$A_{s_{min}} = \max\left(4U; \frac{0,2B}{100}\right) = \max\left(4(0,2 + 1) \times 2; \frac{0,2 \times 20 \times 100}{100}\right) = \max(9,6; 4) \\ = 9,6 \text{ cm}^2$$

$$A_{s_{min}} = 9,6 \text{ cm}^2$$

On prendra 7HA14.

Calcul des armatures transversales

$$\phi_t \geq \frac{\phi_{l_{max}}}{3} \Rightarrow \phi_t \geq \frac{14}{3} = 4,67$$

$$\phi_t \geq 4,67 \text{ mm} \Rightarrow \phi_t = 8 \text{ mm}$$

Calcul de l'espacement des cours

$$St = \min(15\phi_l; 40 \text{ cm}; a + 10\text{cm}) = \min(15 \times 0,467; 40 \text{ cm}; 20 + 10 =$$

$$\min(7 \text{ cm}; 40 \text{ cm}; 30 \text{ cm}) = 7 \text{ cm}$$

On prendra $St = 7 \text{ cm}$.

Calcul des armatures des piédroits extérieurs A et C

Données de calcul : $b = 1 \text{ m}$; $h = 0,2 \text{ m}$; $d = 0,9h = 0,18 \text{ m}$; $d' = 0,1h = 0,02 \text{ m}$;

$$f_{bu} = \frac{0,85f_{c28}}{\gamma_b} = \frac{0,85 \times 25}{1 \times 1,5} = 14,17 \text{ MPa} ; f_{su} = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{400}{1,15} = 347,83 \text{ MPa}$$

Calcul à l'Etat Limite Ultime

$$M_u = 1,35G + 1,6Q$$

$$M_u = 1,35 \times 5,40 + 1,6 \times (23,75 + 4,77) = 52,92 \text{ kN.m}$$

$$N_u = 1,35 \times 19,98 + 1,6 \times 42,16 = 62,23 \text{ kN}$$

L'excentricité e

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{52,92}{62,23} = 0,85 \text{ m}$$

Calcul de l'effort de compression maximal supportable par le béton

$$N_{bmax} = b \times h \times f_{bc} = 1 \times 0,20 \times 14,16 = 2832 \text{ kN}$$

Le coefficient de remplissage :

$$\psi_1 = \frac{N_u}{N_{bmax}} = \frac{62,23}{2832} = 0,022$$

$\psi_1 \leq 0,81 \Rightarrow$ on détermine l'excentricité critique relative ζ

$$\zeta < 2/3 \Rightarrow \zeta = \frac{1 + \sqrt{9 - 12\psi_1}}{4(3 + \sqrt{9 - 12\psi_1})} = \frac{1 + \sqrt{9 - 12 \times 0,022}}{4(3 + \sqrt{9 - 12 \times 0,022})} = 0,166$$

Calcul de e_{Nc}

$$e_{Nc} = \zeta \times h = 0,166 \times 0,2 = 0,033 \text{ m}$$

$e > e_{Nc} \Rightarrow$ section partiellement comprimée

Calcul du moment fictif :

$$M_{fictif} = N_u \times e_A \quad \text{Avec } e_A = e + (d - 0,5h)$$

$$e_A = 0,85 + (0,18 - 0,5 \times 0,2) = 0,93 \text{ m}$$

$$M_{fictif} = 62,23 \times 0,93 = 0,058 \text{ MN.m}$$

$$\mu = \frac{M_{fictif}}{bd^2f_{bu}} = \frac{0,058}{1 \times 0,18^2 \times 14,17} = 0,13$$

$$\mu = 0,13 < \mu_{AB} = 0,186$$

Calcul de μ_L

$$\mu_L = 0,39 \text{ Pour les aciers FeE400 MPa}$$

$$\mu < \mu_L$$

$$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,13}) = 0,219$$

$$\alpha = 0,17$$

Bras de levier :

$$Z_u = d(1 - 0,4\alpha)$$

$$Z_u = 0,18 \times (1 - 0,4 \times 0,17) = 0,17 \text{ m}$$

Section d'aciers fictifs :

$$A_{St} = \frac{M_{\text{fictif}}}{Z_u \times f_{su}} = \frac{0,058}{0,17 \times 347,83} = 9,81 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 9,81 \text{ cm}^2$$

$$A_{St} = 9,81 \text{ cm}^2$$

Section réelle d'aciers tendus :

$$A_{St,\text{réel}} = A_{st\text{fictif}} - \frac{N_u}{f_{su}} = 9,81 \times 10^{-4} - \frac{0,062}{347,83} = 8,03 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 8,03 \text{ cm}^2$$

$$A_{St,\text{réel}} = 8,03 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'Etat Limite de Service

$$M_{\text{ser}} = G + 1,2Q$$

$$M_{\text{ser}} = 5,4 + 1,2 \times (23,75 + 4,77) = 39,62 \text{ kN.m}$$

$$N_{\text{ser}} = G + 1,2Q$$

$$N_{\text{ser}} = 19,98 + 1,2 \times 42,16 = 70,57 \text{ kN.m}$$

L'excentricité e

$$e = \frac{M_{\text{ser}}}{N_{\text{ser}}} = \frac{39,62}{70,57} = 0,56 \text{ m}$$

Calcul de l'effort de compression maximal supportable par le béton

$$Nb_{\text{max}} = b \times h \times f_{bc} = 1 \times 0,20 \times 14,16 = 2832 \text{ kN}$$

Le coefficient de remplissage :

$$\psi_1 = \frac{N_{\text{ser}}}{Nb_{\text{max}}} = \frac{70,57}{2832} = 0,025$$

$\psi_1 \leq 0,81 \Rightarrow$ on détermine l'excentricité critique relative ζ

$$\zeta < 2/3 \quad \Rightarrow$$

$$\zeta = \frac{1 + \sqrt{9 - 12\psi_1}}{4(3 + \sqrt{9 - 12\psi_1})} = \frac{1 + \sqrt{9 - 12 \times 0,025}}{4(3 + \sqrt{9 - 12 \times 0,025})} = 0,166$$

Calcul de e_{Nc}

$$e_{Nc} = \zeta \times h = 0,166 \times 0,2 = 0,033 \text{ m}$$

$e > e_{Nc} \Rightarrow$ section partiellement comprimée

Calcul du moment fictif :

$$M_{\text{ser fictif}} = N_{\text{ser}} \times e_A \quad \text{Avec } e_A = e + (d - 0,5h)$$

$$e_A = 0,56 + (0,18 - 0,5 \times 0,2) = 0,64 \text{ m}$$

$$M_{\text{ser fictif}} = 70,57 \times 0,64 = 0,045 \text{ MN.m}$$

Le moment réduit $M_{r_{\text{ser}b}}$

$$M_{r_{\text{ser}b}} = \frac{bd^2}{2} \bar{\sigma}_{bc} \times \bar{\alpha}_{\text{ser}} \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{\text{ser}}}{3}\right)$$

$$\bar{\alpha}_{\text{ser}} = \frac{n\bar{\sigma}_{bc}}{n\bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 200} = 0,53$$

