



HOLDING
La Qualité, l'Expérience c'est nous.

Études des travaux de reprofilage d'une route en terre et dimensionnement des ouvrages hydrauliques dans le cadre du programme d'entretien routier : Axe KAOUARA-NAMRINGUE (Cote d'Ivoire)

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR 2iE AVEC
GRADE DE MASTER
SPÉCIALITÉ GÉNIE CIVIL BÂTIMENT ET TRAVAUX PUBLICS

Présenté et soutenu publiquement le 22/01/2024 par

Wilfrid Konan BROU (20180778)

Encadrant 2iE : **Pr Adamah MESSAN** (Enseignant chercheur en Génie civil)

Maître de stage : **M. Koffi Martial KOFFI** (Directeur général de ML HOLDING)

Structure d'accueil du stage : ML HOLDING

Jury d'évaluation du stage :

Président : **Dr. Daniel YAMEGUEU NGUEWO**

Membres et correcteurs :

M. Yawo Daniel ADUFU

M. Mamadou Pousga Junior KABORE

[Promotion 2023/2024]

DÉDICACES

À Dieu tout puissant, source de toute intelligence et sagesse

À mon père, KOUAME Brou

À ma mère KOUADIO N'Guessan

À mes frères et sœurs

À toutes ces personnes que le seigneur a mises sur ma route pour m'aider tout au long de ce parcours.

Je dédie ce rapport

REMERCIEMENTS

Avec gratitude envers Dieu, le Tout-Puissant, le très miséricordieux et Clément, nous débutons la rédaction de ce mémoire en exprimant notre profonde satisfaction et reconnaissance envers toutes les personnes ayant contribué, de près ou de loin.

Mes remerciements vont particulièrement à :

- Prof. **El Hadji Bamba DIAW**, Directeur général de la fondation 2iE ;
- Pr **Mahamadou KOITA**, Directeur des Enseignements et des Affaires académiques de 2iE ;
- Pr **Adamah MESSAN**, enseignant-chercheur à 2iE, dont j'apprécie grandement l'engagement sans réserve à m'encadrer et sa disponibilité constante malgré ses multiples responsabilités ;
- M. **Koffi Martial KOFFI**, Directeur général de ML HOLDING ;

En conclusion, je tiens à exprimer ma gratitude envers ma famille, mes professeurs ainsi que tout le personnel de 2iE pour leur soutien inébranlable, envers l'équipe de ML HOLDING, mes camarades et tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont apporté leur soutien tout au long de ces années d'études.

RÉSUMÉ

Ce projet de construction des routes reliant Kaouara à Nambingue, faisant l'objet de notre étude s'inscrit dans la politique de relance de l'économie ivoirienne, visant principalement à stimuler le développement de la région de OUANGOLODOUGOU. L'objectif de ce travail est de fournir une solution technique pour l'aménagement de l'axe KAOUARA-NAMBINGUE. Pour atteindre cet objectif, divers aspects techniques ont été abordés dans ce mémoire.

Les études hydrologiques et hydrauliques ont conduit à la conception de 6 dalots, avec une section minimale de 2 x 1,5 m et une section maximale de 2 x 3 x 3 m.

Le calcul structural des ouvrages a été réalisé conformément aux prescriptions du BAEL 91 révisées 99. En ce qui concerne le corps de chaussée, le guide du CEBTP a été utilisé comme manuel de référence pour le Predimensionnement. Il en résulte une route en terre aménagée d'une couche de roulement de 15 cm en graveleux latéritique posée sur une couche de forme de 30 cm d'épaisseur en graveleux latéritique et un remblai de hauteur variable, mais suffisante pour la mise hors d'eau de la route avec une longueur totale de 12km et 7m de largeur. Une Notice d'impact environnemental et social a été réalisée afin d'évaluer les impacts positifs et négatifs du projet et de proposer les mesures d'atténuation et de réduction de ces impacts. Le coût de réalisation des travaux de ce tronçon est estimé à **937 400 378 FCFA**.

Mots clés:

- 1 - Aménagement**
- 2 – Ouvrage hydraulique**
- 3 - Étude hydrologique**
- 4 - Dimensionnement**
- 5 - Structure de chaussée**

ABSTRACT

This road construction project linking Kaouara to Nambingue, which is the subject of our study, is part of the policy to revive the Ivorian economy, with the main aim of stimulating development in the OUANGOLODOUGOU region. The aim of this work is to provide a technical solution for the development of the KAOUARA-NAMBINGUE axis. To achieve this objective, various technical aspects were addressed in this thesis.

Hydrological and hydraulic studies led to the design of 6 scuppers, with a minimum cross-section of 2 x 1.5 m and a maximum cross-section of 2 x 3 x 3 m.

The structural design of the structures was carried out in accordance with BAEL 91 revised 99. For the pavement structure, the CEBTP guide was used as the reference manual for Predimensioning. The result is an earth road with a 15 cm thick wearing course of lateritic gravel on a 30 cm thick subgrade of lateritic gravel and fill of variable height, but sufficient to keep the road out of the water, with a total length of 12km and a width of 7m. An Environmental and Social Impact Assessment was carried out to evaluate the positive and negative impacts of the project, and to propose mitigation and reduction measures. The estimated cost of this section is 937,400,378 FCFA.

Key words:

1 – Design and implementation

2 – Hydraulic works

3 - Hydrological study

4 - Sizing

5 - Pavement structure

Table des matières

| | |
|--|------|
| DEDICACES | i |
| REMERCIEMENTS | ii |
| RESUME | iii |
| ABSTRACT | iv |
| TABLE DES ILLUSTRATIONS | vii |
| INDEX DES TABLEAUX | viii |
| SIGLES ET ABBREVIATIONS | ix |
| INTRODUCTION | 1 |
| I : PRESENTATION GENERALE DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ETUDE | 2 |
| I.1. Présentation de la structure d'accueil | 2 |
| I.2. Présentation générale de la zone d'étude | 3 |
| I.2.1. Situation géographique et administrative des villages de KAOUARA et NAMBINGUE .3 | |
| I.2.2. Cadre humain et socio-économique | 4 |
| I.2.3. Cadre du milieu physique | 5 |
| II : PRESENTATION DU PROJET | 7 |
| II.1. Contexte de l'étude | 7 |
| II.4. Objectifs et résultats attendus de l'étude | 7 |
| II.4.1. Objectif du projet | 7 |
| II.4.2. Résultats attendus | 8 |
| II.5. Données de base | 8 |
| III : MATERIELS ET METHODOLOGIE DE CONCEPTION | 9 |
| III.1. Matériels | 9 |
| III.2. Méthodologie de conception | 9 |
| III.2.1. Etude hydrologique | 9 |
| III.2.2. Dimensionnement hydraulique des ouvrages | 19 |
| III.2.3. Dimensionnement structural des ouvrages | 21 |
| III.2.4. Dimensionnement de la structure de la chaussée | 24 |
| IV. Etude technique | 25 |
| IV.1. Etude hydrologique | 25 |
| IV.1.1. Analyse statistique des pluies | 25 |
| IV.1.2. Caractéristiques des bassins versants | 25 |
| IV.1.3. Détermination des crues de projet | 26 |
| IV.2. Dimensionnement hydraulique des Dalots | 27 |
| IV.4. Dimensionnement structural des ouvrages | 28 |

| | |
|---|----|
| IV.4.1. Dimensionnement structural du cadre du Dalot | 28 |
| IV.4.2. Dimensionnement structural du mur en aile du Dalot | 31 |
| IV.5. Dimensionnement de la structure de chaussée | 33 |
| IV.5.1. Caractéristiques des matériaux d'emprunt | 33 |
| IV.5.2. Classification du sol de plate-forme | 34 |
| IV.5.3. Classification du sol de plate-forme | 35 |
| IV.5.4. Classe du trafic | 36 |
| IV.5.5. Calcul de l'épaisseur | 36 |
| V. Etude d'impact environnemental et social | 38 |
| V.1. Cadre législatif, réglementaire et institutionnel ivoirien | 38 |
| V.2. Impacts potentiels du projet..... | 38 |
| V.3. Mesure d'atténuation | 40 |
| V.4. Plan de gestion environnementale et sociale | 41 |
| VI. Etude financière..... | 43 |
| CONCLUSION..... | 44 |
| BIBLIOGRAPHIE..... | I |
| TABLE DES ANNEXES | II |

TABLE DES ILLUSTRATIONS

| | |
|---|--------|
| Figure 1: Organigramme de l'Entreprise | 2 |
| Figure 2 : Situation géographique du département de FERKESSEDOUGOU (Source : Institut National de la statistique) | 3 |
| Figure 3 : Situation géographique des villes de KAOUARA et NAMBINGUE (source : Google earth) | 4 |
| Figure 4 : Situation géographique des Bassins Versants | 26 |
| Figure 5: structure du dalot 2x3x3 | 28 |
| Figure 6: Diagramme des moments | 30 |
| Figure 7 : Charges appliquées sur le mur en aile | 31 |
| Figure 8 : Proportion (%) des Travaux | 43 |
| Figure 9 : Carte du BV1 | III |
| Figure 10 : Courbe hypsométrique du BV1 | IV |
| Figure 11 : Carte du BV2 | IV |
| Figure 12 : Courbe hypsométrique du BV2 | V |
| Figure 13 : Carte du BV3 | VI |
| Figure 14 : Courbe hypsométrique du BV3 | VII |
| Figure 15 : Carte du BV4 | VII |
| Figure 16 : Courbe hypsométrique du BV4 | VIII |
| Figure 17 : Carte du BV5 | IX |
| Figure 18 : Courbe hypsométrique du BV5 | X |
| Figure 19 : Carte du BV6 | X |
| Figure 20 : Courbe hypsométrique du BV6 | XI |
| Figure 21 : Vue en plan du dalot | XXXIX |
| Figure 22 : Vue en perspective du Dalot | XL |
| Figure 23 : Profil de la voie : AXE 01 | XLI |
| Figure 24 : Profil de la voie : AXE 03 | XLII |
| Figure 25 : Profil de la voie : AXE 12 | XLIII |
| Figure 26 : Profil de la voie : Axe 2 | XLIV |
| Figure 27 : Profil de la voie : Axe 06 | XLV |
| Figure 28 : Profil de la voie : Axe 10 | XLVI |
| Figure 29 : Coupe transversale du corps du dalot 2 x 1.5 | XLVII |
| Figure 30 : Coupe transversale du corps du dalot 3 x 3 | XLVIII |
| Figure 31 : Nomenclature des aciers | XLIX |
| Figure 32 : Plan de ferrailage du mur en aile du dalot | L |
| Figure 33 : Structure du dalot 2 x 3 x 3 | LI |
| Figure 34 : Plan de ferrailage du dalot 2 x 3 x 3 | LII |
| Figure 35 : Profil en travers de la voie | LIII |
| Figure 36 : Profil en travers type | LIV |
| Figure 37 : Profil en travers (axe KAOUARA - NAMBINGUE) | LV |

INDEX DES TABLEAUX

| | |
|---|------|
| Tableau 1: Population totale de la commune de Ferkessedougou (Source : RGPH 2014) | 4 |
| Tableau 2 : Pluviométrie de la commune de FERKESSEDOUGOU (Source : SODEXAM) | 6 |
| Tableau 3 : Classification des bassins en fonction de la superficie | 10 |
| Tableau 4 : Classification des bassins en fonction de la pente | 11 |
| Tableau 5 : Détermination du coefficient de ruissellement | 15 |
| Tableau 6 : Analyse fréquentielle des pluies | 25 |
| Tableau 7 : Résultats de la détermination des caractéristiques des bassins versants | 26 |
| Tableau 8 : Calcul des débits de projet | 27 |
| Tableau 9 : Dimensions des Dalots..... | 27 |
| Tableau 10 : Type de Dalots..... | 28 |
| Tableau 11 : Épaisseur des Dalots | 28 |
| Tableau 12 : Évaluation des charges permanentes | 29 |
| Tableau 13 : Évaluation de la charge d'exploitation sur le Dalot | 29 |
| Tableau 14 : Évaluation de la charge finale sur le Dalot..... | 29 |
| Tableau 15 : Moments des sollicitations | 30 |
| Tableau 16 : Résultats du calcul des sections d'armatures | 30 |
| Tableau 17 : Récapitulatif des dimensions du mur en aile..... | 31 |
| Tableau 18 : Récapitulatif des actions appliquées au mur | 32 |
| Tableau 19 : Vérification de la stabilité du mur | 32 |
| Tableau 20 : Récapitulatif des sections d'aciers du mur en aile..... | 33 |
| Tableau 21 : Résultats des essais sur les matériaux | 34 |
| Tableau 22 : Résultats d'identification de la plate-forme | 34 |
| Tableau 23 : Classification de la portance du sol support | 35 |
| Tableau 24 : Classification du trafic | 36 |
| Tableau 25 : Type de matériaux en fonction des couches..... | 37 |
| Tableau 26 : Analyse des impacts du projet | 39 |
| Tableau 27 : Évaluation des coûts du projet..... | 43 |
| Tableau 28 : Caractéristiques du bassin versant 1 | III |
| Tableau 29 : Caractéristiques du bassin versant 2 | V |
| Tableau 30 : Caractéristiques du bassin versant 3 | VI |
| Tableau 31 : Caractéristiques du bassin versant 4 | VIII |
| Tableau 32 : Caractéristiques du bassin versant 5 | IX |
| Tableau 33 : Caractéristiques du bassin versant 6 | XI |
| Tableau 34 : Débits méthode rationnelle..... | XII |
| Tableau 35 : Débits méthode ORSTOM | XII |
| Tableau 36 : Débits méthode CIEH BV1 | XII |
| Tableau 37 : Débit méthode CIEH BV2 | XIII |
| Tableau 38 : Débit méthode CIEH BV3 | XIII |
| Tableau 39 : Devis quantitatif et estimatif | LVI |

SIGLES ET ABRÉVIATIONS

| | | |
|-----------------|---|---|
| 2IE | : | Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement |
| AGEROUTE | : | Agence de Gestion des Routes |
| BAEL | : | Béton Armé aux États Limites |
| BCEOM | : | Bureau Central d'Étude pour les Équipements d'Outre-Mer |
| BNETD | : | Bureau National d'Études Techniques et de Développement |
| CBR | : | California Bearing Ratio |
| CEDEAO | : | Communauté Économique des États de l'Afrique de l'Ouest |
| CHEC | : | China Harbour Engineering Company |
| CIEH | : | Comité Interafricain des Études Hydrauliques |
| E | : | Module de Young |
| ÉLU | : | État Limite Ultime |
| ELS | : | État Limite de Service |
| GNT | : | Grave Non Traitée |
| HA | : | Haute Adhérence |
| LCPC | : | Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées |
| OPM | : | Optimum Proctor Modifié |
| ORSTOM | : | Office de la Recherche Scientifique Outre-Mer |
| PGES | : | Plan de Gestion Environnemental et social |
| PL | : | Poids Lourds |
| SETRA | : | Service d'Études Techniques des Routes et d'Autoroutes |
| SIDA | : | Syndrome d'Immuno- Déficience Acquis |
| SODEXAM | : | Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique |
| TTC | : | Toute Taxe Comprise |
| TVA | : | Taxe sur la Valeur Ajoutée |

INTRODUCTION

Le développement économique et la génération de richesses au sein d'une nation dépendent de la mobilité des biens et des individus, laquelle est étroitement liée à la qualité du réseau routier. Les répercussions d'une insuffisance d'infrastructures routières ont un impact à la fois social et économique. Sur le plan social, cette déficience entrave la communication entre les populations et compromet ainsi la cohésion sociale. Du point de vue économique, elle engendre des coûts considérables pour l'État et les citoyens.

La Côte d'Ivoire, située en Afrique occidentale, est confrontée à cette réalité, avec un important réseau routier en terre subissant des détériorations, résultat de plus d'une décennie de sous-investissement. Cela entraîne une diminution des échanges entre les différentes régions du pays et contribue à l'appauvrissement des zones rurales isolées. Conscient de ces enjeux, le gouvernement a inscrit le reprofilage des routes comme l'un des axes majeurs de sa stratégie visant à relancer l'économie du pays.

Des projets de développement d'infrastructures routières ont donc été lancés à l'échelle nationale, notamment le reprofilage de l'axe routier NAMBINGUE – KAOUARA long de 12 km, sujet principal de ce mémoire.

Ce mémoire vise à présenter une étude visant à fournir une solution optimisée pour la réalisation du reprofilage de l'axe routier et des ouvrages hydrauliques.

Ainsi, notre mémoire se décomposera en six sections comme suite :

- Une première partie présentant la structure d'accueil et la zone d'étude ;
- Une seconde partie portant sur la présentation générale du projet ;
- Une troisième qui aborde les différentes méthodes et formules utilisées pour la détermination des résultats ;
- Une quatrième destinée aux différents résultats obtenus ;
- Une cinquième où nous proposerons une notice d'impact environnemental ;
- Une sixième présentant l'estimation financière du projet.

I : PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ÉTUDE

I.1. Présentation de la structure d'accueil

I.1.1. Présentation générale de ML HOLDING

ML HOLDING Abidjan Cocody-II plateau tel : +22527232173, Email: mlholding@gmail.com. Fondée en 2015, il opère dans le domaine du bâtiment et des travaux publics. Dès ses débuts, elle a rapidement acquis une réputation basée sur sa rigueur et son expertise professionnelle, ce qui lui a valu une position éminente dans le secteur de la construction en République de Côte d'Ivoire. Grâce à une équipe composée d'ingénieurs, de techniciens et d'ouvriers qualifiés et expérimentés, ainsi qu'à l'utilisation d'équipements performants et adaptés, l'entreprise a su gagner la confiance d'un grand nombre de clients, qu'ils soient privés ou publics.

La mission principale de ML HOLDING est de fournir à ses clients des services uniques en ingénierie en leur proposant des solutions originales et efficaces, en misant sur un esprit de bonne exécution et de l'engagement de partenariat. Ses secteurs d'activité sont les suivantes :

- ⇒ Routes ;
- ⇒ Voiries et réseaux divers ;
- ⇒ Transport ;
- ⇒ Bâtiment ;
- ⇒ Environnement ;
- ⇒ Topographie ;
- ⇒ Géotechnique.

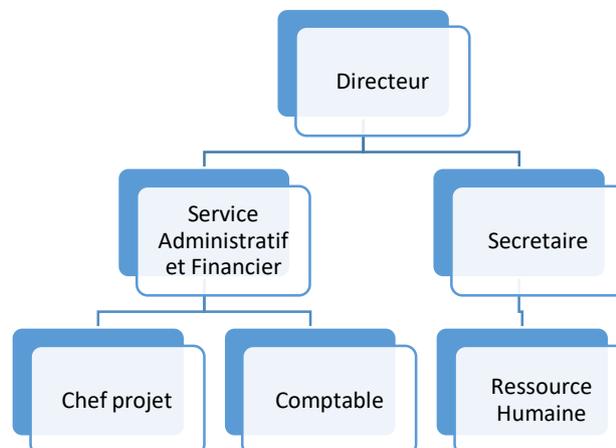


Figure 1: Organigramme de l'Entreprise

I.2. Présentation de la zone d'étude du projet

I.2.1. Situation géographique et administrative des localités de KAOUARA et NAMBINQUE

Les localités de Kaouara et Nambingué se situent dans le nord de la Côte d'Ivoire, faisant partie du département de Ferkessédougou, dans la région des Savanes.