D'où

$$M_{r_{\text{ser}b}} = \frac{1 \times 0,18^2}{2} \times 15 \times 0,53 \times \left(1 - \frac{0,53}{3}\right)$$

$$M_{r_{\text{ser}b}} = 0,106 \text{ MN.m} > M_{\text{ser fictif}} = 0,045 \text{ MN.m} \Rightarrow \text{pas d'aciers comprimés}$$

Section d'aciers principaux :

$$A_{\text{pr fictif}} = \frac{M_{\text{ser fictif}}}{d \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{\text{ser}}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{st}}$$

$$A_{\text{pr fictif}} = \frac{0,045}{0,18 \times \left(1 - \frac{0,53}{3}\right) \times 200} = 1,52 \times 10^{-3} \text{ m}^2 = 15,18 \text{ cm}^2$$

Section réelle d'aciers tendus :

$$A_{\text{pr,réel}} = A_{\text{pr fictif}} - \frac{N_{\text{ser}}}{\bar{\sigma}_s} = 1,52 \times 10^{-3} - \frac{0,071}{200} = 1,17 \times 10^{-3} \text{ m}^2 = 11,7 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{pr,réel}} = 11,7 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

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

$$A_{\text{min}} = \frac{0,23 \times 2,1 \times 1 \times 0,18}{400} = 2,17 \text{ cm}^2$$

Sections retenues pour le ferrailage des armatures des piédroits extérieurs :

Section d'aciers principaux :

$$A_{\text{pr}} = 11,7 \text{ cm}^2$$

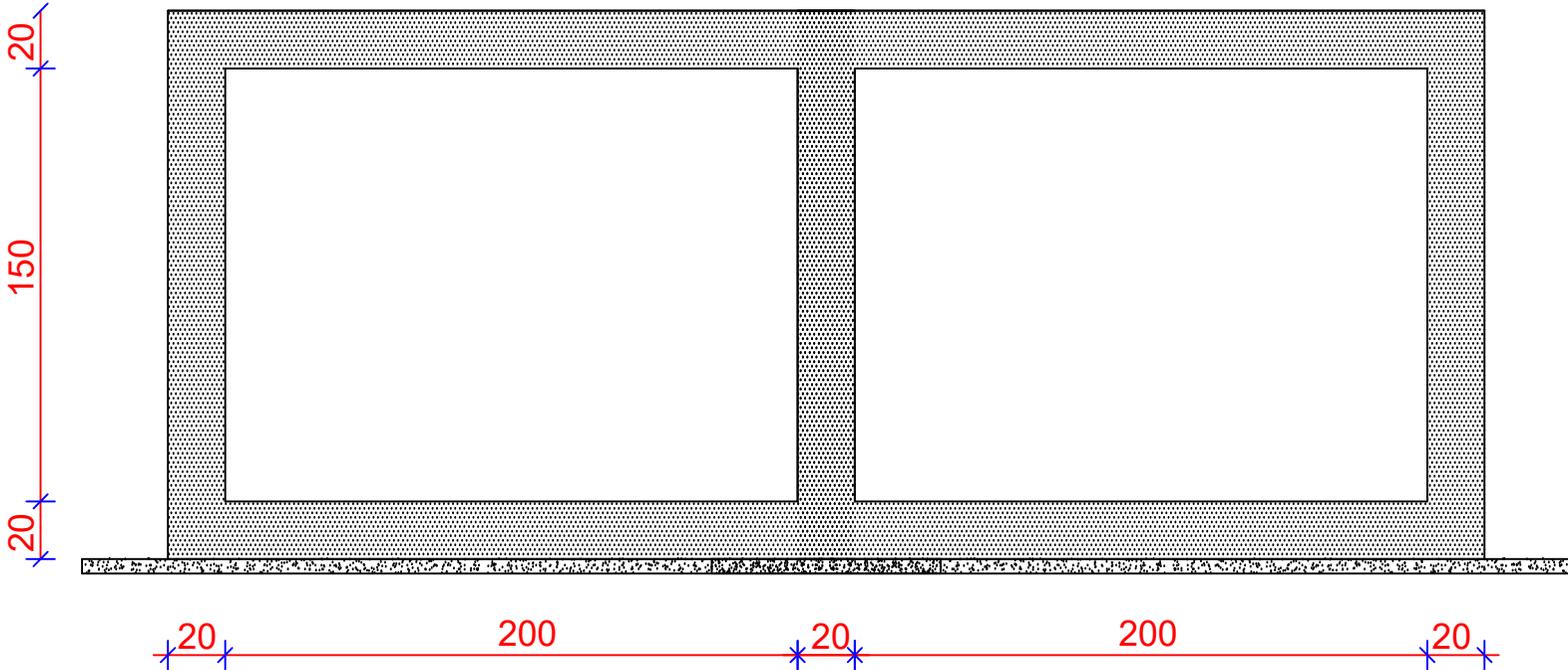
Section d'aciers de répartition :