Ferkessédougou se trouve dans la région du Tchologo, au nord-est de la Côte d'Ivoire. Elle se situe à une distance de 585 kilomètres d'Abidjan, la capitale économique du pays, et à 360 kilomètres de Yamoussoukro, la capitale politique. Ses coordonnées géographiques sont 9°32 de latitude Nord et 6°32 de longitude Ouest. Ses limites sont définies comme suit :

- ⇒ Au nord : commune de Ouangolo ;
- ⇒ Au sud : commune de Tafiré ;
- ⇒ À l'ouest : commune de Sinématiali ;
- ⇒ À l'est : commune de Koumbala

Cette commune est traversée par les principaux axes de transport, à la fois ferroviaire et routier, et occupe une place significative parmi les villes frontalières ivoiriennes, partageant des frontières avec le Mali et le Burkina Faso. Sa superficie totale est d'environ 56 km².

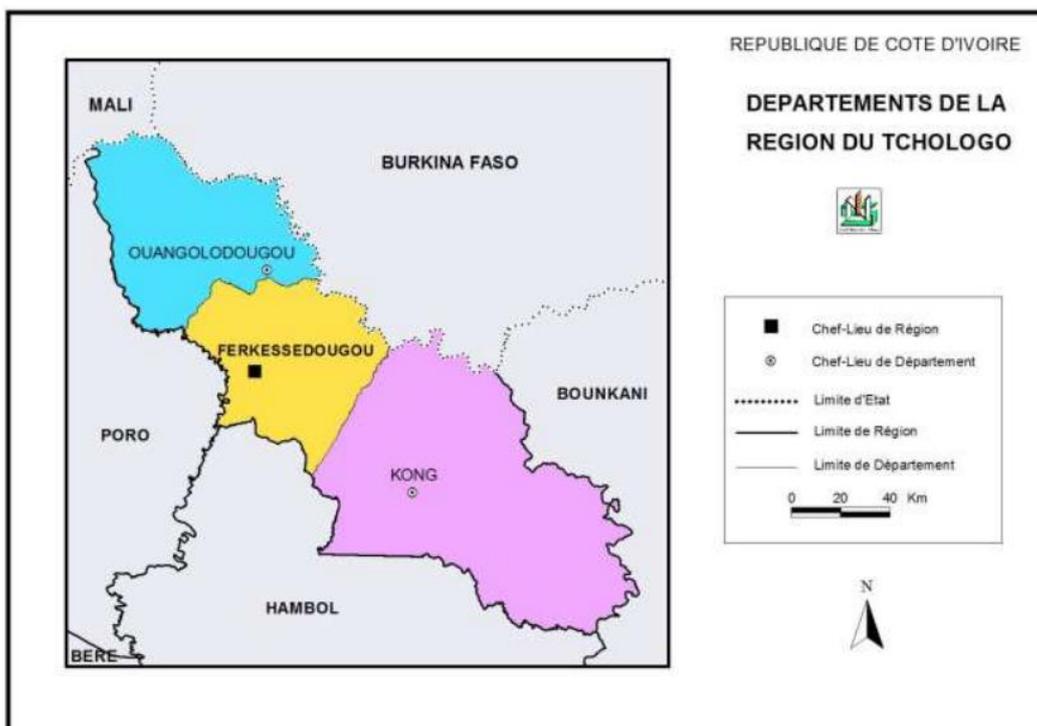


Figure 2 : Situation géographique du département de FERKESSEDOUGOU (Source : Institut National de la statistique)

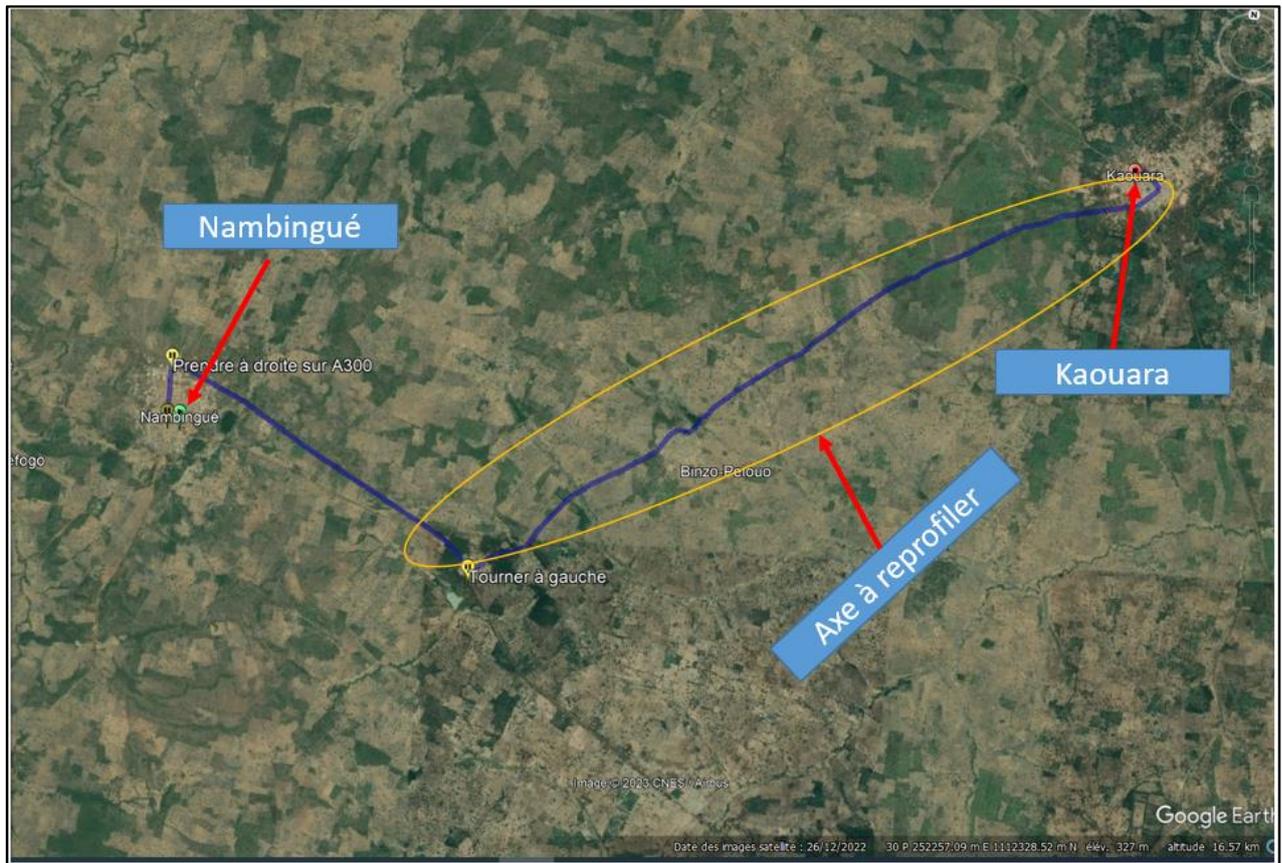


Figure 3 : Situation géographique des villes de KAOUARA et NAMBINGUE (source : Google earth)

I.2.2. Cadre humain et socio-économique

I.2.2.1. Situation démographique

La population de la commune de Ferkessédougou, comme indiqué dans les données du RGPH de 2014, est présentée dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1: Population totale de la commune de Ferkessédougou (Source : RGPH 2014)

| SOUS-PRÉFECTURE | Ferkessédougou |
|---|----------------|
| Population secteur communal de Ferkessédougou | 58 684 |
| Population non-communal | 61 466 |
| Population totale de Ferkessédougou | 120 150 |
| Superficie (km ²) | 2 128 |
| Densité (hbts/Km ²) | 56,46 |

I.2.2.2. Activités humaines

À l'instar de la zone de savane, Ferkessédougou est un territoire où le coton, introduit au début des années 60, constitue aujourd'hui plus de 30% des revenus monétaires des agriculteurs grâce à une intensification partielle de la culture, encouragée par l'utilisation de la culture attelée et des engrais. Néanmoins, l'anacarde, une culture pérenne sans mécanisation, connaît une expansion significative dans la région. Les cultures vivrières telles que le maïs, l'igname, le riz, le sorgho, le mil, l'arachide et le manioc, principalement cultivés de manière itinérante et traditionnelle sans intrants, dominent largement. Les systèmes de production extensifs et itinérants, qui occupent environ 50% des terres cultivées en Côte d'Ivoire, prédominent dans les zones de savane du Centre et du Nord-Est, où coexistent également des systèmes d'élevage transhumants ou semi-fixes, à l'origine de conflits.

I.2.3. Cadre du milieu physique

I.2.3.2. Hydrogéologie

L'hydrogéologie de la région du Tchologo présente deux types distincts d'aquifères : les aquifères situés en surface (aquifères d'altérites) et ceux localisés en profondeur (aquifères de fissures et de failles). La configuration du processus d'altération varie en fonction du type de roche constituant le substratum. La région connaît une fragmentation importante, similaire à d'autres régions de socle en Côte d'Ivoire. Les aquifères en surface sont principalement exploités par les puits des villages, tandis que les aquifères plus profonds (fissures et fractures) sont exploités via des forages réalisés dans le cadre de programmes d'approvisionnement en eau potable pour les villages, qu'ils soient standards ou améliorés.

I.2.3.3. Relief et la végétation

En général, le relief de la région du Tchologo se caractérise par la présence de plaines dont les altitudes s'élèvent légèrement dans un paysage sans orientation précise. Les principaux changements de terrain sont le résultat de reliefs qui émergent par endroits de ces plates-formes, se manifestant par une série de collines de faible hauteur s'intégrant à des dépressions abruptes, des plateaux (comme le mont Gnangbabka) qui se prolongent depuis les plaines et s'en séparent progressivement avec des altitudes variant de 200 à 500 m, ainsi qu'une chaîne de montagnes, notamment la montagne de Ouamelhor.

I.2.3.4. Climat

Le climat dans la commune est de type tropical et se divise en deux saisons principales :

- ⇒ Une saison sèche s'étendant de novembre à avril, caractérisée par l'harmattan entre décembre et février, des températures atteignant environ 40°C en mars et avril, et une faible humidité inférieure à 50% entre décembre et janvier.
- ⇒ Une saison pluvieuse de mai à octobre, avec un pic de précipitations observé en août et septembre ces dernières années. La pluviométrie annuelle varie entre 637 mm et 1489 mm en janvier, le mois le plus sec, les précipitations moyennes sont de 1.4 mm les précipitations maximales, en moyenne de 210 mm, sont enregistrées en août.

La pluviométrie de la région de 2011 à 2020 est consignée dans le tableau 2 ci-dessous :

Tableau 2 : Pluviométrie de la commune de FERKESSEDOUGOU (Source : SODEXAM)

| Année | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre | Total |
|-------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-----------|---------|----------|----------|--------|
| 2011 | 0,0 | 20,7 | 137,9 | 74,0 | 144,6 | 149,9 | 141,3 | 288,6 | 162,2 | 188,6 | 32,3 | 0,0 | 1340,1 |
| 2012 | 0,0 | 17,3 | 48,3 | 148,3 | 186,3 | 144,4 | 185,0 | 252,9 | 278,1 | 154,9 | 33,3 | 8,5 | 1457,3 |
| 2013 | 0,0 | 33,8 | 90,4 | 103,5 | 265,9 | 137,8 | 112,1 | 94,8 | 234,2 | 153,3 | 8,2 | 25,0 | 1259,0 |
| 2014 | 7,2 | 0,0 | 93,8 | 236,5 | 156,3 | 224,4 | 72,2 | 255,0 | 278,7 | 112,8 | 52,8 | 0,0 | 1489,7 |
| 2015 | 0,0 | 61,2 | 24,6 | 61,7 | 211,3 | 95,1 | 167,2 | 192,2 | 204,5 | 133,3 | 92,1 | 0,0 | 1243,2 |
| 2016 | 1,4 | 26,6 | 79,0 | 124,8 | 192,9 | 150,3 | 135,6 | 77,0 | 248,7 | 58,4 | 0,8 | 0,0 | 1095,4 |
| 2017 | 0,0 | 0,0 | 27,9 | 123,7 | 203,9 | 94,2 | 133,6 | 216,4 | 246,1 | 64,0 | 70,1 | 0,0 | 1180,1 |
| 2018 | 0,0 | 19,3 | 38,9 | 30,2 | 36,3 | 229,9 | 290,0 | 355,6 | 168,4 | 128,8 | 20,3 | 0,0 | 1317,7 |
| 2019 | 0,0 | 9,9 | 78,2 | 33,5 | 17,3 | 23,4 | 68,8 | 30,5 | 229,3 | 99,5 | 47,2 | 0,0 | 637,6 |
| 2020 | 0,0 | 0,0 | 18,0 | 119,9 | 114,3 | 72,1 | 37,8 | 121,4 | 397,5 | 125,0 | 0,0 | 0,0 | 1006,1 |

L'humidité relative mensuelle varie en moyenne entre 35 et 79%. Quant à l'insolation, elle s'étend de 160,6 heures en juillet à 273,8 heures en janvier. Les vitesses moyennes des vents dans toute la région sont généralement en dessous de 20 km/h.

La température moyenne annuelle est de 26,4 °C. Cependant, les températures les plus élevées surviennent pendant la saison sèche, atteignant un pic en mars à 29,5 °C, tandis que les valeurs les plus basses sont enregistrées pendant la période pluvieuse, avec un minimum en août à 24,7 °C.

II : PRÉSENTATION DU PROJET

II.1. Contexte de l'étude

La liaison entre KAOUARA et NAMRINGUE est assurée par une route non revêtue. Cette route de qualité médiocre pose des difficultés de circulation, surtout pendant la saison des pluies, ce qui accroît le risque d'accident et crée des conditions inconfortables pour les usagers. Ces problèmes entravent le développement régional.

Dans le cadre de sa politique visant à renforcer le réseau routier national au bénéfice des villes, des provinces et des zones rurales du pays, le gouvernement ivoirien a identifié un ensemble de routes prioritaires pour son programme d'aménagement de 1000 km de routes. Parmi ces routes prioritaires figure la route KAOUARA-NAMRINGUE, dont l'aménagement viserait à maintenir une qualité optimale afin de réduire les coûts d'entretien des véhicules, renforcer la sécurité des usagers et faciliter la circulation des personnes et des marchandises.

II.4. Objectifs et résultats attendus de l'étude

II.4.1. Objectif de l'étude

L'objectif général est de faire une étude détaillée de l'axe KAOUARA-NAMRINGUE et des ouvrages de franchissement reliant KAOUARA et NAMRINGUE au réseau routier.

La réussite de cet objectif global dépend de l'accomplissement des objectifs spécifiques suivants:

- ⇒ Projection du profil en long de la piste ;
- ⇒ Concevoir les plans et définir les dimensions des ouvrages hydrauliques ;
- ⇒ Calculer les épaisseurs des différentes couches pour la chaussée en terre ;
- ⇒ Examiner l'évaluation de l'incidence environnementale et sociale du projet.
- ⇒ Effectuer une analyse des coûts et produire une estimation budgétaire.

II.4.2. Résultats attendus

Dans le cadre de cette étude, les résultats attendus sont les suivants :

- ⇒ Plans détaillés des profils en long et en travers types de la piste ;
- ⇒ calculs des épaisseurs des matériaux adéquats pour une durabilité optimale ;
- ⇒ Calculs structuraux des éléments constitutifs du Dalot ;
- ⇒ Plans techniques détaillés des ouvrages hydrauliques (Dalot) ;
- ⇒ Rapport détaillé identifiant les impacts potentiels sur l'environnement et les communautés locales et recommandations pour atténuer les effets négatifs et maximiser les retombées positives ;
- ⇒ Estimation précise des coûts globaux du projet, incluant les matériaux, la main-d'œuvre et l'équipement. Devis détaillé des différentes phases du projet pour aider à la planification budgétaire et à l'allocation des ressources.

II.5. Données de base

Nous disposons des informations essentielles nécessaires à notre étude, notamment :

- ⇒ La conception géométrique détaillée du projet (tracé en plan, profil en long, profil en travers) ;
- ⇒ Les données météorologiques spécifiques à la zone d'étude.

III : MATÉRIELS ET MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION

III.1. Matériels

Pour la réalisation de ce travail, divers outils ont été utilisés, comprenant notamment :

- ⇒ Alize-LCPC : pour vérifier la qualité de la chaussée ;
- ⇒ Autocad 2018 : pour créer différents dessins et plans ;
- ⇒ CYPE 2016 : pour dimensionner structurellement les ouvrages ;
- ⇒ Google Earth : pour localiser notre tronçon ;
- ⇒ QGIS : pour délimiter les bassins versants, pour produire des cartes ;
- ⇒ Microsoft Word 2016 et Microsoft Excel 2016 : pour rédiger le rapport et traiter les données.

III.2. Méthodologie de conception

III.2.1. Étude hydrologique

L'objectif de l'étude hydrologique est de calculer les débits prévus qui seront utilisés pour dimensionner les ouvrages. Cette analyse implique la caractérisation de divers bassins versants, suivie par le calcul des débits générés par ces bassins. Pour cette étape, nous avons fait usage des logiciels Google Earth et ArcGis.

III.2.1.1. Détermination des caractéristiques du Bassin Versant

Dans un premier temps, nous avons repéré la zone du projet sur le logiciel Google Earth. Ensuite, nous avons extrait le tracé de la route grâce à ce même logiciel. Ce tracé a été transféré vers le logiciel ArcGis pour définir les différents bassins versants et mettre en évidence leurs caractéristiques physiques.

Le bassin versant le long d'une section linéaire d'un cours d'eau est défini comme la zone topographique totale drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de cette section (KARAMBIRI, 2008). Toutes ces eaux convergent vers un point commun appelé exutoire, un emplacement favorable pour la construction d'un barrage. En utilisant les outils des systèmes d'information géographique et les modèles numériques de terrain de résolution 30 m sur 30 m téléchargés depuis le site EARTHEXPLORER (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), nous avons pu délimiter les limites du bassin versant et calculer des paramètres morphologiques tels que le périmètre et la surface (voir annexe 1).

La classe du bassin versant est donnée par le tableau 3 suivant :

Tableau 3 : Classification des bassins en fonction de la superficie

| Classe de bassin versant | | Superficie (S) du bassin versant |
|--------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| Classe 1 | Très petits bassins versants | S < quelques ha |
| Classe 2 | Petits bassins versants | 2 < S < 40 km ² |
| Classe 3 | Bassins versants moyens | 40 < S < 1000 km ² |
| Classe 4 | Grand bassin versant | S > 1000 km ² |

Les autres caractéristiques sont les suivantes :

- **Indice de compacité K_G**

Désigné comme coefficient de forme ou indice de GRAVELIUS, il représente la proportion entre le périmètre du bassin versant et celui d'un cercle ayant la même superficie. Ce coefficient, qui impacte le temps de concentration, se calcule selon l'équation 1 suivante :

Équation 1 : Calcul de l'indice de compacité

| | |
|------------------------------------|---|
| $K_G = 0.282 * \frac{P}{\sqrt{S}}$ | <ul style="list-style-type: none"> - P (km), périmètre du bassin versant - S (km²), Surface du bassin versant - $K_G = 1$; bassin versant circulaire - $1 < K_G < 1,3$; bassin versant compact - $K_G > 1,3$; bassin versant allonger |
|------------------------------------|---|

- **Rectangle équivalent**

Il s'agit d'un rectangle ayant la même superficie, le même indice de compacité et la même distribution hypsométrique que le bassin versant étudié. Sa longueur est donnée par l'expression 2 suivante :

Équation 2 : Calcul de la longueur du rectangle équivalent du bassin

| | |
|---|--|
| $L = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16 * S}}{4}$ | <ul style="list-style-type: none"> - P (km), périmètre du bassin versant - S (km²), Surface du bassin versant |
|---|--|

- **Pente longitudinale**

La pente longitudinale du bassin versant a été calculée suivant la formule simplifiée de J. GRESILLON.