$$A_{\text{rep}} = 2,17 \text{ cm}^2$$

Tableau 13 : Récapitulatif des sollicitations et du choix des armatures

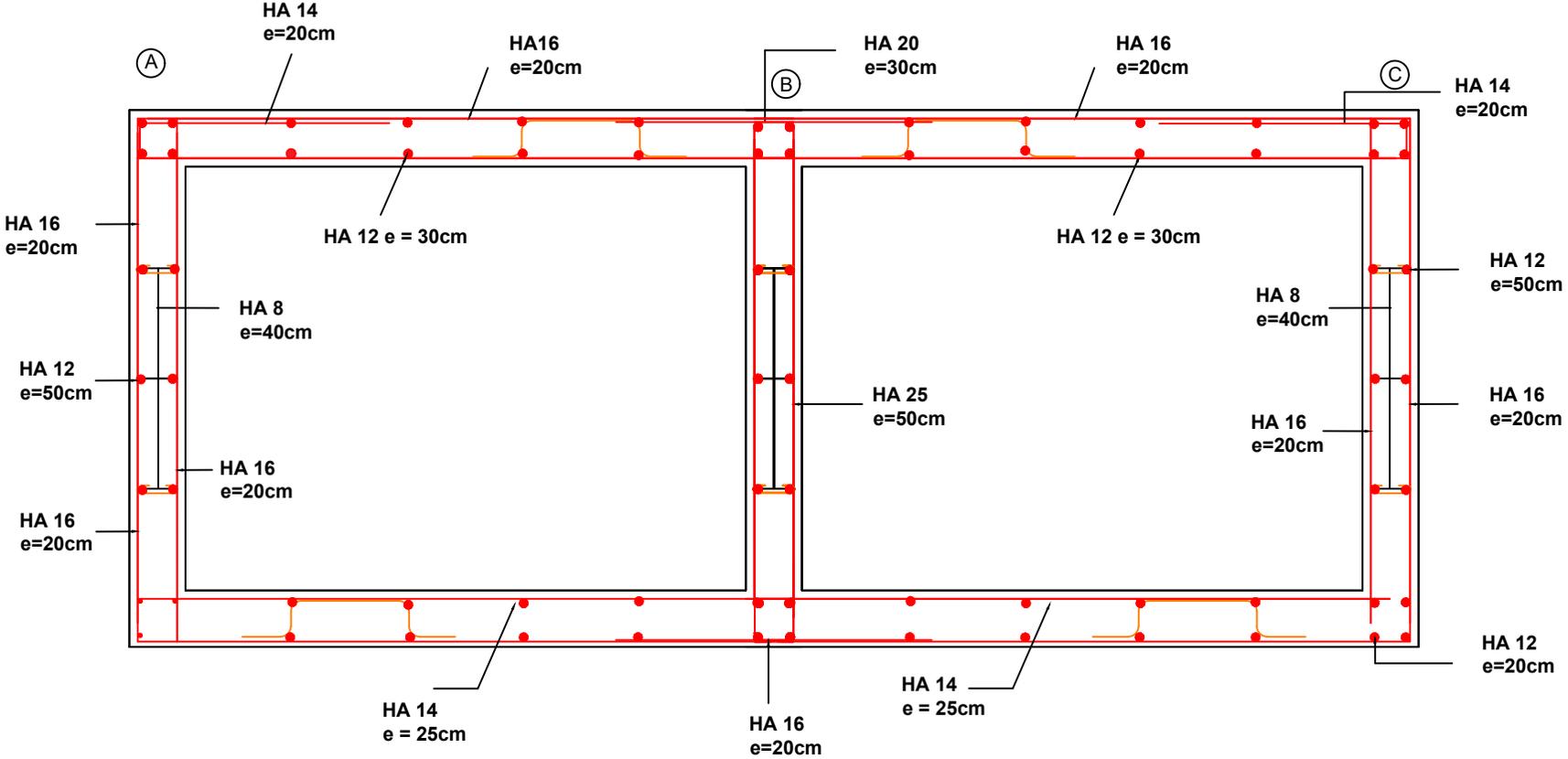
| | Sollicitations | | Valeurs (Kn.m et kN) | Aciers principaux (cm ²) | Choix des armatures | Sections totalisées (cm ²) | Aciers de répartition | Choix des armatures | Sections totalisées (cm ²) |
|--|-----------------------|---|----------------------------|--|------------------------|--|--------------------------|------------------------|--|
| Tablier | Moment fléchissant | Travée A- B et B-C (lit inférieur) | 30,874 | 10,42 | 10HA12 | 11,31 | 4,35 | 6HA10 | 4,71 |
| | | Appuis B (lit supérieur) | 36,23 | 12,22 | 11HA12 | 12,44 | 4,35 | 6HA10 | 4,71 |
| | | Aux abouts A et C (lit supérieur) | 15,437 | 5,21 | 7HA10 | 5,50 | 4,35 | 6HA10 | 4,71 |
| Radier | Moment fléchissant | Travée A- B et B-C (lit supérieur) | 19,154 | 6,46 | 9HA10 | 7,07 | 4,35 | 6HA10 | 4,71 |
| | | Appuis B (lit inférieur) | 28,33 | 9,56 | 9HA12 | 10,18 | 4,35 | 6HA10 | 4,71 |
| Piédroit central B | Effort normal | | 186,39 | 9,6 | 9HA12 | 10,18 | 4,35 | 6HA10 | 4,71 |
| Piédroits extérieurs A et c | Flexion composée | | M= 39,62 N = 70,57 | 11,7 | 15HA10 | 11,79 | 2,17 | 3HA10 | 2,36 |

PLAN DE COFFRAGE DU DALOT 2X2X1.5



| | | | | | |
|--|---|--|-----------------------------|------------|---|
|  | CGE 01 B.P: 1337 Ouagadougou 01 Burkina Faso Tel: (+226) 25 30 00 15 Email: cgeimmobilier.com | REPUBLIQUE DU BURKINA FASO Unité-Progress-Justice | Date: 31/05/2018 | |  |
| | | ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE VOIRIES URBAINES DANS LA VILLE NOUVELLE DE YENNENGA | Ech : Ajust au Format | Plan : N°6 | |
| | | PLAN DE COFFRAGE DU DALOT | | | |

PLAN DE FERRAILLAGE DU DALOT 2X2X1.5



CGE
 01 B.P: 1337 Ouagadougou 01
 Burkina Faso
 Tel: (+226) 25 30 00 15
 Email: cgeimmobilier.com

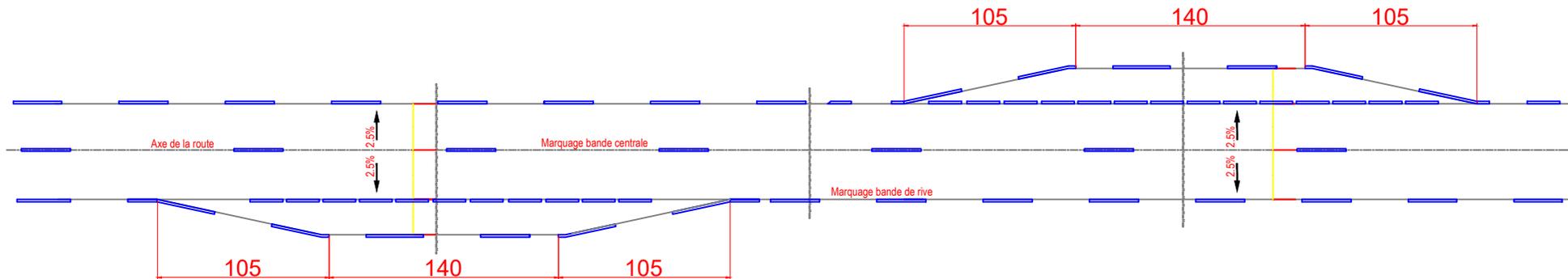
REPUBLIQUE DU BURKINA FASO
 Unité-Progress-Justice
 ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX
 D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE VOIRIES
 URBAINES DANS LA VILLE NOUVELLE DE YENNENGA
PLAN DE FERRAILLAGE DU DALOT

Date: 31/05/2018
 Ech : Ajust au Format
 Plan : N°6
 Dessiné par: HASSANE SANDA Maman Bachir



ANNEXE N°16 : Aménagements des voiries

Aire de stationnement



VUE EN PLAN

| | | | | | |
|--|---|--|---|------------|---|
|  | CGE 01 B.P: 1337 Ouagadougou 01 Burkina Faso Tel: (+226) 25 30 00 15 Email: cgeimmobilier.com | REPUBLIQUE DU BURKINA FASO Unité-Progrès-Justice | Date: 31/05/2018 | |  |
| | | ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE VOIRIES URBAINES DANS LA VILLE NOUVELLE DE YENNENGA | Ech : Ajust au Format | Plan : N°9 | |
| Aire de stationnement | | | Dessiné par: HASSANE SANDA Maman Bachir | | |

ANNEXE N°17 : Sécurité et signalisation

Quelques panneaux de signalisation

**AB4**

Arrêt à l'intersection dans les conditions définies à l'article R.415-6 du code de la route. Signal de position

**AB3a**

Cédez le passage à l'intersection. Signal de position

**AB25**

Carrefour à sens giratoire

**B14**

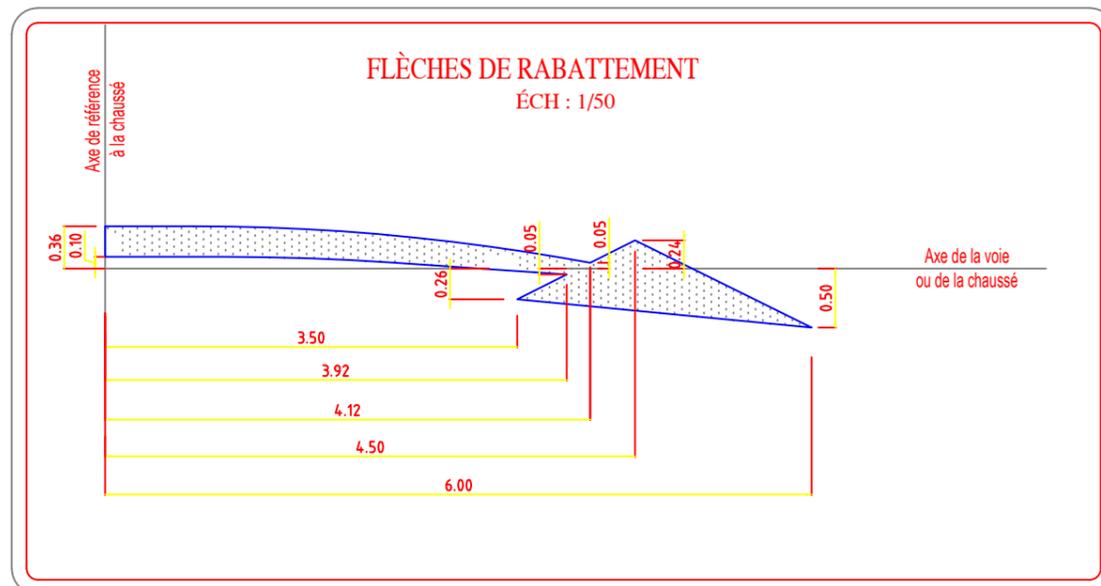
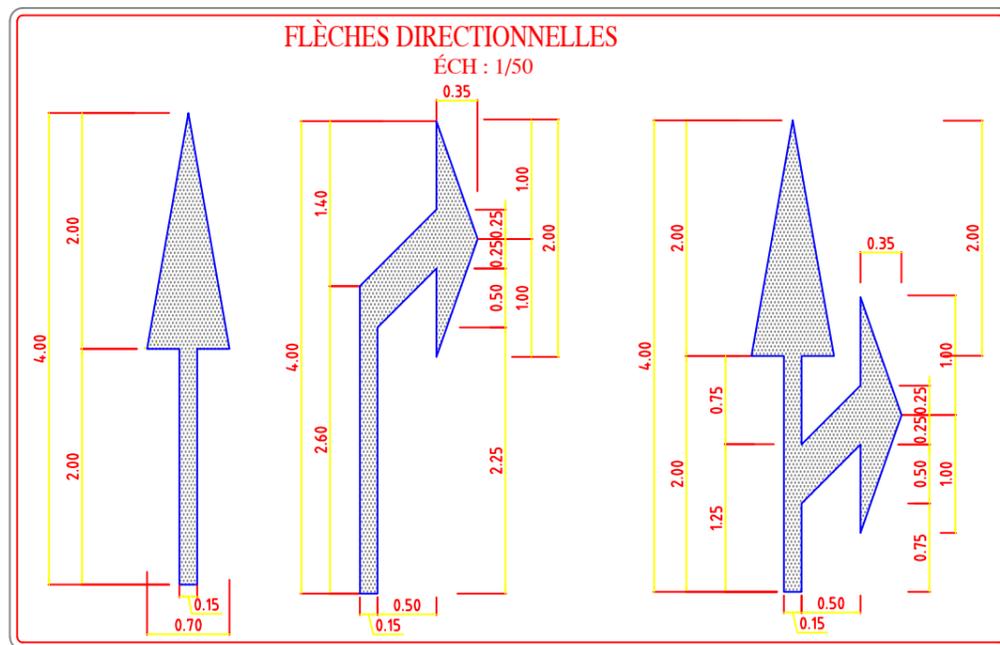
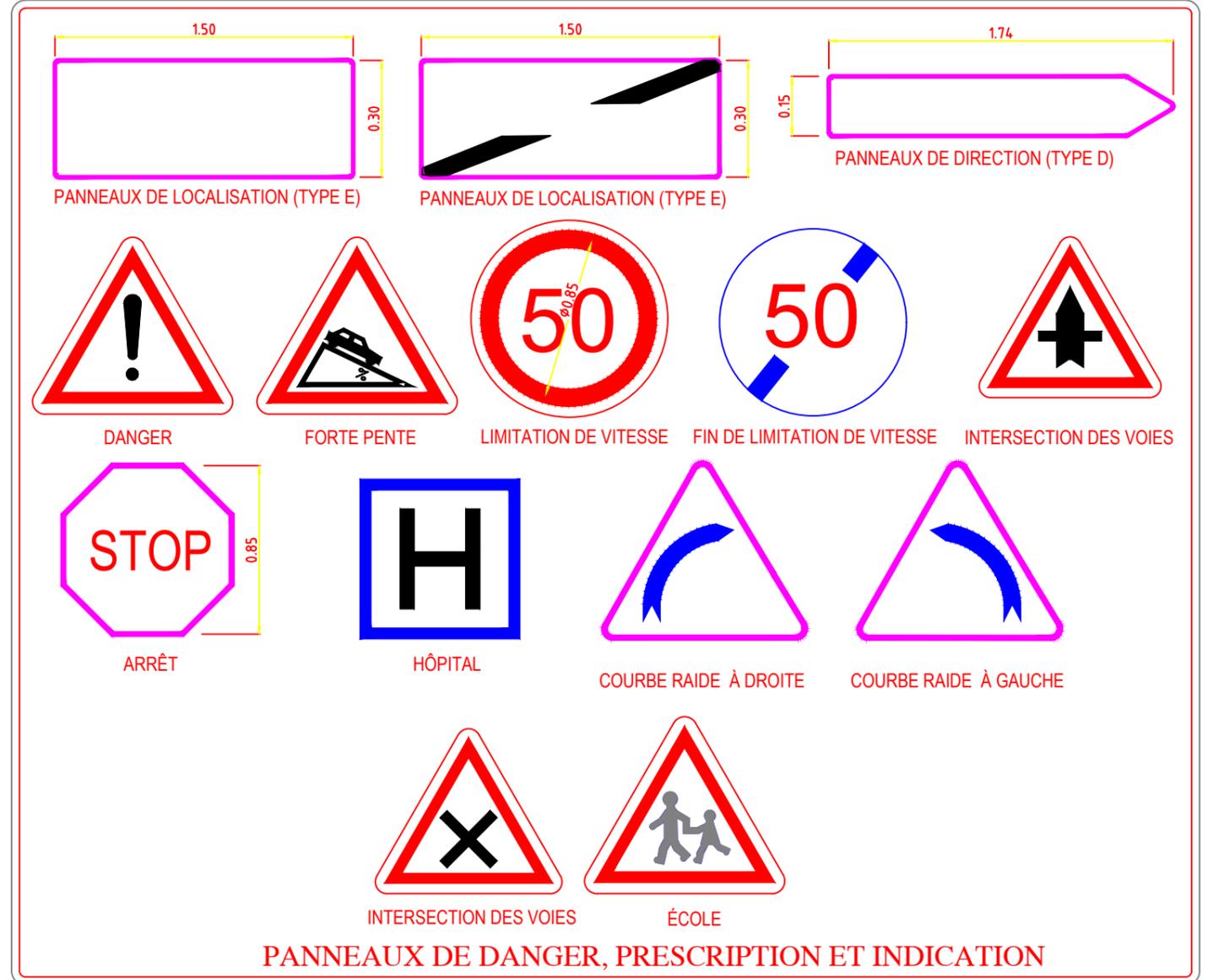
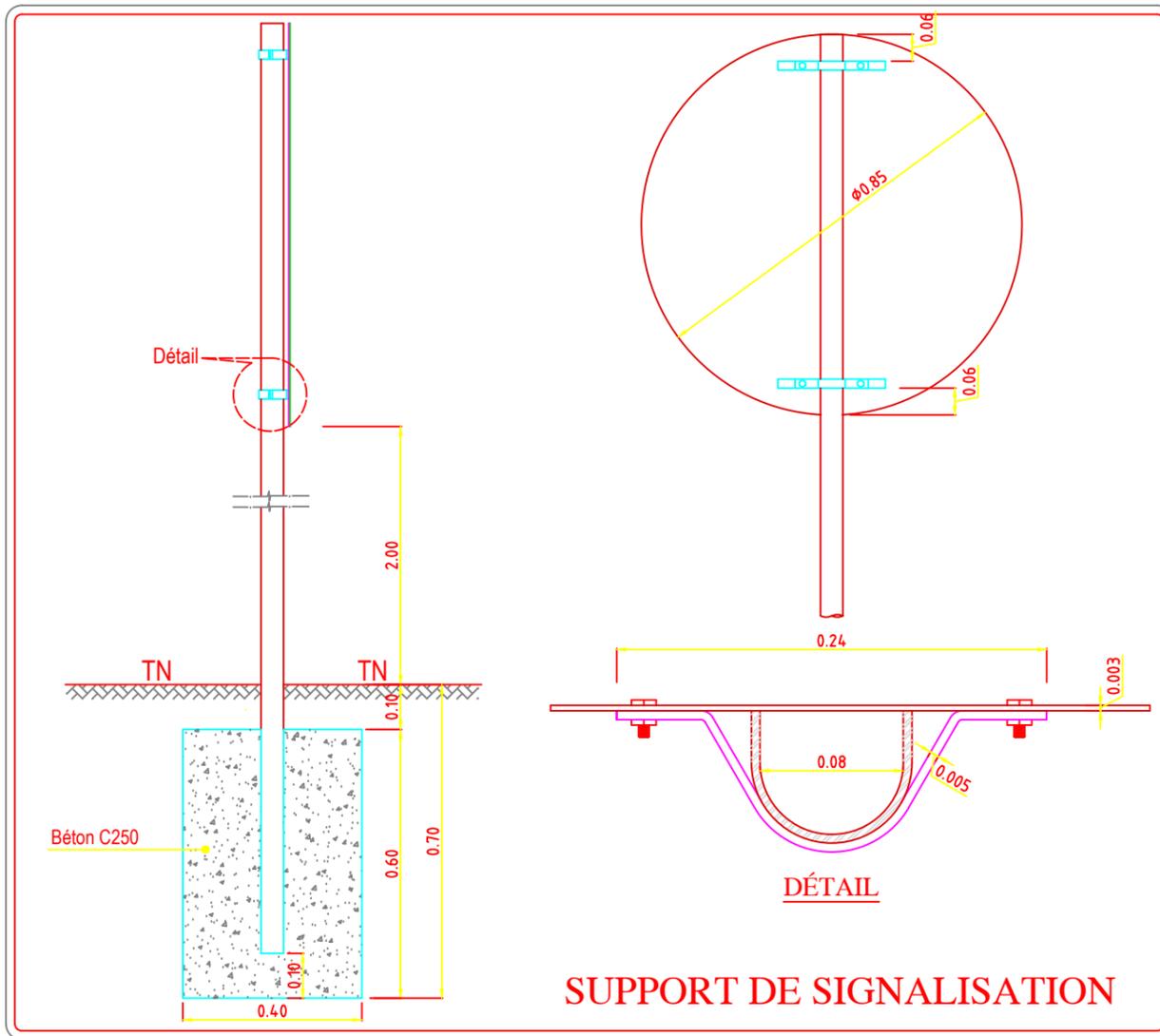
Limitation de vitesse. Ce panneau notifie l'interdiction de dépasser la vitesse indiquée