Équation 3 : Calcul de la pente longitudinale

| | |
|--------------------------------|--|
| $I (BV) = \frac{26}{\sqrt{S}}$ | <ul style="list-style-type: none"> - I (BV), la pente longitudinale du bassin versant [m/km] - S (km²), Surface du bassin versant |
|--------------------------------|--|

Selon la valeur de la pente longitudinale, le bassin sera classé suivant les six classes (Tableau 4) défini par l'Office de Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM).

Tableau 4 : Classification des bassins en fonction de la pente

| Classe | Description |
|--------|--|
| R1 | Bassins présentant des pentes extrêmement faibles inférieures à 2 m/km (2‰). |
| R2 | Bassins caractérisés par de pentes modérément faibles comprises entre 2 m/km et 5 m/km (2‰ et 5‰). Ce sont des bassins de plaine. |
| R3 | Bassins de pentes modérées comprises entre 5 et 10 m/km (5‰ et 1%). Il s'agit de terrains intermédiaires entre la plaine et les zones présentant des ondulations topographiques. |
| R4 | Bassins avec des pentes relativement prononcées : pentes longitudinales comprises entre 1% et 2%, et pentes transversales dépassant 2%. Ces zones se caractérisent par des ondulations topographiques. |
| R5 | Bassins présentant des pentes considérables : pentes longitudinales situées entre 2 et 5%, et pentes transversales allant de 8 à 20%. Ces zones correspondent à des régions vallonnées. |
| R6 | Bassins de pentes très fortes : pentes longitudinales supérieures à 5%, pentes transversales supérieures à 20%. Ce sont des régions de montagnes. |

La pente longitudinale du cours d'eau principal a été déterminée à partir du profil en long de ce cours d'eau. Elle correspond au rapport entre la dénivelée du cours d'eau principal et sa longueur.

Équation 4 : Calcul de la pente longitudinale du cours d'eau principal

| | |
|---|--|
| $I_{cp} = \frac{(H_{max} - H_{min})}{L_{cp}}$ | <ul style="list-style-type: none"> - I_{cp} : pente longitudinale du cours d'eau principal [m/km] - H_{max} : altitude maximale le long du cours principal [m] - H_{min} : altitude minimale le long du cours principal [m] - L_{cp} : Longueur totale du cours d'eau principal [km] |
|---|--|

- **Indice global**

L'indice global de pente est un paramètre géomorphologique caractérisant le relief du bassin versant. Il influe sur les débits de crues en augmentant ou en diminuant les vitesses de ruissellement suivant que la pente soit forte ou faible. Il se calcule avec la formule 5 ci-après :

Équation 5 : Calcul de l'indice global

| | |
|--|---|
| $I_g = \frac{(H_{5\%} - H_{95\%})}{L}$ | <ul style="list-style-type: none"> - I_g : l'indice global des pentes [m/km] - $H_{5\%}$: altitude au-dessus de laquelle sont situées 5 % de la superficie du bassin versant [m] - $H_{95\%}$: altitude au-dessus de laquelle sont situées 95 % de la superficie du bassin versant [m] - L : La longueur du rectangle équivalent [km] |
|--|---|

Une fois le bassin versant délimité et les courbes de niveau générées, le logiciel ArcGIS sera utilisé pour calculer les différentes aires afin de créer la courbe hypsométrique. À partir de cette courbe, les altitudes correspondant à 5 % et 95 % de la superficie du bassin seront identifiées.

- **Pente transversale**

La pente transversale a été calculée avec six (6) plus grandes pentes de sections différentes sur les versants et la moyenne des différents résultats est retenue comme pente transversale (I_t) du bassin versant. Le calcul des pentes transversales ne sera pas nécessaire si toute fois I_g est mal représentée. Cette valeur moyenne (I_t) a été comparée à la pente longitudinale (I_g) pour s'assurer d'une éventuelle correction de l'indice global (**I_{gcorr}**) de pente suivant la formule :

Équation 6 : Calcul de la pente transversale du bassin versant

| | |
|--|---|
| $I_{gcorr} = \frac{(n - 1)I_g + I_t}{n}$ | <ul style="list-style-type: none"> - $n = 2$ pour $L < 5$ km, - $n = 3$ pour $5 \text{ km} < L < 25$ km, - $n = 4$ pour $25 \text{ km} < L < 50$ km - $n = 6$ pour $L > 50$ km - L [km]= longueur du rectangle équivalent |
|--|---|

A. Densité de drainage D_d et Dénivelée spécifique D_s

La densité de drainage (Dd) a été obtenue en divisant la longueur totale des cours d'eau par la superficie totale (S) du bassin versant. Quant à la dénivelée spécifique, elle a été calculée en multipliant l'indice global des pentes Ig (Ig corrigé) par la racine carrée de la superficie (S) du bassin versant. Leurs formules sont les suivantes :

Équation 7 : Calcul de la densité de drainage et de la dénivelée spécifique

| | |
|---|--|
| $Dd = \frac{\sum Li}{S}$ $Ds = Ig * \sqrt{S}$ | <ul style="list-style-type: none">- Dd : densité de drainage [km/km²]- li : longueur du cours d'eau élémentaire [km]- S : la surface du bassin versant [km²]- Ds : dénivelé spécifique [m]- Ig : Indice global de pente corrigé [m/km] |
|---|--|

Suivant la valeur du dénivelé spécifique (Ds), on distingue trois types de relief [5] à savoir :

- Relief faible pour Ds inférieur à 50 m ;
- Relief modéré si Ds compris entre 50 et 100 m ;
- Relief fort pour Ds supérieur à 100 m.

B. Classe d'infiltrabilité du bassin versant

Les éléments influençant l'infiltrabilité sont les caractères d'état de surface qui intègrent le couvert végétal, la surface du sol et les organisations pédologiques superficielles ayant subi des transformations sous l'effet des facteurs météorologiques, fauniques ou anthropiques. La classification qualitative adoptée par J. RODIER comprend six classes. L'indice placé entre parenthèses correspond à l'ancienne nomenclature utilisée par J RODIER et C. AUVREY (J RODIER, C. AUVREY,1965) :

- P1 (TI) : bassins rigoureusement imperméables, entièrement rocheux ou argileux ; \ (PI) : bassin naturel particulièrement imperméable ;
- P2 (I) : bassins assez imperméables ou bassins homogènes, presque imperméables ;
- P3 (RI) : bassins assez imperméables ou bassins homogènes assez peu perméables ;
- P4 (P) : bassins assez perméables ; sols sableux sans pellicule ou avec un couvert végétal de graminées ;

- P5 (TP) : bassins très perméables, sables éoliens, sables sans pellicules et sans végétation (2).

III.2.1.2. Détermination des crues de projet

Dans le cadre de notre analyse, nous opterons pour les méthodes CIEH et ORSTOM (Bassin dont la surface est supérieure à 4 km²) et la méthode rationnelle pour les bassins dont la surface est inférieure à 4 km². À cet effet, les paramètres de calcul de la crue décennale ont été d'abord calculés selon la procédure décrite ci-après :

A. Méthode rationnelle

Cette méthode, conçue pour les bassins versants de moins de 4 km², établit que pour une pluie uniforme en intensité (I en mm/h) et répartie dans le temps et l'espace, le débit maximum (Q) est atteint lorsque la durée de l'averse est au moins égale au temps de concentration (T_c) du bassin versant. La formule associée au débit est la suivante :

Équation 8 : Calcul du débit de projet (méthode rationnelle)

| | |
|-------------------|---|
| $Q = 0,278 * CIA$ | <ul style="list-style-type: none">- A : Superficie du bassin versant en km²- Q : Débit à évacuer en m³/s- C : Coefficient de ruissellement- I : Intensité de la pluie mm/h |
|-------------------|---|

Avec :

⇒ **Intensité de la pluie (I)**

$$I = a T_c^{-b} \quad (2)$$

I : intensité de la pluie en mm/h

T_c : temps de concentration en min

Les coefficients a et b de Montana sont issus des données météorologiques de la zone.

⇒ **Temps de concentration (T_c)**

Le temps de concentration est calculé à partir de la formule de Kirpich

$$T_c = \frac{1}{52} \times \frac{L^{0,77}}{P^{0,38}} \quad (3)$$

T_c : temps de concentration en min

L : longueur du chemin hydraulique en m

P : pente moyenne du bassin versant en m/m

⇒ **Coefficient de ruissellement**

Nos bassins versants ont des superficies comprises entre 10 ha et 400 ha. Ils présentent un couvert végétal de type savane et des pentes inférieures à 5%. De ce fait le coefficient de ruissellement est pris égal à 0,3 comme l'indique le tableau 5 ci-dessous :

Tableau 5 : Détermination du coefficient de ruissellement

| Nature de couverture végétale | Valeur de Coefficient de ruissellement | | | | | | | |
|---|---|------------------|-------------|-------------|---|------------|-------------|-------------|
| | Petits bassins de 0 à 10 ha présentant une pente de | | | | Bassins moyens de 10 à 400 ha présentant une pente de | | | |
| | Moins de 5% | Moins de 5 à 10% | De 10 à 30% | Plus de 30% | Moins de 5% | De 5 à 10% | De 10 à 30% | Plus de 30% |
| Plates-formes et chaussées de routes ; cours... | 0,95 | << | << | << | << | << | << | << |
| Terrains dénudés, ou à végétation non couvrante... Terrains déjà attaqués par l'érosion... Labours frais..... | 0,8 | 0,85 | 0,9 | 0,95 | 0,7 | 0,75 | 0,8 | 0,85 |
| Culture couvrante, céréales hautes..... Terrains de parcours, chiendent ras..... Petite brousse clairsemée..... | 0,75 | 0,8 | 0,85 | 0,9 | 0,52 | 0,6 | 0,72 | 0,8 |
| Prairies..... Brousse dense, savane à sous-bois..... | 0,7 | 0,75 | 0,8 | 0,85 | 0,3 | 0,36 | 0,12 | 0,5 |
| Forêt ordinaire en futaie sous-bois touffu..... | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,13 | 0,2 | 0,25 | 0,3 |
| Grande forêt primaire..... | 0,2 | 0,25 | 0,3 | 0,4 | 0,15 | 0,18 | 0,22 | 0,25 |

B. Méthode ORSTOM

La méthode ORSTOM (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer) est une approche développée pour estimer les débits dans les petits bassins versants. Cette méthode s'applique généralement à des bassins versants de petite taille (généralement inférieure à 200 km²) et est utilisée pour modéliser le ruissellement et prévoir les débits en fonction des caractéristiques hydrologiques de la zone. La formule associée au débit décennal est la suivante :

Équation 9 : Calcul du débit de projet (méthode ORSTOM)

| | |
|------------------------|---|
| $Q_{10} = m * Qr_{10}$ | <ul style="list-style-type: none">- m : coefficient de majoration qui est fonction de classe d'infiltrabilité du bassin versant et de la zone climatique- Qr₁₀ : le débit de ruissellement décennal |
|------------------------|---|

Avec Qr₁₀, le débit de ruissellement calculé par la formule suivante :

Équation 10 : Détermination du débit de ruissellement

| | |
|--|---|
| $Qr_{10} = A * P_{10} * Kr_{10} * \alpha_{10} * \frac{S}{Tb_{10}}$ | <ul style="list-style-type: none">- A : coefficient d'abattement- P₁₀ : pluie journalière décennale- Kr₁₀ : coefficient de ruissellement décennal- α₁₀ : coefficient de pointe de la crue décennale (2,6)- Tb₁₀ : temps de base en heures- S : la superficie du bassin versant |
|--|---|

Les paramètres ont été déterminés par les formules suivantes :

⇒ **Coefficient d'abattement A**

Il s'agit d'un coefficient de réduction utilisé pour convertir une hauteur de pluie ponctuelle en une hauteur moyenne calculée sur une superficie spécifique dans une zone pluviométrique homogène, et ce, pour une fréquence déterminée (par exemple, une pluie décennale). Il est calculé suivant l'équation simplifiée de G. VUILLAUME (L.M COMPAORE, 1996).

Équation 11 : Calcul du coefficient d'abattement

| | |
|--|---|
| $A = 1 - \left[\frac{161 - 0.042 * Pan}{1000} * LogS \right]$ | <ul style="list-style-type: none">- A : coefficient d'abattement- Pan : la pluie moyenne annuelle du bassin versant- S : la surface du bassin versant |
|--|---|

⇒ **Coefficient de ruissellement Kr_{10}**

Il s'agit d'un coefficient de réduction qui facilite la transition d'une hauteur de pluie ponctuelle à une hauteur moyenne calculée sur une superficie spécifique au sein d'une zone pluviométrique homogène et pour une fréquence donnée (par exemple pluie décennale). Il est calculé suivant l'équation simplifiée de G. VUILLAUME (L.M COMPAORE, 1996).

Le coefficient de ruissellement Kr_{10} a été estimé en cas de précipitation ponctuelle décennale (P_{10}) variant entre 70 et 100 mm en utilisant une interpolation linéaire entre les valeurs de Kr_{70} et Kr_{100} . Ces valeurs ont été obtenues à partir de formules analytiques spécifiquement définies.

$$Kr_{70} \text{ ou } Kr_{100} = \frac{a}{S + b} + c$$

⇒ **Détermination du temps de base Tb_{10}**

Le temps de base représente la période incluse entre le début et la fin du ruissellement rapide. Il varie en fonction de l'indice global de pente I_g . Pour une région de zone tropicale sèche, le temps de base est défini par la formule suivante :

$$BV1 / Tb = 215 * (S - 0.05)^{0.45} + 300$$

$$BV3 / Tb = 13.9 * S + 255$$

⇒ **Détermination du temps de base Tm_{10}**

En milieu tropical sec, on considère que le temps nécessaire pour atteindre le pic de débit est approximativement égal au tiers du temps de base. $Tm_{10} = \frac{1}{3} * Tb_{10}$

C. Méthode CIEH

Élaborée par C. PUECH et D. CHABI-GONNI en 1983, la méthode CIEH se présente comme une approche statistique offrant plusieurs variantes. Elle prend en considération l'inclusion du bassin versant dans une classification climatique, une localisation géographique, ou encore une subdivision spécifique pour un pays ou un ensemble de pays (tel que le découpage FAO 54, 1998). Leur formule repose sur un modèle de régression multiple et est formulée comme suit :

| | |
|---|--|
| $Q_{10} = a * S^s * Pan^p * Ig^i * Kr10^k * Dd^d$ | <ul style="list-style-type: none"> - S [km²] : la surface du bassin versant - Pan [mm] : la pluie annuelle moyenne - Ig [m/km] : l'indice global de pente - Kr10 [%] : le coefficient de ruissellement décennal - Dd [km/km²] : la densité de drainage - a, s, p, i, k, d sont des coefficients d'ajustement |
|---|--|

En fonction des paramètres les plus représentatifs (S, Ig, Kr10 et Dd) quelques équations de régressions les plus susceptibles d'approcher la crue décennale ont été utilisées dans le cadre de cette étude. Les équations utilisées sont donc les suivantes :

Équation 12 : Calcul des débits par la méthode CIEH

| |
|---|
| N°34: $Q_{10} = 4.83 \times S^{0.562}$ |
| N°35: $Q_{10} = 2.29 \times S^{0.651} \times Ig^{0.216}$ |
| N°36: $Q_{10} = 0.000174 \times S^{0.645} \times P_{m10}^{2.149}$ |
| N°37: $Q_{10} = 0.38 \times S^{0.586} \times Kr10^{0.805}$ |
| N°38: $Q_{10} = 0.275 \times S^{0.618} \times Ig^{0.099} \times Kr10^{0.718}$ |

III.2.2. Dimensionnement hydraulique des ouvrages

III.2.2.1. Choix des ouvrages de franchissement

La conception des Routes est souvent confrontée à des obstacles naturels tels que les rivières et les vallées, nécessitant la construction d'ouvrages d'art comme des dalots, des ponts ou des buses pour permettre le passage. Le choix du type d'ouvrage prend en considération plusieurs critères, notamment :

- ⇒ L'intégration de l'ouvrage dans le tracé de la route ;
- ⇒ La faisabilité technique ;
- ⇒ Les coûts de construction ;
- ⇒ Le confort et la sécurité des utilisateurs ;
- ⇒ La capacité d'évacuation des eaux ;
- ⇒ La durabilité à long terme de la structure ;
- ⇒ Les particularités des obstacles à surmonter.

Après avoir analysé ces critères, on opte dans le cadre de ce projet des dalots-cadres en béton armé qui ont la particularité d'être une solution moins coûteuse en offrant une facilité d'entretien.

III.2.2.2. Dimensionnement hydraulique des dalots

Le dimensionnement hydraulique vise à établir les dimensions des structures pouvant accommoder les débits estimés. Pour le dimensionnement hydraulique des dalots, nous allons utiliser la méthode expliquée dans le manuel "Hydraulique routière" publié par le ministère français de la Coopération et du Développement. Ainsi, pour le dimensionnement, nous avons suivi les étapes suivantes :

Etape 1. Calcul de la profondeur H_1

Une fois le débit Q à évacuer est déterminé, on estime la largeur B et la hauteur D en veillant à ce que la vitesse dans cette section ne dépasse pas la valeur maximale de 4 m/s.

Équation 13 : Calcul de la profondeur H du dalot

| | |
|--|---|
| $V = \frac{Q}{B * H}$ $Q^* = \frac{Q}{S} * \frac{1}{\sqrt{2gH}}$ | <ul style="list-style-type: none"> - Q : débit en m³/h - B : la largeur du dalot en m - H : la hauteur du dalot en m - V : la vitesse d'écoulement en m/s - Q* : le débit réduit m³/h - g : l'accélération de la pesanteur en m/s² - S : la section du dalot en m² |
|--|---|

La valeur Q* nous permet de trouver sur le graphique la valeur H1* (annexe 3). La hauteur amont est obtenue en utilisant la relation suivante : H1 = H1* × D. Cette hauteur amont doit respecter la condition H1 < 1,25D. Si ce n'est pas le cas, une nouvelle section est choisie jusqu'à obtenir une valeur acceptable.

Etape 2. Calcul de la pente Ic

Il est nécessaire que l'ouvrage puisse évacuer le débit critique correspondant à la profondeur amont H1. Pour ce faire, la pente longitudinale I de l'ouvrage doit être au moins égale à Ic.

La pente critique est donnée par les formules 14 suivantes :

Équation 14 : Calcul de la pente critique permettant d'évacuer le débit critique

| | |
|--|--|
| $Q^* = \frac{Q}{\sqrt{gB^5}}$ $Ic = \frac{g * I_c^*}{K^2 * B^{1/3}}$ | <ul style="list-style-type: none"> - Q : débit en m³/h - B : la largeur du dalot en (m) - I_C* : déterminé à l'aide de l'abaque de détermination de la pente critique d'un dalot (annexe 4). - K² : constante - Q* : le débit réduit m³/h - g : l'accélération de la pesanteur en m/s² - Ic : la pente critique |
|--|--|

Etape 3. Calcul de la vitesse

La vitesse de l'ouvrage est calculée par les formules suivantes :

Équation 15 : Détermination de la vitesse de l'ouvrage

| | |
|---|--|
| $Q^* = \frac{Q}{I^{1/2} * B^3 * K}$ $V = V^* * K * I^{1/2} * B^{2/3}$ | <ul style="list-style-type: none">- Q : débit en m³/h- B : la largeur du dalot en m- I : la pente- K : constante- Q* : le débit réduit m³/h- V* : déterminé à l'aide de l'abaque de détermination de la vitesse du dalot (annexe 5).- NB : On vérifie que la vitesse n'est pas supérieure à 4m/s |
|---|--|

III.2.3. Dimensionnement structural des ouvrages

III.2.3.1. Dimensionnement structural du cadre du dalot

Le dimensionnement structural conforme au BAEL 91 débute en assignant des épaisseurs aux structures, puis en calculant les différentes sections d'acier qui supporteront les charges.