**B21a1**

Contournement obligatoire par la droite

**C20a**

Passage pour piétons



01 B.P: 1337 Ouagadougou 01
Burkina Faso
Tel: (+226) 25 30 00 15
Email: cgeimmobilier.com

REPUBLIQUE DU BURKINA FASO

Unité-Progrès-Justice
ETUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES DES TRAVAUX
D'AMÉNAGEMENT ET DE BITUMAGE DE VOIRIES
URBAINES DANS LA VILLE NOUVELLE DE YENNINGA

Plan signalisation

Date: 31/05/2018

Ech : **Ajust au Format** Plan : N°10

Dessiné par: **HASSANE SANDA Maman Bachir**



CHAUSSÉE À 2 VOIES

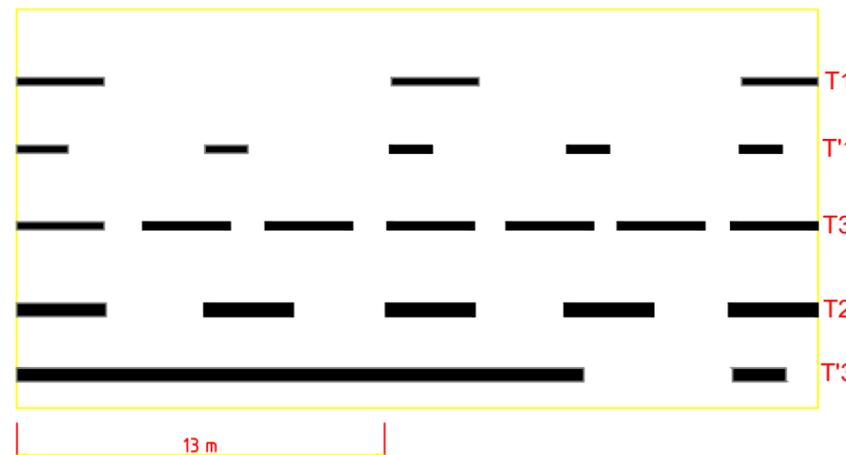


CHOIX DES MODULATIONS ET LARGEURS DES LIGNES

Le tableau ci-après indique pour chaque type de marquage la modulation et la largeur à adopter

| Désignation des marques | Modulation | Largeur |
|---|----------------|---------|
| A. - Lignes longitudinales axiales | | |
| 1. - Lignes continues (cas général): | | |
| Ligne axiale ou de délimitation des voies..... | Continue | 2 u (1) |
| Ligne axiale sur chaussée à 4 voies (article 114.2 et 114.5)..... | Continue | 5 u |
| 2. - Lignes discontinues de type T1 : | | |
| Ligne axiale ou de délimitation de voie en rase campagne (article 114.1 et 114.2)..... | T1 | 2 u |
| Ligne axiale ou de délimitation de voie en agglomération (article 114.5)..... | T1 ; T'1 ou T3 | 2 u |
| 3. - Lignes discontinues de type T3 : | | |
| Ligne d'annonce d'une ligne continue (article 115.3)..... | T3 | 2 u (1) |
| Ligne de dissuasion en remplacement d'une ligne continue (article 116.A.4)..... | T3 | 2 u |
| 4. - Lignes mixtes : | | |
| La ligne mixte est constituée par une ligne continue doublée par une ligne discontinue de type T1 ou T3(2)..... | T1 ou T3 | 2 u (3) |
| B. - Lignes longitudinales de rives ou de délimitation de certaines voies | | |
| 1. - Lignes discontinues de type T2 : | | |
| Ligne de rive de chaussée (article 114.4.A)..... | T2 | 3 u |
| Ligne de délimitation des voies de décélération, d'insertion ou d'entrecroisement (article 117.3)..... | T2 | 5 u |
| Ligne d'entrée et de sortie des voies pour véhicules lents (article 114.3)..... | T2 | 5 u |
| 2. - Lignes discontinues de type T3 : | | |
| Ligne de délimitation de voies pour véhicules lents sur lesquelles il n'y a pas d'interdiction de dépasser (article 114.3)..... | T3 | 5 u |
| Ligne de délimitation dans certains cas d'un couloir réservé aux autobus (article 114.3)..... | T3 | 5 u |
| Ligne de délimitation dans certains cas de bandes cyclables (article 114.3)..... | T3 | 5 u |
| Ligne délimitant une bande d'arrêt d'urgence, ligne de rive sur autoroute (article 114.3)..... | T'3 | 3 u |
| Ligne de rive aux approches de certains carrefours (article 114.3)..... | T'3 | 3 u |
| <small>(1) A porter à 3u à l'approche d'un îlot (article 117.2 et 115.4).</small> | | |
| <small>(2) Cela se produit par exemple aux abords d'un point d'inflexion ou d'un point bas entre deux dos d'âne rapprochés (schémas en annexe).</small> | | |
| <small>(3) Chacune (espacement entre les lignes : 2u)</small> | | |

LIGNES LONGITUDINALES



| Type de marquage | Type de modulation | Longueur du trait en (m) | Interval entre 2 traits successifs en (m) | Rapport plein/vide |
|------------------|--------------------|--------------------------|---|--------------------|
| Longitudinal | T1 | 3 | 10 | 1,3 |
| | T'1 | 1,5 | 5 | 1,3 |
| | T3 | 3 | 1,33 | 3 |
| Rive | T2 | 3 | 3,5 | 1 |
| | T'3 | 20 | 6 | 3 |
| Transversal | T'2 | 0,5 | 0,5 | 1 |

C. - Largeurs des lignes

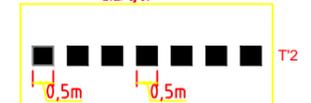
La largeur des lignes est définie par rapport à une largeur unité (u) différente selon le type de route. On adopte les valeurs suivantes pour (u) :

u = 7,5 cm sur les autoroutes, les routes à chaussées séparées, les routes à 4 voies de rase campagne ;
 u = 6 cm sur les routes importantes, notamment sur les routes à grande circulation

u = 5 cm sur toutes les autres routes
 u = 3 cm pour les lignes tracées sur les pistes cyclables.

La valeur de (u) doit être homogène sur tout un itinéraire en particulier, elle ne doit pas varier au passage d'un département à un autre.

Lignes transversales
h_{ch}: 1/10



01 B.P. 1337 Ouagadougou 01
 Burkina Faso
 Tel: (+226) 25 30 00 15
 Email: cgeimmobilier.com

REPUBLIQUE DU BURKINA FASO

Unité-Progress-Justice

ETUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES DES TRAVAUX
 D'AMÉNAGEMENT ET DE BITUMAGE DE VOIRIES
 URBAINES DANS LA VILLE NOUVELLE DE YENNENGA