Étant donné l'absence d'étude géotechnique pour le sol de fondation, des hypothèses seront émises à son sujet. Des hypothèses de calcul seront également formulées concernant le béton et l'acier.

Hypothèse de calcul :

- ⇒ Résistance à la compression du béton à 28 jours f_{c28} : 25MPa ;
- ⇒ Résistance à la traction du béton à 28 jours f_{t28} : 2,1MPa ;
- ⇒ Poids volumiques du béton : 25kN/m³ ;
- ⇒ Contrainte de calcul maximum en compression à l'ÉLU : 14,17MPa ;
- ⇒ Contrainte de calcul maximum en compression à l'ELS : 15MPa ;
- ⇒ Acier HA FeE400 ;
- ⇒ Contrainte admissible de l'acier σ_{st} = 201,63MPa ;
- ⇒ Enrobage : 3cm ;
- ⇒ Poids volumiques du matériau de remblai : 24kN /m³ ;

- ⇒ Angle de frottement interne : 30° ;
- ⇒ Coefficient de poussée du sol K_a : 0.33 ;
- ⇒ Contrainte admissible du sol : 0,2MPa.

Predimensionnement :

$$e_{\text{dalot}} = \max(e_1; e_2)$$

$$e_1 = \frac{l}{15}$$

$$e_2 = \frac{l}{10}$$

Avec l , la plus grande dimension de notre cellule.

Calcul des aciers :

Les normes de calcul pour le béton armé (BA) sont stipulées dans le BAEL 91, amendé en 99. Les structures routières sont définies en accord avec les directives des fascicules 61 titres II. Les ouvrages sont évalués selon les charges des systèmes A (L) et B (Bc et Bt). Les études sont menées par sections d'un mètre de dalot ($b=1\text{m}$).

Pour calculer les contraintes dans les éléments de structure du cadre, nous avons pris en compte deux types de charges : d'une part, les charges permanentes, et d'autre part, les charges d'utilisation (routières).

III.2.3.2. Dimensionnement structural du mur en aile du dalot

Le mur en aile sera traité comme un mur de soutènement de type cantilever. Sa fonction principale est de retenir un volume de terre. Cette phase impliquera la détermination des dimensions du mur, suivie de la vérification de sa stabilité (incluant les contrôles contre le basculement, le glissement et le poinçonnement). Enfin, nous procéderons au calcul des armatures pour le mur. Des hypothèses seront formulées concernant le sol de fondation et le matériau utilisé pour le remblai.

Hypothèses pour le sol de fondation :

- ⇒ Angle de frottement interne pour le sol de fondation : 20° ;
- ⇒ Cohésion C' :0 ;
- ⇒ Contrainte du sol σ_0 : 2 bar.

Hypothèses pour le remblai :

- ⇒ Cohésion C : 0 ;
- ⇒ Poids volumique du matériau de remblai : 20 kN/m³ ;
- ⇒ Angle de frottement interne : 30 ° ;
- ⇒ Poussée passive nulle sur l'avant du patin ;
- ⇒ Coefficient de poussée du sol Ka : 0,33.

Predimensionnement

L'épaisseur du mur est donnée par :

$$e_1 = \frac{H}{24} \text{ avec } H \text{ la hauteur du mur}$$

L'épaisseur de la semelle est donnée par :

$$e_2 = \frac{H}{12}$$

La largeur de la semelle est donnée par :

$$B = 0.20 + 0.45H$$

La largeur du patin est comprise entre :

$$\frac{H}{8} < B_1 < \frac{H}{5}$$

Vérification de la stabilité du mur

La vérification au renversement :

$$F_r = \frac{\sum \text{Moment stabilisant}}{\sum \text{Moment renversant}} \geq 1.5$$

La vérification au non-glissement :

$$F_g = \frac{C' \times B + R_v \tan \theta}{R_H} \geq 1.5$$

C' : Cohésion pour le sol de fondation

B : Largeur de la semelle en m

R_v : Composante verticale de la résultante des forces en kN

R_H : Composante horizontale de la résultante des forces en kN

θ : Angle de frottement entre le mur et la base du mur en degré

La vérification au non-poinçonnement :

$$\sigma_{\text{ref}} < \bar{\sigma}_{\text{ser}}$$

$$\sigma_{\text{ref}} = \frac{5 R_V}{2B} \left(1 - 1.2 \frac{e_A}{B}\right)$$

$$\bar{\sigma}_{\text{ser}} = \sigma_0 \times e^{-\delta_R}$$

σ_{ref} : Contrainte verticale de référence en KPa

$\bar{\sigma}_{\text{ser}}$: Contrainte de calcul en KPa

σ_0 : Contrainte du sol en KPa

e_A : Excentricité en m

δ_R : Inclinaison de la résultante R en radian.

Calcul des aciers

Le voile pourrait être évalué en flexion combinée afin de déterminer la section optimale pour équilibrer les renforts. Le patin sera traité comme une poutre fixée, supportant la réaction du sol. Le talon sera également traité comme une poutre fixée dans le voile, supportant la réaction du sol, le poids des terres au-dessus du talon et les charges d'utilisation appliquées sur le remblai.

III.2.4. Dimensionnement de la structure de la chaussée

Nous avons choisi d'adopter la méthode CEBTP pour concevoir nos chaussées. Cette approche intègre divers éléments tels que le trafic, la classification du sol de la plate-forme et le guide du CEBTP pour créer différentes configurations de structures routières. Ensuite, nous sélectionnons une structure en considérant la disponibilité des matériaux et les coûts de construction. Pour vérifier la solidité de cette structure, nous comparons les contraintes et déformations admises, calculées à l'aide du logiciel alizé, avec celles obtenues. En ajustant les épaisseurs des différentes couches, nous visons des épaisseurs optimales afin de maintenir les contraintes en dessous des valeurs admissibles.

Cette méthode intègre divers paramètres tels que le trafic, la qualité du sol de la plate-forme et les recommandations du CEBTP pour élaborer des structures de chaussée adaptées. Ces paramètres ont été déterminés et vérifiés pour assurer une chaussée de bonne qualité répondant aux normes nationales et internationales.

IV. Étude technique

IV.1. Étude hydrologique

IV.1.1. Analyse statistique des pluies

L'analyse fréquentielle des pluies est une méthode utilisée en hydrologie pour étudier et caractériser les précipitations sur une zone géographique donnée. Elle repose sur l'analyse statistique des données pluviométriques historiques afin de comprendre la fréquence, l'intensité et la durée des événements de pluie. Cela permet de mieux anticiper et de dimensionner les infrastructures en tenant compte des événements pluvieux exceptionnels susceptibles de se produire dans une région donnée.

Les résultats sont consignés dans le tableau 6 ci-dessous :

Tableau 6 : Analyse fréquentielle des pluies

| Analyse fréquentielle des pluies | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|----------------|-----|------|------|-----|---------|---------------|----|----|----|-----|
| Libellé | Période humide | | | | | Médiane | Période sèche | | | | |
| Temps de retours (an) | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| Pluie journalière (mm) | 5,72 | 7 | 8,06 | 9,25 | 10 | 3,27 | 0,814 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pluie annuelle (mm) | 177 | 218 | 251 | 288 | 313 | 99,85 | 22,6 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Analyse des résultats :

- ⇒ **Pluie annuelle : 99,85 mm / Pluie journalière : 3,27 mm;**
- ⇒ **Pluie décennale : 218 mm / Pluie décennale journalière : 7 mm ;**
- ⇒ **Pluie centennale : 313 mm / Pluie centennale journalière : 10 mm.**

IV.1.2. Caractéristiques des bassins versants

Dans la zone étudiée, nous avons répertorié un total de 06 bassins versants, couvrant une superficie combinée de 20,6 km². Parmi ces 06 bassins, 3 ont une superficie inférieure à 4 km², comme indiqué dans le tableau 7. L'analyse des caractéristiques physiques a révélé que ces bassins versants présentent des formes allongées, soulignées par des indices de compacité de Gravelius supérieurs à 1. Les détails des caractéristiques physiques de ces bassins versants sont présentés dans l'annexe 1.

Figure 4 : Situation géographique des Bassins Versants

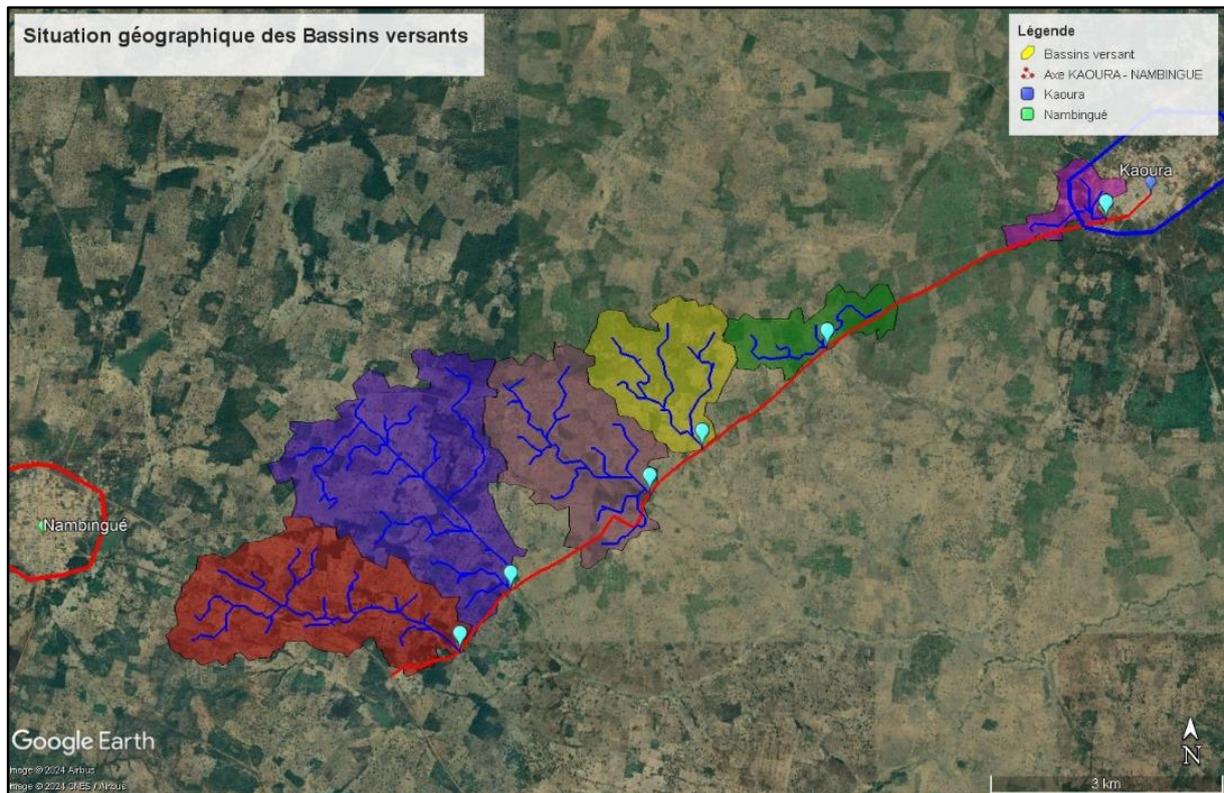


Tableau 7 : Résultats de la détermination des caractéristiques des bassins versants

| BV | Surface (km ²) | Périmètre (km) | Pente (%) | Longueur hydraulique (m) | Indice global de pente (m/km) | Coefficient de Gravelius KG |
|------|----------------------------|----------------|-----------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| BV 1 | 6,53 | 14,93 | 4,56 | 6,45 | 3,97 | 1,65 |
| BV2 | 3,98 | 10,78 | 4,69 | 4,51 | 4,44 | 1,52 |
| BV 3 | 4,87 | 11,91 | 5,14 | 4,98 | 4,10 | 1,52 |
| BV 4 | 2,61 | 7,72 | 5,23 | 2,99 | 6,59 | 1,35 |
| BV 5 | 1,34 | 6,94 | 6,9 | 2,71 | 4,02 | 1,69 |
| BV 6 | 0,73 | 5,25 | 4,33 | 2,71 | 4,81 | 1,73 |

IV.1.3. Détermination des crues de projet

Il a été utilisé la méthode rationnelle pour calculer les débits décennaux des bassins dont la superficie est inférieure à 4 km². En revanche, pour les bassins dépassant cette superficie, les méthodes CIEH et ORSTOM ont été employées en tant que références. À partir du coefficient C calculé par la méthode Gradex, la transition du débit décennal au débit de projet a été possible.

Les débits issus des méthodes ORSTOM et CIEH démontrent des écarts considérables. Du fait que ces deux méthodes sont empiriques et utilisent des paramètres de calcul distincts, les débits finaux adoptés prennent en considération la situation la plus défavorable, c'est-à-dire le débit le plus élevé. Ces débits sont répertoriés dans le tableau 8 ci-dessous.

Tableau 8 : Calcul des débits de projet

| Bassins versants | Surface (km ²) | Méthode rationnelle Débit (m ³ /s) | Méthode CIEH Débit (m ³ /s) | Méthode ORSTOM Debit (m ³ /s) | Q10 (m ³ /s) | Coefficient C | Q20 (m ³ /s) |
|------------------|----------------------------|---|--|--|-------------------------|---------------|-------------------------|
| BV 1 | 6,53 | - | 23,99 | 2,64 | 23,99 | 1,16 | 27,9 |
| BV 2 | 3,98 | - | 16,79 | 1,84 | 16,79 | 1,18 | 19,77 |
| BV 3 | 4,8 | - | 20,57 | 2,3 | 20,57 | 1,16 | 23,78 |
| BV 4 | 2,61 | 1,19 | - | - | 1,19 | 1,13 | 1,34 |
| BV 5 | 1,34 | 0,64 | - | - | 0,64 | 1,14 | 0,73 |
| BV 6 | 0,73 | 0,43 | - | - | 0,43 | 1,13 | 0,49 |

IV.2. Dimensionnement hydraulique des Dalots

L'étude hydraulique a été réalisée en respectant la condition selon laquelle la hauteur amont H1 doit être inférieure à 1,25 fois la hauteur de l'ouvrage H. Cette condition assure un écoulement à surface libre avec une sortie dégagée pour les ouvrages en cours de conception.

Au total, il y a 6 dalots, dont les dimensions finales sélectionnées sont répertoriées dans le tableau 9 ci-dessous :

Tableau 9 : Dimensions des Dalots

| Bassins versants | Hauteur Amont H1 (m) | Pente critique Ic (m/m) | Pente I (m/m) | Vitesse V(m/s) | Q20 (m ³ /s) | Nombre de cellules | B (m) | H (m) |
|------------------|----------------------|-------------------------|---------------|----------------|-------------------------|--------------------|----------|------------|
| BV 1 | 2.1 | 0,005 | 0,005 | 3,77 | 27,9 | 2 | 3 | 3 |
| BV 2 | 2,4 | 0,005 | 0,005 | 3.80 | 19,77 | 1 | 3 | 3 |
| BV 3 | 2,46 | 0,005 | 0,005 | 3,73 | 23,78 | 2 | 3 | 3 |
| BV 4 | 1,65 | 0,006 | 0,007 | 3,47 | 1,34 | 1 | 2 | 1,5 |
| BV 5 | 1,575 | 0,006 | 0,007 | 2,88 | 0,73 | 1 | 2 | 1,5 |
| BV 6 | 1,2 | 0,006 | 0,006 | 1,92 | 0,49 | 1 | 2 | 1,5 |

Les dimensions des dalots ont été standardisées afin d'éviter des variations de sections, simplifiant ainsi le processus de mise en œuvre. Cela a abouti à la définition de 3 types de dalots récapitulés dans le tableau 10 ci-dessous.

Tableau 10 : Type de Dalots

| Sections | Type | Nombre |
|-----------|------|--------|
| 2 x 1,5 | A | 3 |
| 3 x 3 | B | 1 |
| 2 x 3 x 3 | C | 2 |

IV.4. Dimensionnement structural des ouvrages

IV.4.1. Dimensionnement structural du cadre du Dalot

⇒ Prédimensionnement

Les mesures d'épaisseur pour nos dalots types sont répertoriées dans le tableau 11 ci-dessous :

Tableau 11 : Épaisseur des Dalots

| Type | Épaisseur (cm) |
|------|----------------|
| A | 30 |
| B | 30 |
| C | 30 |

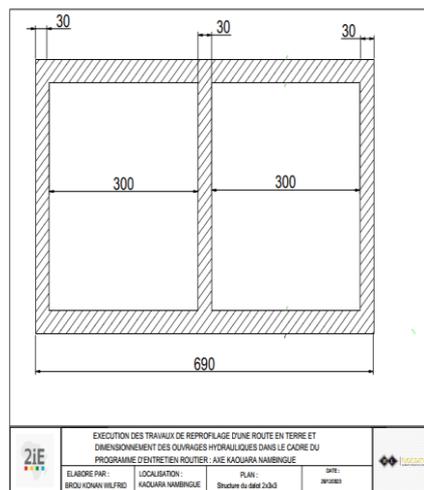


Figure 5: structure du dalot 2x3x3

⇒ **Évaluation des charges**

Dans cette section, nous examinerons les résultats obtenus concernant le calcul des dalots, notamment l'évaluation des charges, le calcul des sollicitations et le dimensionnement des armatures. Nous illustrerons cela avec le cas du dalot de type E. Les charges permanentes, les charges d'exploitation selon les divers systèmes, et les charges finales retenues pour le calcul des sollicitations sont récapitulées dans les tableaux suivants :

▪ **Charges permanentes**

Tableau 12 : Évaluation des charges permanentes

| Éléments | Charges permanentes (kN/m ²) |
|-----------------|--|
| Tablier | 11,10 |
| Radier | 29,85 |
| Pied droit haut | 2,57 |
| Pied droit bas | 22,37 |

▪ **Charges d'exploitation sur le Dalot**

Tableau 13 : Évaluation de la charge d'exploitation sur le Dalot

| Système de charge | Valeurs des charges (kN/m ²) | Charges retenues (kN/m ²) |
|-------------------|--|---------------------------------------|
| A | 20,85 | 114,44 |
| Bt | 114,44 | |
| Bc | 86,35 | |

▪ **Charges d'exploitation sur le remblai**

La charge d'utilisation considérée pour le remblai est de 3,96 kN/m².

▪ **Charges finales**

Tableau 14 : Évaluation de la charge finale sur le Dalot 2x3x3

| Éléments | CHARGES FINALES (kN/m ²) |
|-----------------|--------------------------------------|
| Tablier | 125,54 |
| Radier | 144,29 |
| Pied droit haut | 6,53 |
| Pied droit bas | 26,33 |

⇒ **Calcul des sollicitations**

Une fois les charges déterminées, les moments de sollicitation ont été calculés en utilisant l'équation des trois moments. Le diagramme des moments est présenté par la figure ci-dessous :

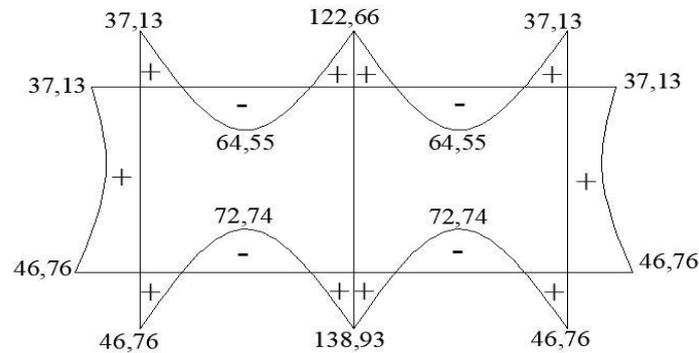


Figure 6: Diagramme des moments

Les moments des sollicitations du diagramme sont récapitulés dans le tableau 15 suivant :

Tableau 15 : Moments des sollicitations

| | | Moment (kN.m) |
|-----------------|-----------------------|---------------|
| Tablier | Travée | 64,55 |
| | Appui central | 122,66 |
| | Appui gauche et droit | 37,13 |
| Radier | Travée | 72,74 |
| | Appui central | 138,93 |
| | Appui gauche et droit | 46,76 |
| Pied droit haut | | 37,13 |
| Pied droit bas | | 46,76 |

⇒ **Calcul des aciers**

Les sections des armatures calculées pour le dalot sont répertoriées dans le tableau 16 ci-dessous.

Tableau 16 : Résultats du calcul des sections d'armatures

| | | Sections calculées pour 1 ml (cm ²) | Armatures principales | Armatures de répartition |
|--------------------|-----------------------|---|-----------------------|--------------------------|
| Tablier | Travée | 14,39 | 8HA16 | HA14 |
| | Appui central | 27,34 | 9HA20 | |
| | Appui gauche et droit | 8,27 | 6HA14 | |
| Radier | Travée | 16,21 | 8HA16 | HA14 |
| | Appui central | 30,96 | 10HA20 | |
| | Appui gauche et droit | 10,42 | 8HA14 | |
| Pied droit central | | 10,4 | 8HA14 | HA10 |
| Pied droit de rive | | 5,75 | 6HA12 | HA10 |

Les calculs détaillés sont fournis dans l'annexe 8, tandis que les plans de ferrailage sont disponibles en annexe 10.

IV.4.2. Dimensionnement structural du mur en aile du Dalot

⇒ **Predimensionnement**

Les dimensions sélectionnées pour les éléments du mur en aile sont synthétisées dans le tableau 17 ci-dessous :

Tableau 17 : Récapitulatif des dimensions du mur en aile

| Éléments | Épaisseurs (cm) | Largeurs (cm) | Longueur du mur (m) |
|----------|-----------------|---------------|---------------------|
| Voile | 30 | - | 5,55 |
| Semelle | 40 | 360 | |
| Patin | - | 80 | |
| Talon | - | 250 | |

⇒ **Évaluation des charges et calcul des sollicitations**

Le mur est exposé aux forces exercées par les terres et aux charges d'utilisation sur le remblai, comme illustré dans la figure 8 ci-dessous :

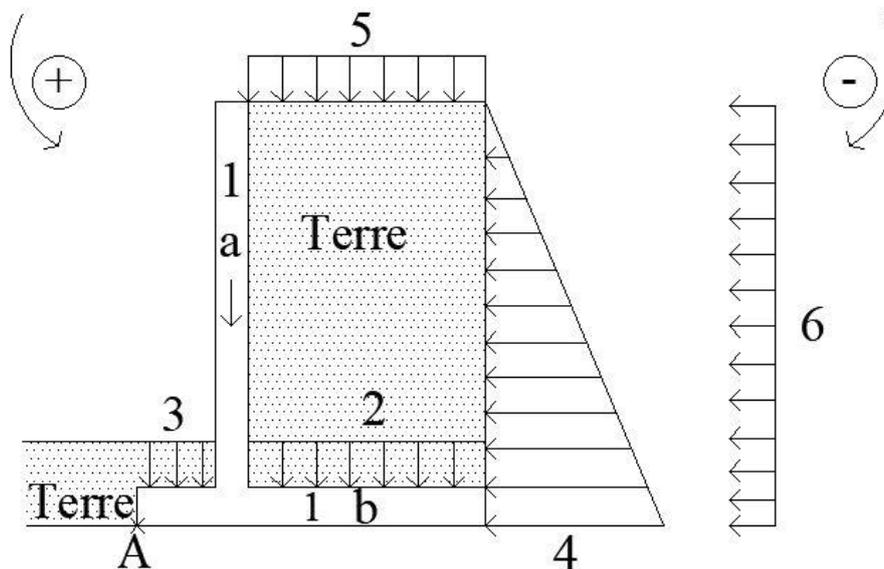


Figure 7 : Charges appliquées sur le mur en aile

Les valeurs des diverses charges appliquées au mur, ainsi que les moments de sollicitation, sont répertoriées dans le tableau 18 ci-dessous :

Tableau 18 : Récapitulatif des actions appliquées au mur

| | | | | ACTIONS HORIZONTALES (kN/ml) | ACTIONS VERTICALES (kN/ml) | BRAS DE LEVIER (m) | M/A (kN.m) |
|--------------------------|--|---|--------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------|------------|
| CHARGES PERMANENTES G | POIDS DU MUR ET DES TERRES | a | Voile | - | 27 | 0,95 | -25,65 |
| | | b | Semelle | - | 36 | 1,8 | -64,8 |
| | | 1 | Mur a+b | - | 63 | | -90,45 |
| | | 2 | Terre Talon | - | 180 | 2,35 | -423 |
| | | 3 | Terre patin | - | 6,4 | 0,4 | -2,56 |
| | | 4 | POUSSÉE DES TERRES | | 52,8 | - | 1,33 |
| CHARGES D'EXPLOITATION Q | CHARGES D'EXPLOITATION | 5 | | - | 25 | 2,35 | -58,75 |
| | POUSSÉE DU A LA SURCHARGE D'EXPLOITATION | 6 | | 13,2 | - | 2 | 26,4 |

⇒ **Vérification de la stabilité du mur**

Avec les dimensions et les charges identifiées, la vérification du mur est effectuée en termes de renversement, de glissement et de poinçonnement. Les résultats de ces vérifications sont consignés dans le tableau 19 ci-dessous :

Tableau 19 : Vérification de la stabilité du mur

| Vérification | Résultats | Observations |
|---------------|--|--------------------|
| Renversement | $f_r = 5,93 > 1,5$ | Condition vérifiée |
| Glissement | $f_g = 1,51 > 1,5$ | Condition vérifiée |
| Poinçonnement | $\sigma_{ref} = 79,92 < \bar{\sigma}_{ser} = 118,46$ | Condition vérifiée |

Suite à la vérification, nous avons confirmé que les dimensions suggérées garantissent un fonctionnement du mur sans aucun risque d'instabilité.

⇒ **Calcul des sections d'aciers**

Les dimensions des armatures calculées pour le mur en aile sont exposées dans le tableau 20 ci-après :

Tableau 20 : Récapitulatif des sections d'aciers du mur en aile

| | Sections calculées pour 1 ml (cm²) | Armatures principales | Armatures de répartition |
|--------------------|--|------------------------------|---------------------------------|
| Voile Face remblai | 20,97 | 2x7HA14 | HA12 |
| Voile Face vue | 3,26 | 4HA12 | HA12 |
| Patin | 4,34 | 5HA12 | HA12 |
| Talon | 5,43 | 5HA12 | HA12 |

IV.5. Dimensionnement de la structure de chaussée

Il est courant dans les pays francophones de désigner par routes en terre par opposition des routes revêtues et aux pistes, celles sur lesquelles une couche de matériaux sélectionnés est mise en place sur une certaine épaisseur. En raison de l'usure des matériaux sous l'effet des trafics, il est nécessaire de recharger la chaussée.

Pour qu'une chaussée en terre puisse remplir efficacement son rôle, plusieurs exigences doivent être satisfaites :

- ⇒ Son épaisseur doit demeurer suffisante pour éviter le poinçonnement de la plate-forme ;
- ⇒ Les matériaux qui la compose doivent présenter des qualités spécifiques : ils doivent avoir une cohésion suffisante pour assurer la liaison des grains en saison sèche, tout en ne contenant pas trop de fines ni être excessivement plastique pour éviter d'être glissant en saison pluvieuse.

Il est également essentiel de procéder à deux calculs distincts : d'une part, déterminer l'épaisseur minimale de matériau nécessaire pour prévenir le poinçonnement du sol de la plate-forme, et d'autre part, en tenant compte de la fréquence anticipée des rechargements, établir la surépaisseur requise pour compenser l'usure des matériaux sous l'effet du trafic.

IV.5.1. Caractéristiques des matériaux d'emprunt

Un cabinet a effectué une étude géotechnique sur les emprunts et a remis un rapport géotechnique à la mission de contrôle. De ce rapport, nous avons extrait les résultats des analyses des matériaux d'emprunts.

Ces résultats sont consignés dans le tableau 21 ci-dessous :

Tableau 21 : Résultats des essais sur les matériaux

| Emprunts | Sondages | Pourcentages de fine (%) | Limite de liquidité (%) | Indice de plasticité (%) | Teneur en eau optimale (%) | Densité sèche optimale (g/cm ³) | CBR à 95% de l'OPM |
|-------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|---|--------------------|
| Emprunt N°1 | Sondage 1(0-50 cm) | 13,5 | 36,7 | 15 | 12,1 | 2,05 | 42 |
| | Sondage 1(50-100 cm) | 14,5 | 38,2 | 14 | 13,8 | 2,00 | 38 |
| | Sondage 2(0-50 cm) | 11,5 | 35,4 | 13 | 11,7 | 2,07 | 43 |
| | Sondage 2(50-100 cm) | 15,5 | 41,8 | 17 | 13,7 | 1,98 | 36 |
| | Sondage 3(0-50 cm) | 11,1 | 34,2 | 14 | 11,1 | 2,06 | 40 |
| | Sondage 3(50-100 cm) | 14 | 39,9 | 13 | 13,4 | 13,4 | 35 |
| Emprunt N°2 | Sondage 1(0-50 cm) | 13,2 | 34,3 | 13 | 11,3 | 2,06 | 42 |
| | Sondage 1(50-100 cm) | 14 | 38,4 | 13 | 13 | 2,03 | 37 |
| | Sondage 2(0-50 cm) | 12,1 | 34,6 | 13 | 11,4 | 2,07 | 41 |
| | Sondage 2(50-100 cm) | 14,5 | 38,3 | 12 | 12,7 | 2,03 | 35 |
| | Sondage 3(0-50 cm) | 11,7 | 34,6 | 13 | 10,9 | 2,05 | 42 |
| | Sondage 3(50-100 cm) | 15,1 | 37,1 | 14 | 12,9 | 1,99 | 35 |

Les matériaux provenant des excavations présentent des indices CBR inférieurs à 80, ils seront donc réservés exclusivement à la couche de fondation. D'autres types de matériaux seront suggérés pour la couche de base.

IV.5.2. Classification du sol de plate-forme

Des investigations ont été menées sur la chaussée existante, mettant en évidence une modification de la nature du sol en place. Un total de 24 sondages a été réalisé, comprenant le prélèvement d'échantillons en vue d'essais en laboratoire. Un aperçu des résultats obtenus est présenté dans le tableau 22 ci-dessous :

Tableau 22 : Résultats d'identification de la plate-forme

| Désignation | Nombre de valeurs | Maximum | Minimum | Moyenne |
|---|-------------------|---------|---------|---------|
| Pourcentages de fine (%) | 24 | 52 | 18 | 48 |
| Limite de liquidité (%) | 24 | 68 | 42 | 51 |
| Indice de plasticité (%) | 24 | 35 | 21 | 29 |
| Teneur en eau optimale (%) | 24 | 17,52 | 9,81 | 14,1 |
| Densité sèche optimale (g/cm ³) | 24 | 2,09 | 1,73 | 1,93 |
| CBR à 95% de l'OPM | 24 | 40 | 33 | 31 |

La moyenne du CBR obtenue sur le tronçon est de 31. D'après le CEBTP, il existe cinq classes de sol support possible décrit dans le tableau 23 ci-dessous :

Tableau 23 : Classification de la portance du sol support

| Classe de sol | CBR |
|---------------|---------------|
| S1 | CBR < 5 |
| S2 | 5 < CBR < 10 |
| S3 | 10 < CBR < 15 |
| S4 | 15 < CBR < 30 |
| S5 | CBR > 30 |

En considérant un CBR moyen de 31 et en prenant en considération la répartition des valeurs de portance, nous choisissons une plate-forme de type S5. Cependant, pour toutes les vérifications de la structure de la chaussée, nous utiliserons le CBR minimum spécifié par le projet pour le sol de la plate-forme, qui est fixé à 15. Cette approche vise à assurer un niveau de sécurité adéquat dans notre processus de dimensionnement.

IV.5.3. Classification du sol de plate-forme

Dans les pays en développement, en l'absence d'informations précises sur l'évolution du trafic, il est courant d'appliquer un taux compris entre 7% et 10%, comme le suggère le « Manuel pour le dimensionnement des chaussées souples en pays tropicaux CEBTP ». En tenant compte de l'évolution démographique et agricole de la région, un taux d'accroissement annuel moyen de 7% a été retenu pour le trafic routier entre 2016 et 2022. Pour les calculs des structures de chaussées, les données utilisées incluent le trafic cumulé et le nombre cumulé d'essieux standards. Le Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA) estimé pour l'année 2022 est de :

$$\text{TMJA} = 25 \text{ PL/jr.}$$

$$\text{Facteur de cumul : } C = 365 \left[\frac{(1+i)^n - 1}{n*i} \right] = 446$$

- i = le taux de croissance annuel pris égale à 8%
- n = la durée de service en nombre d'années pris à 6ans

Trafic cumule

- Coefficient d'Agressivité Moyen : **CAM = 1**
- Trafic poids lourd a la 1ere année : **T= TMJA *(1+i)*n*30% = 9,125 PL**
- Trafic poids lourd cumule : **NPL= 365*25*0,3* $\left[\frac{(1+8\%)^6 - 1}{6*8\%} \right] = 3,20.10^3 \text{ PL}$**
- Nombre d'essieux équivalents de 13t : **NE = 1*2= 29,2. 10.³ PL**

IV.5.4. Classe du trafic

En utilisant la méthode de dimensionnement du CEBTP, nous nous conformons à la classification du trafic établie par le CEBTP, qui catégorise le trafic en cinq classes en fonction du nombre cumulé de poids lourds. La classification du trafic est présentée dans le tableau 24 ci-dessous :

Tableau 24 : Classification du trafic

| Classe de trafic | Nombre cumulé de poids lourds |
|------------------|-------------------------------|
| T1 | $N < 5.10^5$ |
| T2 | $5.10^5 < N < 1,5.10^6$ |
| T3 | $1,5.10^6 < N < 4.10^6$ |
| T4 | $4.10^6 < N < 10^7$ |
| T5 | $10^7 < N < 2.10^7$ |

Dans le cadre de notre projet, aucune étude de trafic n'a été réalisée, et le cahier des charges a spécifié un trafic de classe T1. Étant donné que notre route se situe dans une zone rurale avec peu d'activités commerciales et en prenant en considération le trafic induit, nous avons décidé d'adopter cette catégorie de trafic.

IV.5.5. Calcul de l'épaisseur de la couche de roulement

L'épaisseur de la chaussée dépend du CBR du sol de la plate-forme et du trafic prévu. Étant donné qu'une plasticité du sol est tolérance dimensionnement prend en considération un CBR supérieur à la norme habituellement utilisée.

Pour effectuer cette correction on se réfère au diagramme de l'essai CBR en traçant l'asymptote de la courbe effort-déformation, qui fournit la charge de rupture. Ainsi on obtient le CBR corrigé qui est ensuite utilisé pour déterminer l'épaisseur de la chaussée par la formule de pallier :

$$e = \frac{100 + (75 + 50 \log \frac{N}{10}) \sqrt{P}}{CBR + 5} = \frac{100 + (75 + 50 \log \frac{N}{10}) \sqrt{13}}{31 + 5} = 12,28 \text{ cm}$$

e : épaisseur en cm ;

N : nombre de poids lourds de plus de 3 tonnes par jours ;

P : poids de la roue maximale en tonnes (ou de 2 roues jumelées).

Par souci de praticité la couche de roulement aura une épaisseur équivalente à : e = **15cm**

En se basant sur le répertoire des structures présent dans le Guide Pratique du Dimensionnement des Chaussées pour les zones Tropicales du CEBTP, nous choisissons un sol de classification

S5 associé à un trafic de catégorie T1. Cette structure se compose d'une couche de roulement de 15 cm de graveleux latéritique placée au-dessus d'une couche de forme d'une épaisseur de 30 cm, et d'un remblai dont la hauteur varie, mais est suffisante pour assurer la surélévation de la route par rapport au niveau d'eau.

Tableau 25 : Type de matériaux en fonction des couches

| Couches | Épaisseur (cm) | Nature des matériaux |
|---------------------|----------------|-----------------------|
| Couche de roulement | 15 | Graveleux latéritique |
| Couche de forme | 30 | Graveleux latéritique |

V. Notice d'impact environnemental et social

Les projets de construction de routes ont un impact considérable sur l'environnement, mais ils revêtent une importance cruciale pour le développement local. Ce chapitre se penchera sur les effets positifs et négatifs du projet, proposant ensuite des mesures pour réduire et atténuer ces impacts. L'étude englobe également la manière de gérer et minimiser les nuisances tout au long de la réalisation du projet.

V.1. Cadre législatif, réglementaire et institutionnel ivoirien

La préservation de l'environnement constitue l'un des défis majeurs de notre époque. En Côte d'Ivoire, l'État impose aux acteurs privés ou publics de se conformer à des normes environnementales lorsqu'ils entreprennent des projets susceptibles d'avoir un impact sur leur environnement. Cette politique repose sur cinq textes fondamentaux, à savoir :

- ⇒ Loi n°96-766 du 03 octobre 1996 portant code de l'Environnement ;
- ⇒ Loi n°98-755 du 23 décembre 1998, portant code de l'Eau ;
- ⇒ Décret n°96-894 du 8 novembre 1996 déterminant les règles et procédures applicables aux études relatives à l'impact environnemental des projets de développement ;
- ⇒ Loi n° 2016-886 du 08 novembre 2016 portant Constitution de la Côte d'Ivoire ;
- ⇒ Décret n°2005-03 du 06 janvier 2005 portant audit Environnemental.

L'efficacité de l'évaluation environnementale, considérée comme un outil de développement durable, repose sur les ressources institutionnelles et humaines disponibles dans ce secteur. En Côte d'Ivoire, les principales entités responsables des évaluations environnementales sont :

- ⇒ Le ministère de la Salubrité et du Développement Durable ;
- ⇒ Le ministère de l'Équipement et de l'Entretien Routier ;
- ⇒ Le département des Eaux et Forêts ;
- ⇒ Le département de l'Intérieur et de la Sécurité ;
- ⇒ Le département de la Santé et de l'Hygiène publique.

V.2. Impacts potentiels du projet

Les travaux routiers engendrent divers impacts sur l'environnement et le tissu social, nécessitant une localisation précise et une caractérisation approfondie pour une gestion adéquate. Pour évaluer ces impacts dans notre projet, nous différencierons la phase de construction de celle de l'exploitation.