Signalisation horizontale

Date: 31/05/2018

Ech : **Ajust au Format**

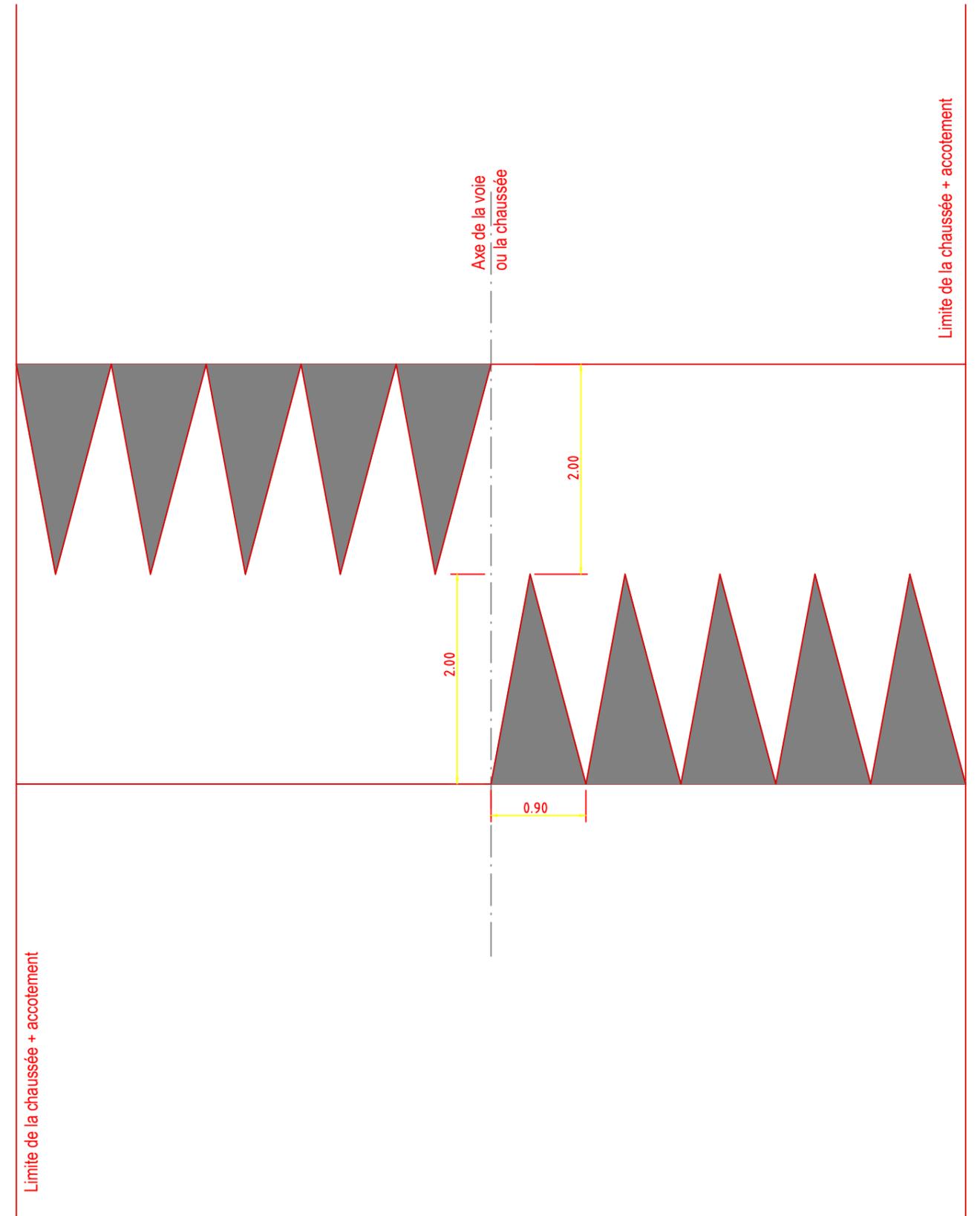
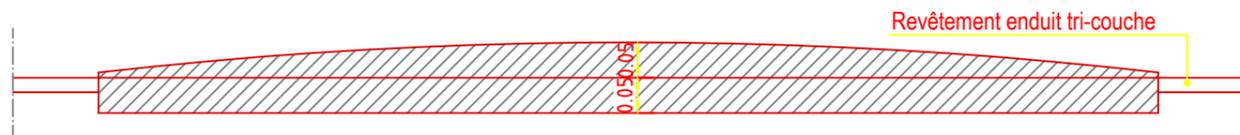
Plan : N°8

Dessiné par:

**HASSANE SANDA
 Maman Bachir**



AVERTISSEUR / RALENTISSEUR



01 B.P: 1337 Ouagadougou 01
Burkina Faso
Tel: (+226) 25 30 00 15
Email: cgeimmobilier.com

REPUBLIQUE DU BURKINA FASO

Unité-Progrès-Justice

ETUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES DES TRAVAUX
D'AMÉNAGEMENT ET DE BITUMAGE DE VOIRIES
URBAINES DANS LA VILLE NOUVELLE DE YENNENGA

RALENTISSEURS

Date: 31/05/2018

Ech : Ajust au Format

Plan : N°9

Dessiné par:

HASSANE SANDA
Maman Bachir



ANNEXE N°18 : Devis estimatif du projet

| N° | DESIGNATION | Unité | Quantité | PU (FCFA) | Prix total (FCFA) |
|-----------------------------|--|-------|-----------|------------|--------------------|
| 0 | INSTALLATIONS | | | | |
| 1,1 | Installation générale de chantier | ff | 1 | 86 000 000 | 86 000 000 |
| Sous total série 000 | | | | | 86 000 000 |
| 200 | TERRASSEMENTS - CORPS DE CHAUSSEE | | | | |
| 201 | Décapage | m3 | 14955 | 1000 | 14 955 000 |
| | Abatage des arbres de diamètre supérieur à 1m | U | 20 | 1000 | 20 000 |
| 202 | Déblai | m3 | 49178 | 3 000 | 147 534 000 |
| 205 | Remblai | m3 | 43538 | 5 000 | 217 690 000 |
| | Couche de revêtement enduit superficiel tri- couche pour la chaussée | m3 | 32124 | 7000 | 224 868 000 |
| 206 | Graveleux latéritique pour couche de base | m3 | 23197,5 | 6000 | 139 185 000 |
| 206 | Graveleux latéritique pour couche de fondation | m3 | 39570,875 | 4500 | 178 068 938 |
| Sous total série 200 | | | | | 922 320 938 |
| 300 | ASSAINISSEMENT | | | | |
| 307 | Béton Q350 pour aires d'arrêt d'urgence | m3 | 20 | 140000 | 2 800 000 |
| | Béton Q350 pour caniveau | m3 | 3548,13 | 140000 | 496 738 200 |
| 307 | Béton Q350 pour dalot | m3 | 1561,6 | 140000 | 218 624 000 |
| | Béton de propriété dosé à 150kg/ m3 | m3 | 15 | 15000 | 225 000 |
| 308 | Aciers pour armatures | Kg | 3240,46 | 1 200 | 3 888 552 |
| 309 | Perrés maçonnés | m2 | 100 | 15 000 | 1 500 000 |
| | Ralentisseur | | 10 | 110000 | 1 100 000 |
| 311 | gabions | m3 | 1000 | 15 000 | 15 000 000 |
| | Fouille pour les caniveaux | m3 | 1000 | 5 000 | 5 000 000 |
| 319 | Fourniture et pose de Bordures T2 | ml | 46 | 12 000 | 552 000 |
| Sous total série 300 | | | | | 745 427 752 |
| 500 | ECLAIRAGE PUBLICS, SIGNALISATION ET SECURITE | | | | |
| 501 | Ligne longitudinale axiale continue | ml | 804 | 400 | 321 600 |
| 502 | Ligne longitudinale axiale discontinue | ml | 4196 | 400 | 1 678 400 |
| 503 | Ligne longitudinale de rive et de délimitation | ml | 5000 | 500 | 2 500 000 |

| | | | | | |
|-----------------------------|---|----------|-----|---------|----------------------|
| 510 | Panneau de type C | U | 2 | 100 000 | 200 000 |
| 511 | Panneau de type D | U | 2 | 150 000 | 300 000 |
| 514 | Panneau de type A | U | 9 | 80 000 | 720 000 |
| 515 | Panneau de type AB | U | 6 | 100 000 | 600 000 |
| 516 | Panneau de type B | U | 16 | 100 000 | 1 600 000 |
| | Eclairage public | U | 150 | 260000 | 39 000 000 |
| Sous total série 500 | | | | | 46 920 000 |
| 600 | TRAVAUX COMPLEMENTAIRES ET MESURES D'ATTENUATION D'IMPACT ET ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL | | | | |
| 601 | Remise en état des sols dans les zones d'emprunt et de carrière | ha | 50 | 200000 | 10 000 000 |
| 602 | Reboisement de quelques arbres dans les zones d'emprunt | U | 50 | 2000 | 100 000 |
| 603 | Campagnes de sensibilisation sur les IST et distribution des brochures | fft/cmpg | 1 | 5000000 | 5 000 000 |
| Sous total série 600 | | | | | 15 100 000 |
| SOUS TOTAL | | | | | 1 815 768 690 |