Tableau 26 : Analyse des impacts du projet

| | Impacts négatifs | Impacts positifs |
|----------------------|---|---|
| Phase d'installation | <ul style="list-style-type: none"> ⇒ La détérioration de l'air résultant de l'émission de particules et de gaz à effet de serre ; ⇒ La réduction de la végétation accompagnée du déclin de diverses espèces de plantes ; ⇒ Le bruit dérangeant provenant des engins de construction tels que les engins de terrassement ou de transport de matériaux ; ⇒ Changements de l'écoulement dans les eaux de surface et souterraines suite aux travaux de nivellement et de remplissage du sol ; ⇒ Altérations du flux de circulation le long du trajet où des travaux de construction sont en cours ; ⇒ La possibilité que le VIH-SIDA se propage en raison de l'arrivée d'un grand nombre de travailleurs. | <ul style="list-style-type: none"> ⇒ Génération d'opportunités d'emploi pour les habitants des zones riveraines grâce au recrutement de nombreux jeunes originaires des villages impliqués ; ⇒ Mise en place d'activités économiques pour générer des revenus (comme la restauration, la vente de produits, etc.) autour du site de construction. |
| Phase d'exploitation | <ul style="list-style-type: none"> ⇒ Nuisance sonore due à la circulation sur la route ; ⇒ Modification de la qualité de l'air provoquée par la circulation ; ⇒ La probabilité d'augmentation des accidents en raison de la circulation fluide. | <ul style="list-style-type: none"> ⇒ Optimisation du déplacement des marchandises et des individus. ⇒ Augmentation des activités telles que le commerce et l'agriculture en raison de la fluidité accrue dans l'écoulement des produits ; ⇒ Optimisation des modalités d'évacuation pour les patients. |

V.3. Mesure d'atténuation

Les principales actions d'atténuation se concentreront principalement sur la planification des travaux et l'aménagement des installations de vie. Les actions à entreprendre par l'entreprise sont les suivantes :

- ⇒ **Installation de chantier** : Les zones de construction seront établies dans des espaces à accès facile, excluant toute utilisation agricole, site archéologique ou religieux. Les quartiers de vie seront positionnés à distance des puits et des cours d'eau pour prévenir toute pollution. Aucun stockage de matériel libérant des substances polluantes ne sera permis à l'intérieur d'une zone de sécurité définie. Les heures de travail seront ajustées pour minimiser les perturbations pour les communautés avoisinantes. La vitesse des engins sera régulée sur les sites, qui seront clairement signalés ;
- ⇒ **Plan de circulation et de déviation** : Un schéma de circulation des engins sera développé pour favoriser la mobilité optimale et l'accessibilité des résidents, avec une adaptation en fonction des différentes phases du projet. Ce plan sera renforcé par l'installation de panneaux de signalisation et d'information, ainsi que par le balisage clair des zones de travail ;
- ⇒ **Mise en place d'un dépôt de carburant et de lubrifiants** : Les réservoirs destinés au stockage des produits hydrocarbonés seront positionnés dans des zones de confinement appropriées afin de prévenir tout déversement ou rupture, réduisant ainsi au minimum les risques d'incendie. Des dispositifs de nettoyage en cas de déversement seront également prévus ;
- ⇒ **Abattage d'arbres et de haies vives** : L'élimination d'arbres dépourvus de valeur écologique particulière le long de la route existante nécessite des autorisations préalables de la Direction de l'Environnement avant toute opération de coupe. Le bois résultant de cette coupe doit être obligatoirement utilisé de manière valorisée. En contrepartie, des plantations et des semis seront réalisés dans la zone de travaux (postérieurement à leur achèvement) en vue d'embellir les espaces urbains. Cette initiative vise à prévenir l'érosion le long des surfaces temporairement dénudées ;
- ⇒ **Déplacement des terres** : Les emplacements destinés à l'extraction (carrière) ou au stockage des excédents seront sélectionnés de manière à éviter tout impact visuel ou danger potentiel. Ils seront restaurés à la fin des travaux ;
- ⇒ **Émission de poussières** : Pour minimiser les émissions de poussière résultant des déplacements d'engins et du transport des matériaux, les responsables du chantier

entreprendront des opérations d'arrosage sur les voies à proximité des zones résidentielles. Il pourrait également être nécessaire d'humidifier temporairement les sites de stockage des remblais ou déblais ;

⇒ **Rejets liquides, risques de pollution des eaux, rejets solides** : Selon les dimensions des sous-chantiers, les effluents issus des installations seront rassemblés et évacués en fonction de leur composition, soit vers une fosse septique étanche, soit vers des systèmes de collecte mobile.

V.4. Plan de gestion environnementale et sociale

Le Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES) implique la planification des mesures de protection et l'identification des responsabilités des différents partenaires pour les mettre en place. Son objectif est de garantir la mise en œuvre effective des améliorations et des mesures d'atténuation proposées. Il englobe également la surveillance et le suivi environnemental.

⇒ **Surveillance environnementale**

La surveillance environnementale et sociale englobe toutes les activités d'inspection, de contrôle et d'intervention visant à garantir le respect de toutes les mesures proposées dans l'étude d'impact. Les environnementalistes, chargés de cette surveillance, ont pour principales missions de :

- Veiller à la mise en œuvre de toutes les mesures d'atténuation générales et spécifiques du projet ;
- Inspecter les travaux et demander les ajustements nécessaires le cas échéant ;
- Rappeler aux entrepreneurs leurs obligations environnementales et s'assurer de leur respect pendant la phase de construction ;
- Rédiger des rapports de survie environnementale tout au long de l'avancement des travaux.

En outre ils pourront assurer la fonction d'intermédiaire entre les populations riveraines et l'entreprise en cas de plaintes.

⇒ **Suivi environnemental**

La précision des mesures d'atténuation proposées permet d'ajuster, de réorienter ou éventuellement d'adapter certaines d'entre elles en fonction des composants du milieu.

L'AGEROUTE est responsable du suivi environnemental, et les indicateurs de suivi sont résumés comme suit :

- Mesure des impacts concrets de la réalisation d'un projet et évaluation de l'efficacité de l'intégration des clauses environnementales dans les dossiers d'exécution ;
- L'utilisation de la main-d'œuvre locale dans la mise en œuvre des activités.

⇒ **Responsabilité de la mise en œuvre**

Il est essentiel d'établir de manière précise les responsabilités des divers intervenants du projet pour assurer une mise en œuvre efficace des mesures recommandées.

Le maître d'ouvrage : Le ministère de l'Équipement et de l'Entretien Routier est chargé de garantir la mise en œuvre conforme des mesures préconisées.

Le maître d'ouvrage délégué : L'AGEROUTE aura pour responsabilité d'apporter un soutien à la mission de afin d'assurer la mise en œuvre selon les normes requises, des mesures environnementales et sociales définies dans le présent rapport, et elle produira des rapports de suivi.

L'entreprise ML HOLDING, en tant que responsable de la réalisation des travaux, mobilisera les ressources humaines, matérielles et financières nécessaires pour garantir la stricte mise en œuvre des mesures énoncées dans le PGES.

VI. Étude financière

Dans cette section, l'objectif principal est d'évaluer initialement toutes les quantités de matériaux ou d'équipements requis pour les travaux du projet. Ensuite, il convient d'estimer les coûts en attribuant un prix unitaire à chaque matériau ou équipement nécessaire pour ce projet spécifique. Le tableau 26 ci-dessous offre une synthèse des coûts associés au projet (voir annexe 11).

Tableau 27 : Évaluation des coûts du projet

| fonction | Désignation | Montant hors TVA (F CFA) |
|----------|--|--------------------------|
| 100 | Installations générales et repli du chantier | 50 000 000 |
| 200 | Travaux préparatoires | 210 060 000 |
| 300 | Terrassement général | 139 560 000 |
| 400 | Chaussée | 70 200 000 |
| 500 | Ouvrages de franchissement | 296 567 100 |
| 600 | Signalisations – Sécurité | 13 520 000 |
| 700 | Mesures environnementales et sociales | 14 500 000 |
| | Total hors taxe | 794 407 100 |
| | Montant de la TVA 18% | 142 993 278 |
| | Montant TTC | 937 400 378 |

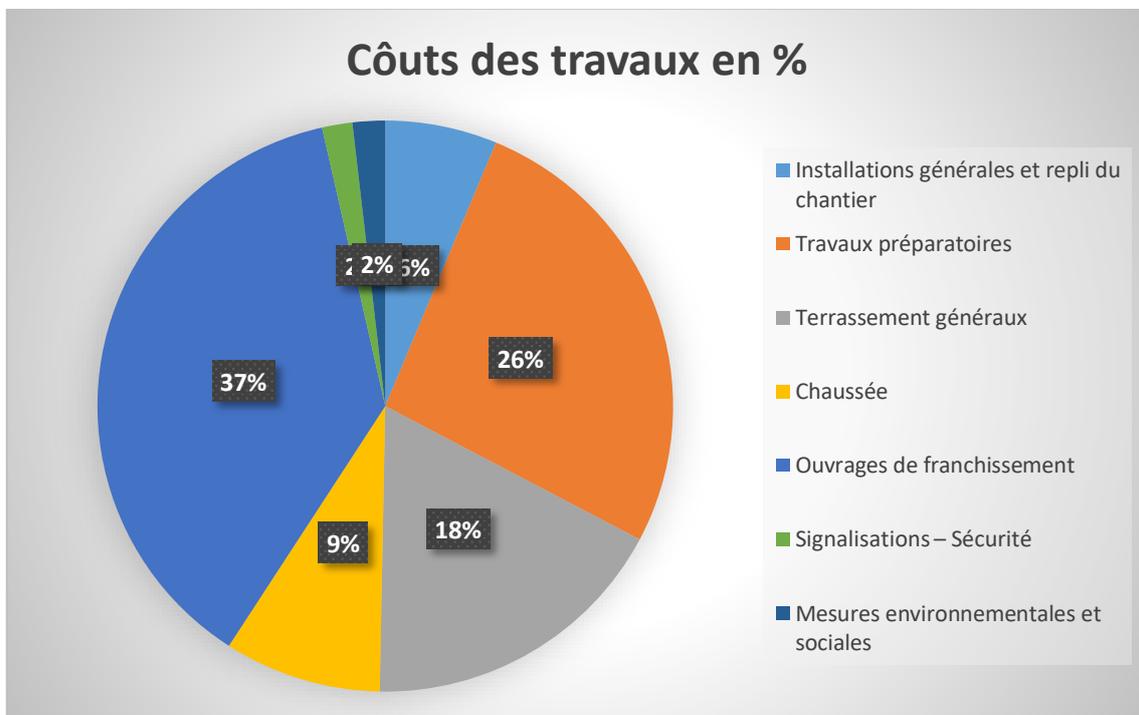


Figure 8 : Proportion (%) des Travaux

CONCLUSION

L'objectif principal de cette étude était de présenter des solutions techniques relatives à la chaussée et aux ouvrages hydrauliques pour le développement du tronçon Kaouara - Nambingue. Plusieurs aspects ont été examinés, comprenant le dimensionnement de la chaussée, les études hydrologiques et hydrauliques, ainsi que le dimensionnement structural des ouvrages.

Par conséquent, parmi les deux options de chaussée proposées par la méthode CEBTP, une variante a été sélectionnée à la suite d'une analyse multicritère prenant en compte la disponibilité des matériaux, la facilité de mise en œuvre et les coûts. L'ajustement de cette variante a conduit à retenir, une couche de forme en graveleux latéritique de 30cm et une couche de roulement en graveleux latéritique de 15 cm.

Les analyses hydrologiques effectuées avec une période de retour de 20 ans ont conduit à la conception de 6 dalots. Les approches hydrauliques ont ensuite permis de déterminer les dimensions optimales de ces structures, suivies d'un dimensionnement structural pour l'élaboration des plans essentiels à leur construction.

La finalisation de ce projet jusqu'à sa conclusion positionnera KAOUARA-NAMBINGUE en tant que nouveau pôle économique dans la région de Ouangolodougou. Toutefois, pour garantir la durabilité de cette route, il est impératif que l'État respecte les périodes d'entretien et sensibilise les populations aux activités susceptibles de porter atteinte à son intégrité.

À la suite des travaux effectués, nous formulons quelques recommandations, notamment :

- ⇒ Planifier la campagne de reconnaissance du sol de manière à ce que les sondages géotechniques soient réalisés à des espacements uniformes de 250 à 300 mètres;
- ⇒ Amender la politique de confidentialité de l'entreprise afin de faciliter l'accès à certaines données par le stagiaire.

BIBLIOGRAPHIE

- ◆ *Adamah MESSAN, deuxième partie sur l'hydraulique routière : conception et dimensionnement des petits ouvrages de franchissement routier, dispensée à l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement à Ouagadougou en 2016.*
- ◆ *Angelbert Chabi BIAOU, enseignement sur le calcul et conception des ouvrages hydrauliques, dispensé à l'Institut International d'ingénierie de l'eau et de l'environnement, Ouagadougou, 2015.*
- ◆ *CEBTP, Guide pratique pour le dimensionnement des chaussées destiné aux pays tropicaux, publié par le ministère de la Coopération de la République française en 1980 de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, ministère de la Coopération de la République française, 1980,*
- ◆ *Manuel sur les Crues et les Apports : Guide pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels dans les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche, élaboré par le CIEH, l'ORSTOM, le CEMAGREF, la FAO en 1996, etc.*
- ◆ *CIEH, ORSTOM et CEMAGREF, Guide pour l'évaluation des crues décennales et des apports annuels dans les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche, publié par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture en 1998..*
- ◆ *Fascicule n°61 sur la conception, le calcul et les tests des ouvrages d'art : Titre II - Programmes de charges et essais pour les ponts-routes, publié par le ministère de l'Équipement et du Logement de la République française en 1999. Jean-Marie Husson, Étude des structures en béton armé BAEL, 91 mod 99, castilla, 2002, page 236.*
- ◆ *Le Khac et A.L. Millan (1992), pont-cadre et portique : Guide de conception, Centre Techniques d'Ouvrages d'Art du SETRA.*
- ◆ *TIROGO Justine Marie, «Étude technico-économique de la sélection du niveau de crue pour la conception des infrastructures hydrauliques routières.», Mémoire de Master, Institut International d'ingénierie de l'eau et de l'environnement, Ouagadougou, 2008.*

TABLE DES ANNEXES

| | |
|--|-------|
| ANNEXE 1 : CARACTÉRISTIQUES DES BASSINS VERSANTS..... | III |
| ANNEXE 2 : SYNTHÈSE DU CALCUL DES DÉBITS PROJETS | XII |
| ANNEXE 3 : ABAQUE DE DÉTERMINATION DE LA PROFONDEUR AMONT DU DALOT | XIV |
| ANNEXE 4 : ABAQUE DE DÉTERMINATION DE LA PENTE CRITIQUE D'UN DALOT . | XV |
| ANNEXE 5 : ABAQUE DE DÉTERMINATION DE LA VITESSE D'UN DALOT | XVI |
| ANNEXE 6 : CALCUL DU CADRE DU DALOT DE TYPE E..... | XVII |
| ANNEXE 7 : CALCUL DU MUR EN AILE DU DALOT DE TYPE E..... | XXXI |
| ANNEXE 8 : VUE EN PLAN DU DALOT | XXXIX |
| ANNEXE 9 : PROFIL DES AXES DE LA VOIE..... | XLI |
| ANNEXE 10 : COUPE TRANSVERSALE ET PLAN DE FERRAILLAGE | XLVII |
| ANNEXE 11 : PROFIL EN TRAVERS | LIII |
| ANNEXE 12 : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF | LVI |

ANNEXE 1 : CARACTÉRISTIQUES DES BASSINS VERSANTS

- Bassin versant 1

Figure 9 : Carte du BV1

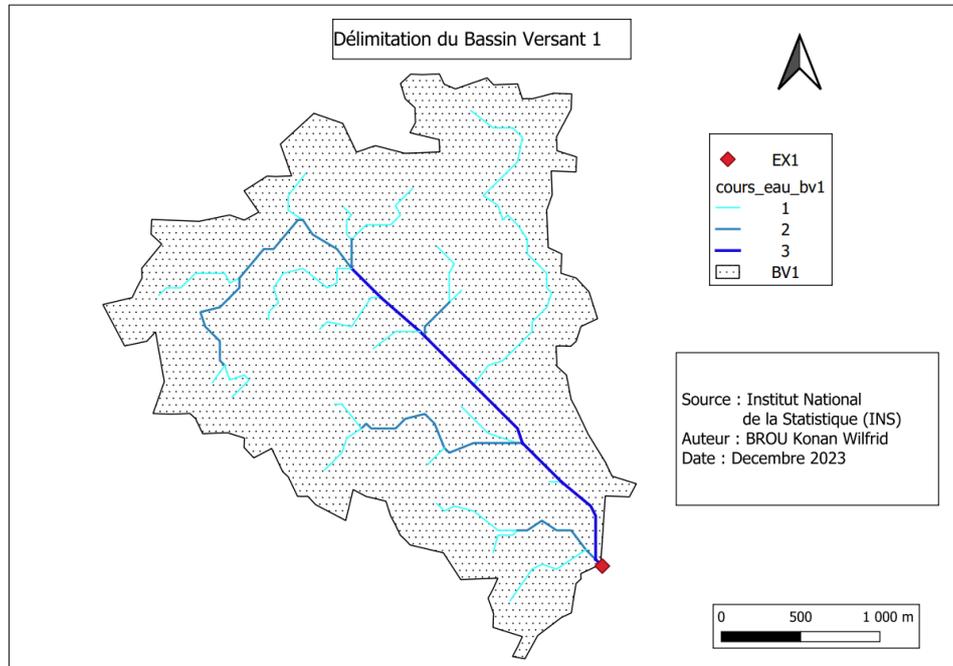


Tableau 28 : Caractéristiques du bassin versant 1

| Paramètres | Symbole | Valeurs | Unités |
|----------------------------------|------------------------|---------|-----------------|
| Périmètre | P | 14,93 | km |
| Surface | S | 6,53 | km ² |
| Pente transversale | It | 0,75 | m/km |
| Indice de compacité | Kg | 1,65 | |
| Forme du bassin versant | Bassin versant allongé | | |
| Longueur du rectangle équivalent | Leq | 6,45 | km |
| Altitude maximale | Hmax | 354 | m |
| Altitude minimale | Hmin | 309 | m |
| Pente moyenne | Imoy | 4,56 | % |
| Indice global de pente | Ig | 5,579 | m/km |
| Indice global de pente corrigé | Ig corr | 3,969 | m/km |
| Indice global de pente retenu | It ret | 3,969 | m/km |

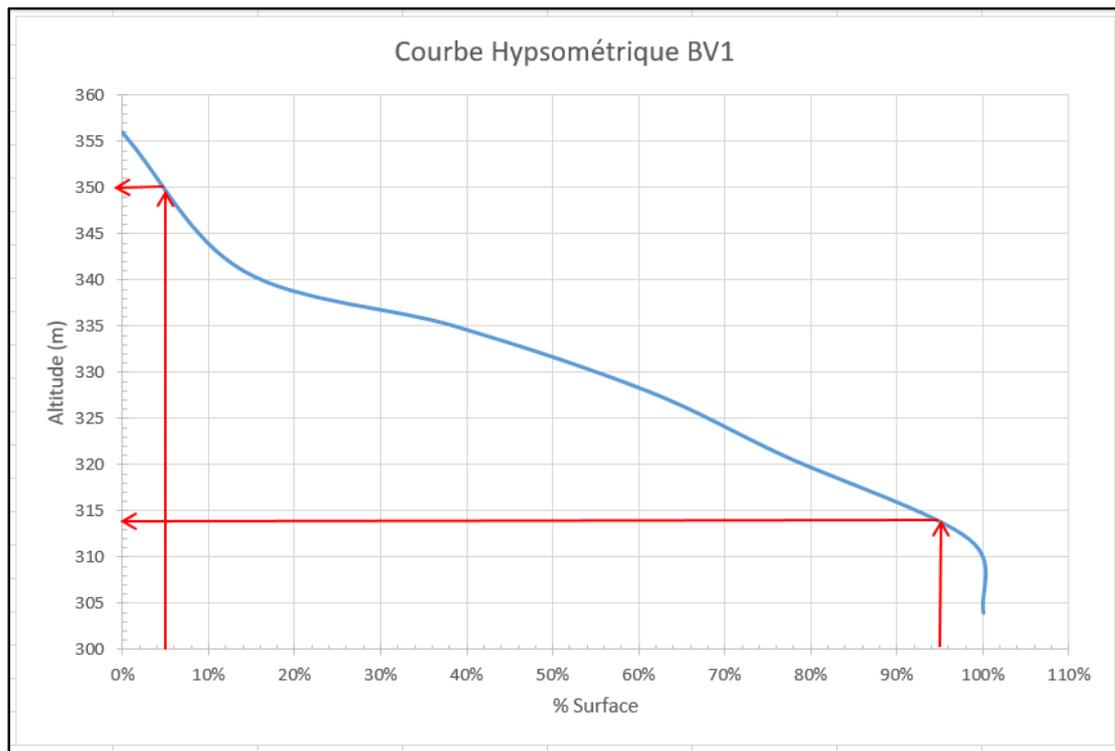
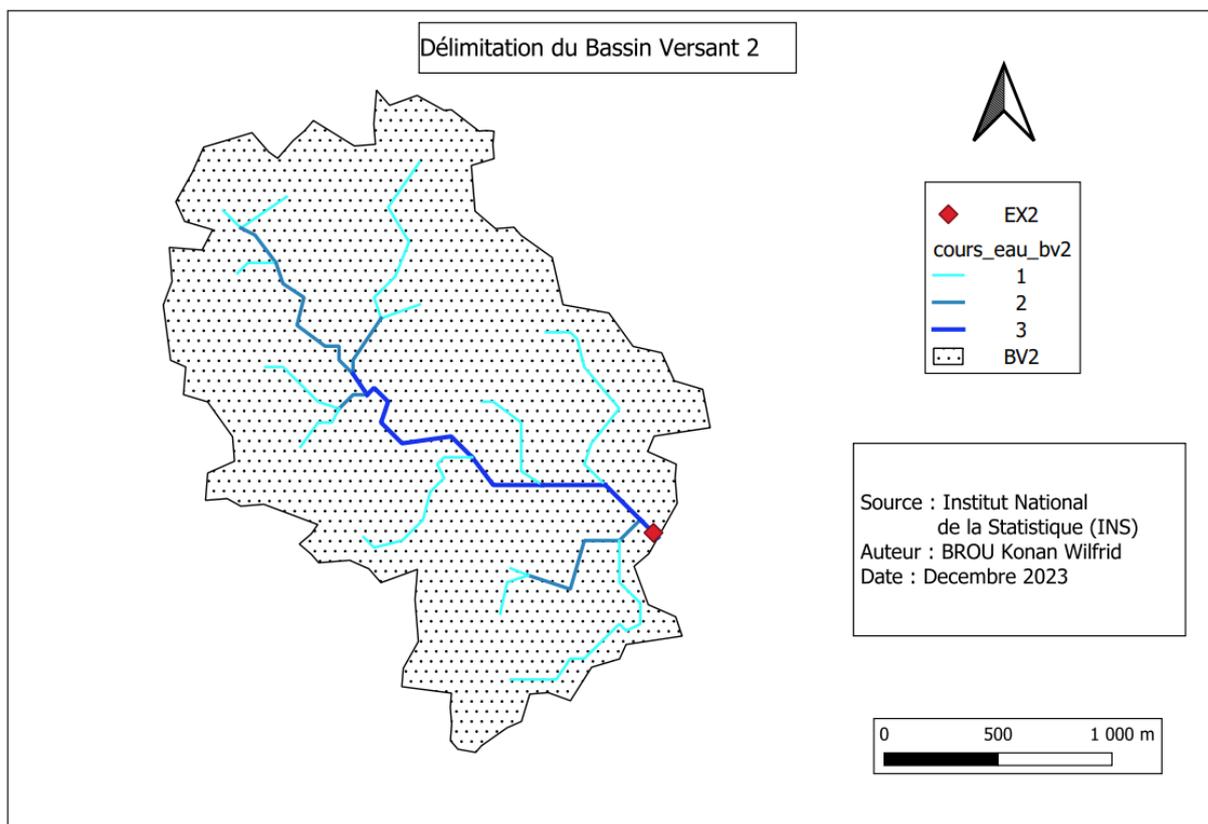


Figure 10 : Courbe hypsométrique du BV1

- Bassin versant 2

Figure 11 : Carte du BV2



Étude des travaux de reprofilage d'une route en terre et dimensionnement des ouvrages hydrauliques dans le cadre du programme d'entretien routier : Axe KAOUARA-NAMBINQUE

Tableau 29 : Caractéristiques du bassin versant 2

| Paramètres | Symbole | Valeurs | Unités |
|----------------------------------|------------------------|---------|-----------------|
| Périmètre | P | 10,78 | km |
| Surface | S | 3,98 | km ² |
| Pente transversale | It | 1,55 | m/km |
| Indice de compacité | Kg | 1,52 | |
| Forme du bassin versant | Bassin versant allongé | | |
| Longueur du rectangle équivalent | Leq | 4,51 | km |
| Altitude maximale | Hmax | 356 | m |
| Altitude minimale | Hmin | 304 | m |
| Pente moyenne | Imoy | 4,69 | % |
| Indice global de pente | Ig | 7,322 | m/km |
| Indice global de pente corrigé | Ig corr | 4,436 | m/km |
| Indice global de pente retenu | It ret | 4,436 | m/km |

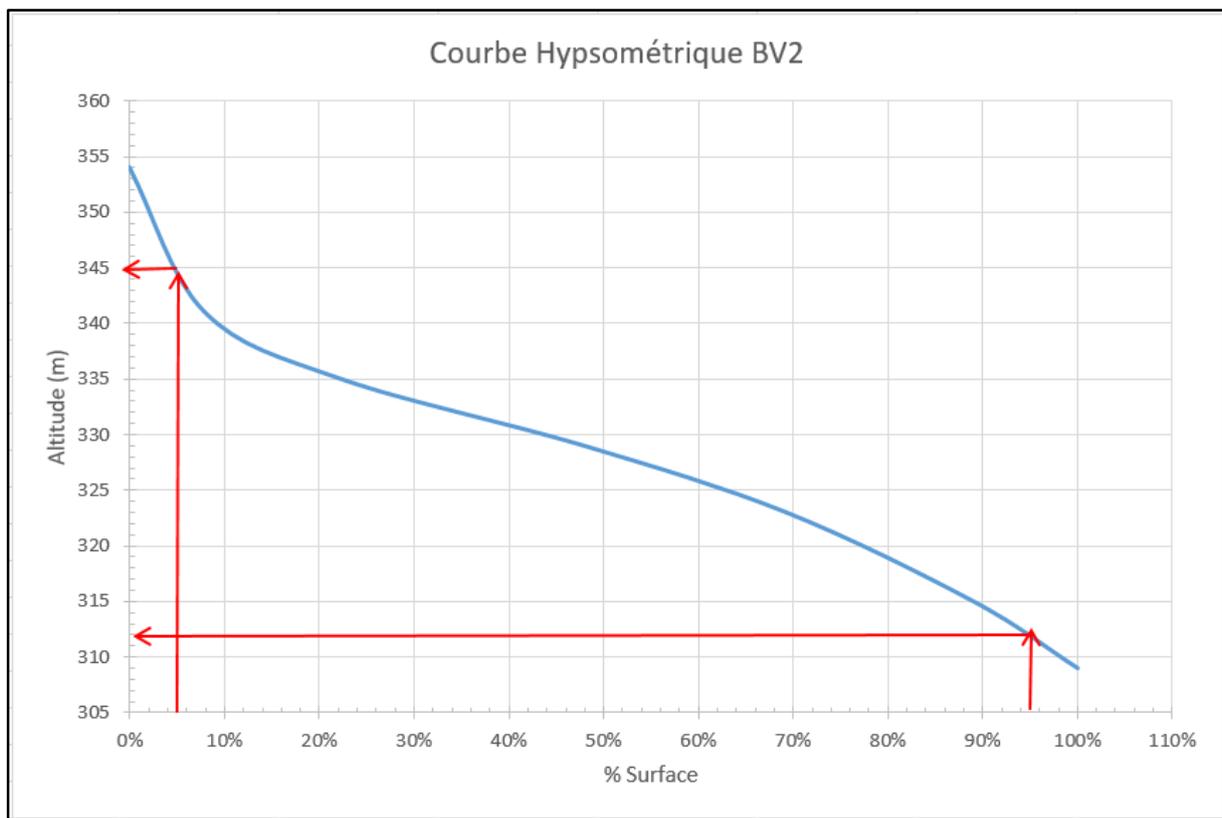


Figure 12 : Courbe hypsométrique du BV2

- Bassin versant 3

Figure 13 : Carte du BV3

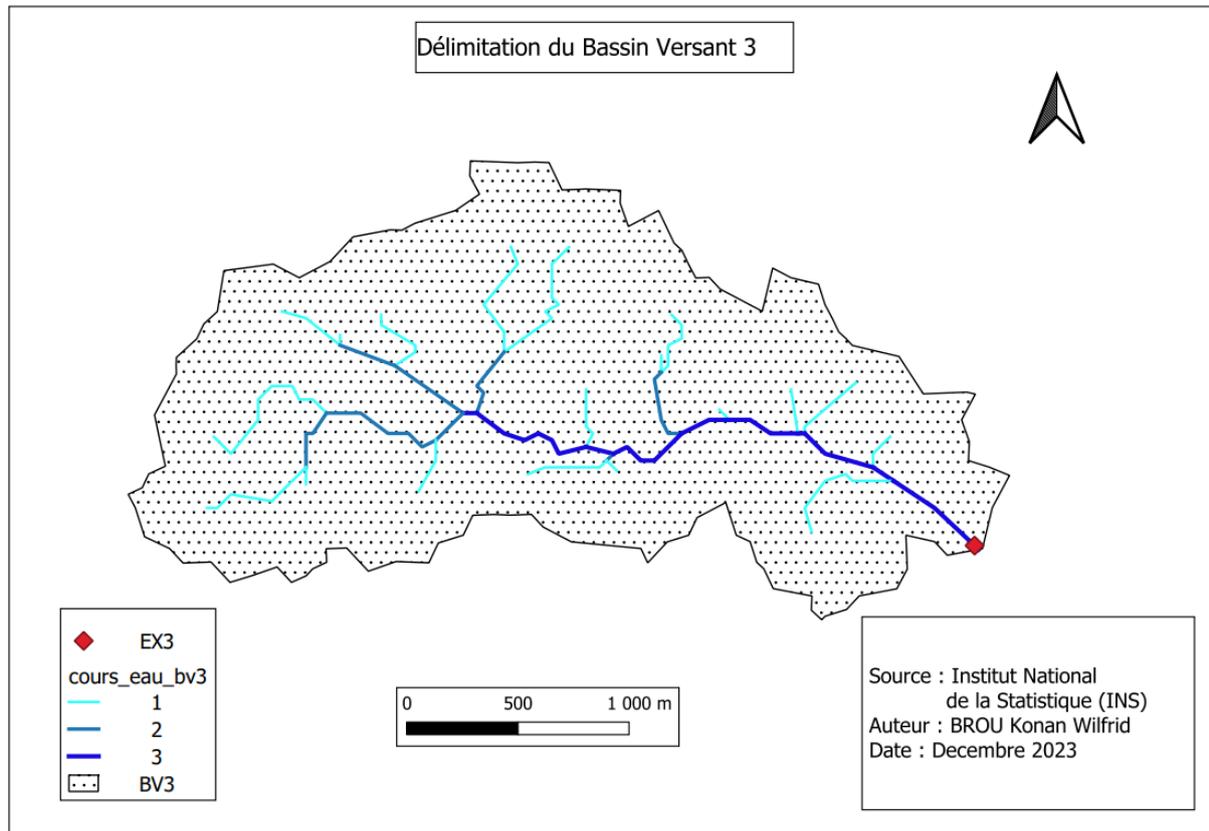


Tableau 30 : Caractéristiques du bassin versant 3

| Paramètres | Symbole | Valeurs | Unités |
|----------------------------------|------------------------|---------|-----------------|
| Périmètre | P | 11,91 | km |
| Surface | S | 4,87 | km ² |
| Pente transversale | It | 1,275 | m/km |
| Indice de compacité | Kg | 1,52 | |
| Forme du bassin versant | Bassin versant allongé | | |
| Longueur du rectangle équivalent | Leq | 4,98 | km |
| Altitude maximale | Hmax | 354 | m |
| Altitude minimale | Hmin | 308 | m |
| Pente moyenne | Imoy | 5,14 | % |
| Indice global de pente | Ig | 6,933 | m/km |
| Indice global de pente corrigé | Ig corr | 4,104 | m/km |
| Indice global de pente retenu | It ret | 4,104 | m/km |

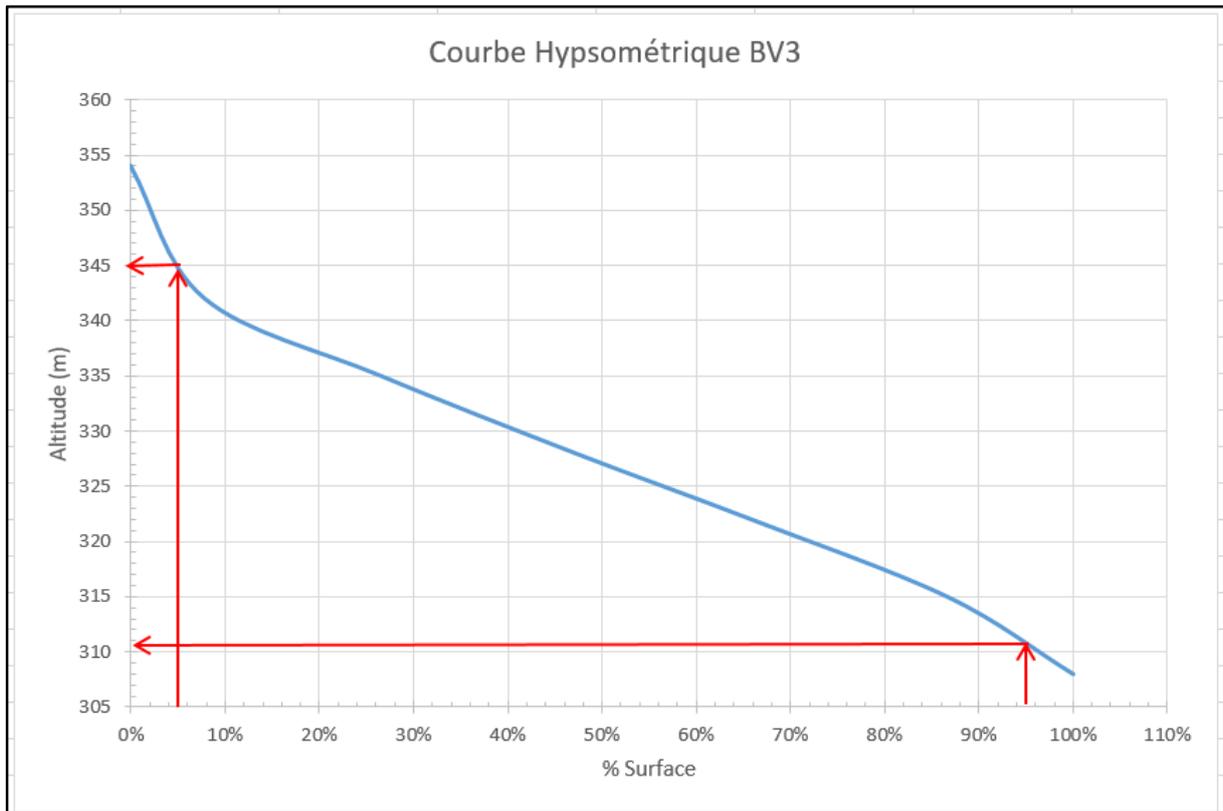


Figure 14 : Courbe hypsométrique du BV3

- Bassin versant 4

Figure 15 : Carte du BV4

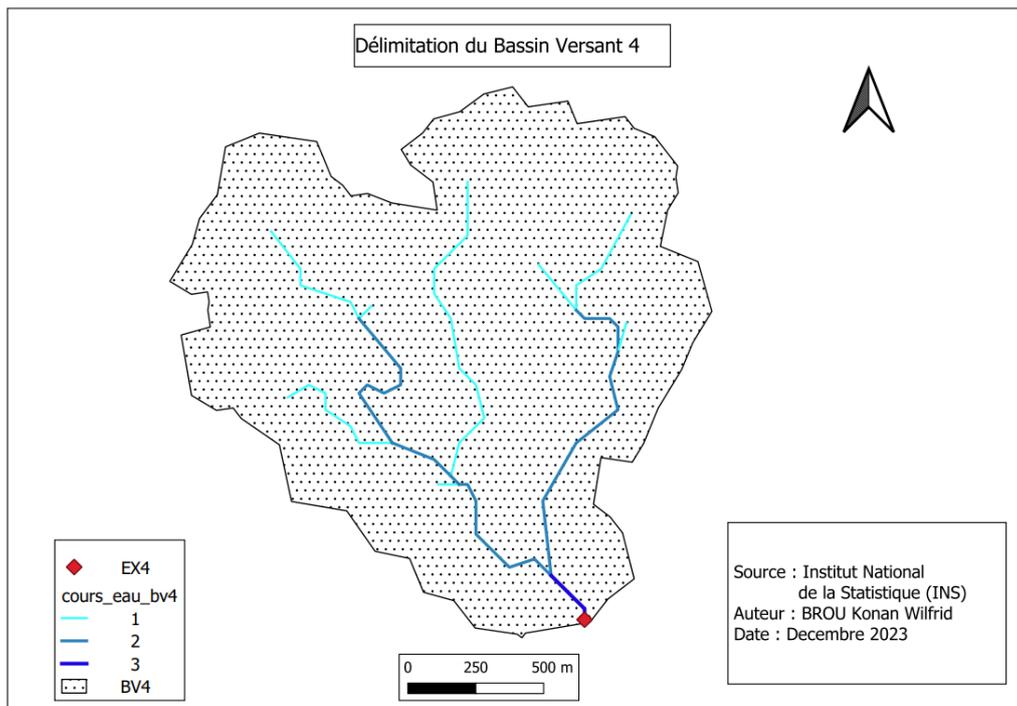


Tableau 31 : Caractéristiques du bassin versant 4

| Paramètres | Symbole | Valeurs | Unités |
|----------------------------------|------------------------|---------|-----------------|
| Périmètre | P | 7,72 | km |
| Surface | S | 2,61 | km ² |
| Pente transversale | It | 0,45 | m/km |
| Indice de compacité | Kg | 1,35 | |
| Forme du bassin versant | Bassin versant allongé | | |
| Longueur du rectangle équivalent | Leq | 2,99 | km |
| Altitude maximale | Hmax | 360 | m |
| Altitude minimale | Hmin | 306 | m |
| Pente moyenne | Imoy | 5,23 | % |
| Indice global de pente | Ig | 12,727 | m/km |
| Indice global de pente corrigé | Ig corr | 6,588 | m/km |
| Indice global de pente retenu | It ret | 6,588 | m/km |