Tableau récapitulatif

| Désignation des travaux | Prix total (FCFA) |
|---|--------------------|
| Série 000 : INSTALLATIONS | 86 000 000 |
| série 200 : TERRASSEMENTS - CORPS DE CHAUSSEE | 922 320 938 |
| Série 300 : ASSAINISSEMENT | 745 427 752 |
| Série 500 : ECLAIRAGE PUBLICS, SIGNALISATION ET SECURITE | 46 920 000 |
| Série 600 : TRAVAUX COMPLEMENTAIRES ET MESURES D'ATTENUATION D'IMPACT ET ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL | 15 100 000 |
| SOUS-TOTAL | 1 815 768 690 |
| MAJORATION APD 10 % | 181 576 869 |
| TOTAL GENERAL | 1 997 345 558 |
| TVA 18% | 359 522 201 |
| TOTAL TTC | 2 356 867 759 |
| Coût par km | 471 373 552 |

ANNEXE N°19 : Matrice d'interaction entre le projet et son environnement

Tableau 14 : Matrice d'interaction entre le projet et son environnement

| Phase du projet | Activités sources d'impact | Impacts | Milieu récepteur | | | | | | | | |
|------------------------------|--|---|----------------------|-------|-----|-----|-----|-----------------------------|----------|--------|-------------|
| | | | Aspects biophysiques | | | | | Aspects socio – économiques | | | |
| | | | Faune | Flore | Eau | Sol | Air | Santé | Sécurité | Emploi | Mode de vie |
| Phase de préparation du site | Ouverture des voies d'accès | Déboisement | ■ | ■ | ■ | ■ | □ | □ | ■ | ■ | ■ |
| | | Destruction de niches écologiques | ■ | ■ | ■ | ■ | □ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | Perte d'espèces | ■ | ■ | ■ | ■ | □ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | Perturbation de l'écoulement | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | Perturbation de la faune | □ | ■ | ■ | ■ | □ | □ | ■ | ■ | ■ |
| | | Poussières | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | Modification du paysage | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | □ | ■ | ■ | ■ |
| | Levés géophysiques | Emplois | □ | □ | □ | □ | □ | ■ | ■ | □ | ■ |
| | | Perturbation de la faune | □ | ■ | ■ | ■ | □ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | Perte d'espèces | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | Perturbation de la flore | ■ | □ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | Camp de vie | Emplois | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | □ | ■ |
| | | Perturbation de la faune | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | Pollution par les rejets | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | Perturbation de la flore | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | Excavation de tranchée et de chantiers | Nouvelles pratiques | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | Perte de la fertilité | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | Perturbation de la faune | □ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | Poussières | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | Modification du paysage | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Phase de construction | Utilisation des véhicules et des centrales électriques | Problèmes santé publique | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | □ |
| | | Destruction de la végétation | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | □ |
| | | Destruction de la faune | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | □ |
| | | Perte d'espèces | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | □ |
| | | Pollution par rejet de substances nocives | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | □ |
| | Transport et stockage de carburants et de substances chimiques | Rejet de gaz | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | □ |
| | | Pollution par rejet de substances nocives | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | □ |
| | | Rejet de gaz | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | □ |
| | | Problèmes santé publique | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | □ |
| | | Destruction de la végétation | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | □ |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Perturbation de la faune | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | □ | |
| | | Rejet de substances volatiles | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | □ |
| | | Problèmes santé publique | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | □ |
| | | Emploi | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | □ |
| | | Déboisement | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | □ |
| | | Perturbation du réseau hydrique | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | □ | □ |
| | Préparation du site et construction | Perte de la fertilité | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | Perturbation de la faune | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | Poussières | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | Modification du paysage | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | Déplacement de la population humaine et faunique | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | Perte de patrimoines culturels et de foret sacré problèmes de santé publique | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | Construction de routes d'accès | Emploi | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | Destruction de niches écologiques | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | Perte d'espèces | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | Perturbation du réseau hydrique | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | Erosion | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | | Poussières | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Rejet de déchets le long des routes | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| Problèmes santé publique | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| Emploi | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| Déboisement | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | |

ANNEXE N°20 : Tableau d'évaluation de l'importance des impacts

Tableau 15 : Evaluation de l'importance des impacts

| Matrice de Fecteau | | | | | | | | |
|--|---|---|---|-----------|------------|-----------|--------------------|---------|
| Milieux récepteurs | | Impacts | Nature | Intensité | Etendue | Durée | Importance absolue | |
| Environnement biophysique | Sol | Erosion du sol | Négative | Faible | Locale | Longue | Moyenne | |
| | | Dégradation des zones d'emprunt par excavation | Négative | Moyenne | Locale | Longue | Majeure | |
| | | Pollution du sol par les hydrocarbures et déchets solides | Négative | Moyenne | Ponctuelle | Longue | Moyenne | |
| | Eau | Stagnation des eaux dans les sites d'emprunt | Négative | Forte | Ponctuelle | Moyenne | Moyenne | |
| | | Perturbation du régime hydrologique | Négative | Faible | Locale | Moyenne | Moyenne | |
| | | Pollution des eaux par les Hydrocarbures et déchets solides | Négative | Moyenne | Locale | Moyenne | Moyenne | |
| | Air | Pollution de l'air par les poussières | Négative | Moyenne | Locale | Moyenne | Moyenne | |
| | | Pollution de l'air par le rejet des gaz (CO2, NO2, SO2) | Négative | Faible | Régionale | Longue | Majeure | |
| | Faune | Perte d'animaux par accident | Négative | Faible | Locale | Longue | Moyenne | |
| | Flore | Perte des arbres | Négative | Forte | Locale | Longue | Moyenne | |
| | Paysage | Modification du paysage | Négative | Faible | Locale | Longue | Moyenne | |
| | Environnement humain ou socio- économique | Santé | Propagation des IST et VIH/SIDA | Négative | Forte | Régionale | Longue | Majeure |
| | | | Amélioration des évacuations sanitaires | Positive | Forte | Régionale | Longue | Majeure |
| Augmentation des grossesses non désirées | | | Négative | Moyenne | Régionale | Moyenne | Moyenne | |
| Sécurité | | Amélioration de la fluidité routière | Négative | Forte | Régionale | Longue | Majeure | |
| | | Accidents de travail | Négative | Faible | Locale | Longue | Moyenne | |
| Economie | | Création d'emploi | Positive | Moyenne | Locale | Longue | Majeure | |
| | | Développement d'activités économiques | Positive | Forte | Locale | Longue | Majeure | |
| | Perte de revenu des personnes | Négative | Faible | Locale | Longue | Moyenne | | |