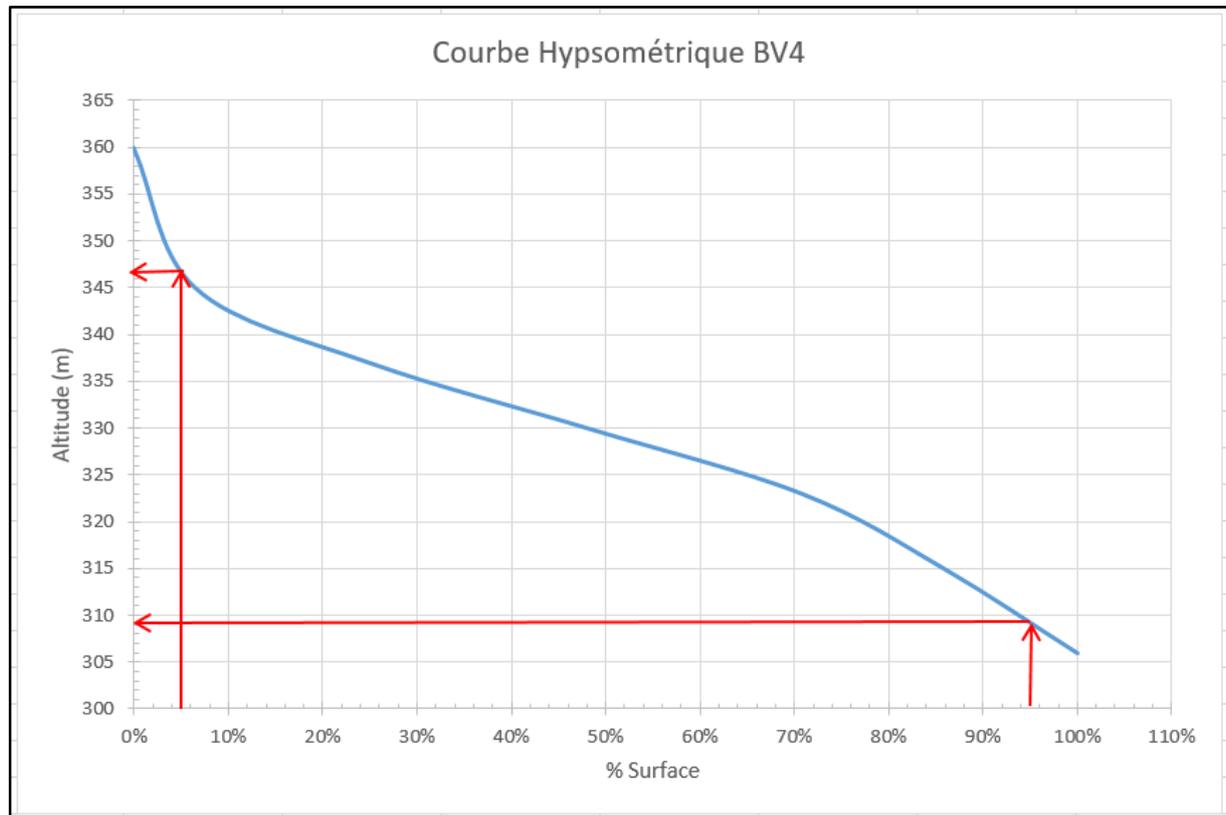


Figure 16 : Courbe hypsométrique du BV4

- Bassin versant 5

Figure 17 : Carte du BV5

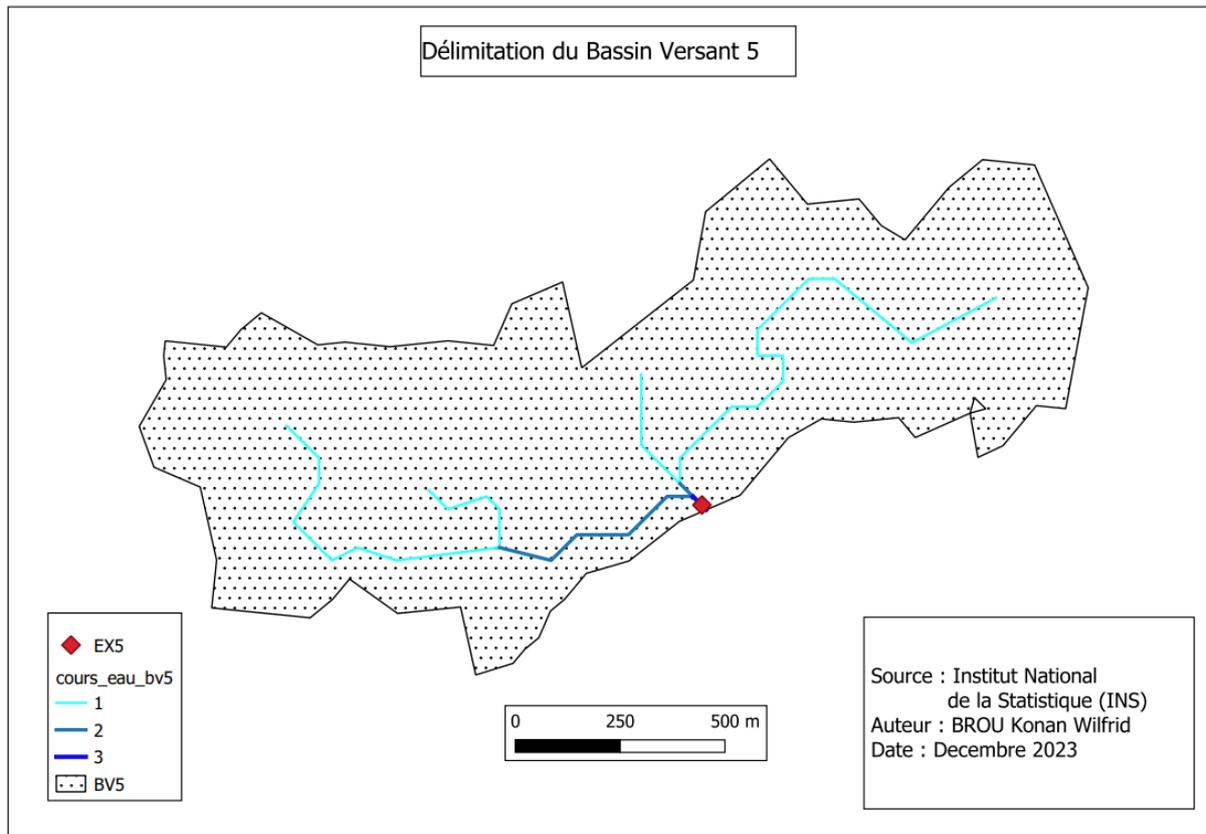


Tableau 32 : Caractéristiques du bassin versant 5

| Paramètres | Symbole | Valeurs | Unités |
|----------------------------------|------------------------|---------|-----------------|
| Périmètre | P | 6,94 | km |
| Surface | S | 1,34 | km ² |
| Pente transversale | It | 0,45 | m/km |
| Indice de compacité | Kg | 1,69 | |
| Forme du bassin versant | Bassin versant allongé | | |
| Longueur du rectangle équivalent | Leq | 3,03 | km |
| Altitude maximale | Hmax | 353 | m |
| Altitude minimale | Hmin | 315 | m |
| Pente moyenne | Imoy | 6,90 | % |
| Indice global de pente | Ig | 7,597 | m/km |
| Indice global de pente corrigé | Ig corr | 4,024 | m/km |
| Indice global de pente retenu | It ret | 4,024 | m/km |

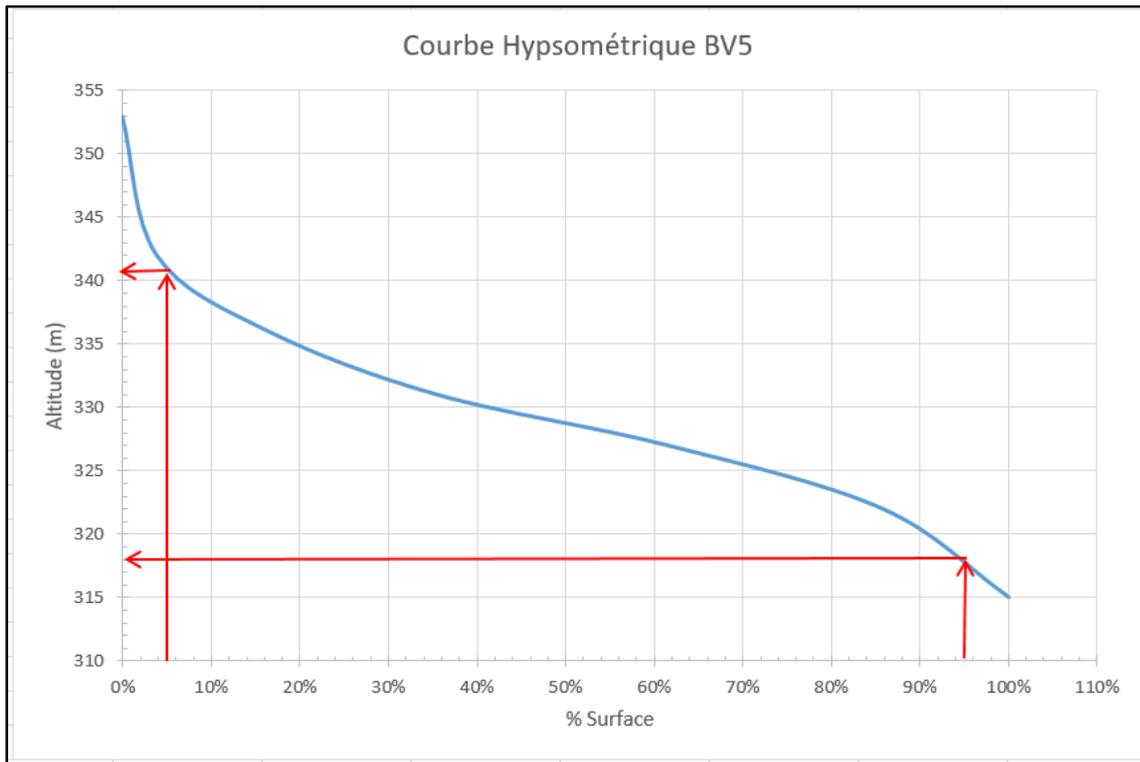


Figure 18 : Courbe hypsométrique du BV5

- Bassin versant 6

Figure 19 : Carte du BV6

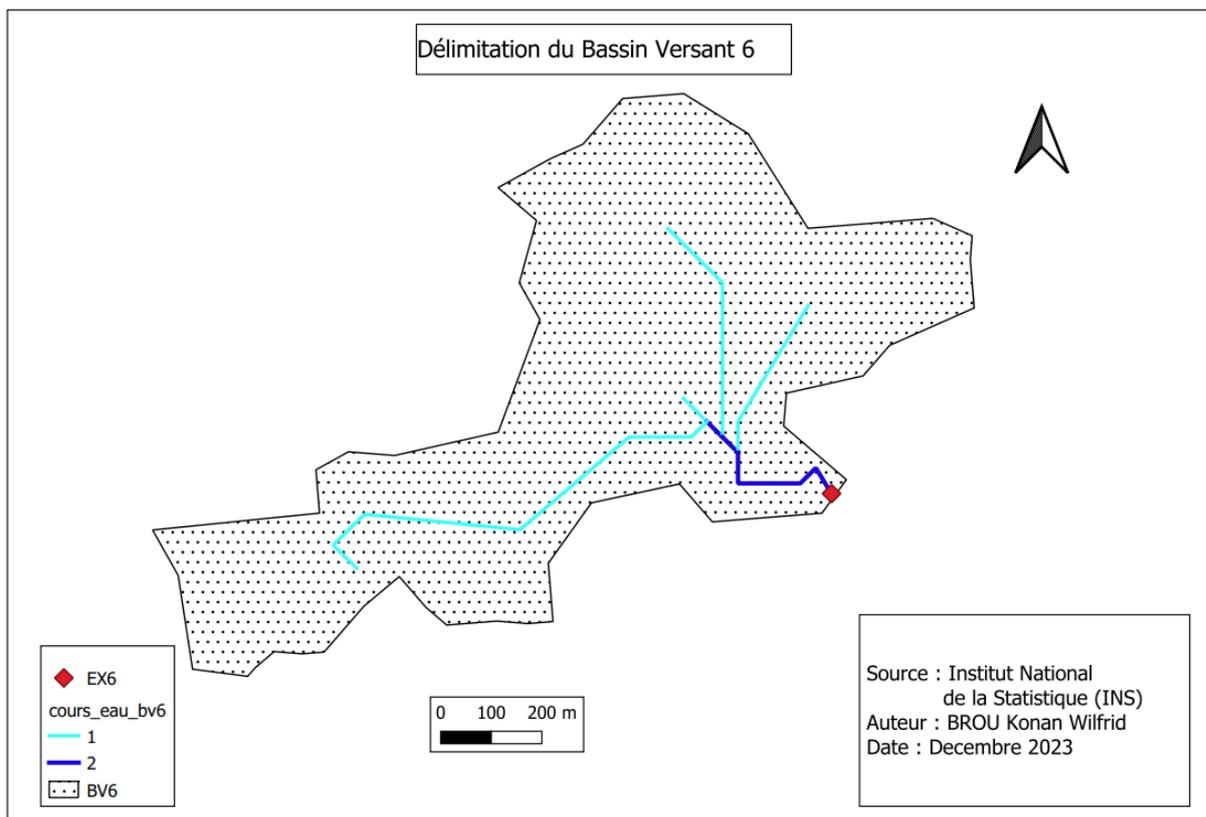


Tableau 33 : Caractéristiques du bassin versant 6

| Paramètres | Symbole | Valeurs | Unités |
|----------------------------------|------------------------|---------|-----------------|
| Périmètre | P | 5,25 | km |
| Surface | S | 0,73 | km ² |
| Pente transversale | It | 0,525 | m/km |
| Indice de compacité | Kg | 1,73 | |
| Forme du bassin versant | Bassin versant allongé | | |
| Longueur du rectangle équivalent | Leq | 2,31 | km |
| Altitude maximale | Hmax | 348 | m |
| Altitude minimale | Hmin | 317 | m |
| Pente moyenne | Imoy | 4,33 | % |
| Indice global de pente | Ig | 9,096 | m/km |
| Indice global de pente corrigé | Ig corr | 4,810 | m/km |
| Indice global de pente retenu | It ret | 4,810 | m/km |

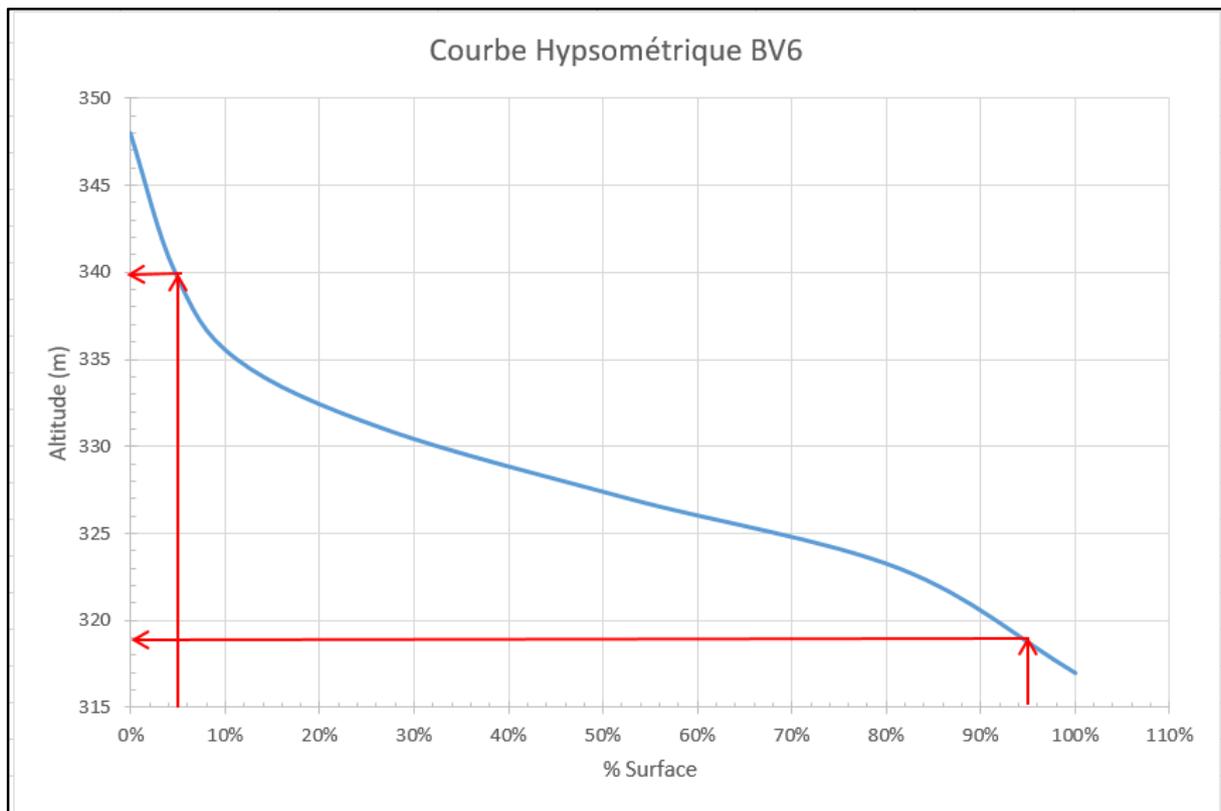


Figure 20 : Courbe hypsométrique du BV6

ANNEXE 2 : SYNTHÈSE DU CALCUL DES DÉBITS PROJETS

⇒ Méthode rationnelle

Tableau 34 : Débits méthode rationnelle

| BV | Surface (km ²) | Pente (%) | Longueur hydraulique (m) | Tps de concentration (min) | Intensité (mm/h) | Coefficient de ruissellement | Q10 (m ³ /s) | Q20 (m ³ /s) |
|-----|----------------------------|-----------|--------------------------|----------------------------|------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| BV4 | 2,61 | 0,05 | 2713,3 | 26,7 | 2,3 | 0,7 | 1,19 | 1,34 |
| BV5 | 1,34 | 0,07 | 2710,0 | 24,0 | 2,5 | 0,7 | 0,64 | 1,14 |
| BV6 | 0,73 | 0,04 | 1280,0 | 16,10 | 3,0 | 0,7 | 0,43 | 0,49 |

⇒ Méthode ORSTOM

Tableau 35 : Débits méthode ORSTOM

| BV | Surface (km ²) | Pluie journalière décennale (mm) | Coefficient Kr10 (%) | Tps de base TB10 (min) | Débit max de ruissellement Qr10 (m ³ /s) | Coefficient de Gradex | Q10 (m ³ /s) | Q20 (m ³ /s) |
|-----|----------------------------|----------------------------------|----------------------|------------------------|---|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| BV1 | 6,53 | 7 | 85,01 | 688,79 | 2,56 | 1,16 | 2,64 | 3,07 |
| BV2 | 3,98 | 7 | 76,12 | 558,84 | 1,79 | 1,18 | 1,84 | 2,17 |
| BV3 | 4,87 | 7 | 87,93 | 622,17 | 0,86 | 1,16 | 2,30 | 2,66 |

⇒ Méthode CIEH

Tableau 36 : Débits méthode CIEH BV1

| BV 1; S= 6,53 km ² Pm10 = 7 mm ; Kr10= 85,01 % | | | | | | |
|--|-------------|---------|------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Exposants des paramètres de l'équation | | | | | | |
| Équation N° | Constante à | Surface | Indice global de pente | Pluie moyenne décennale Pm10 | Coefficient de ruissellement Kr10 | Q10 (m ³ /s) |
| 34 | 4,83 | 0,562 | | | | 16,64 |
| 35 | 2,29 | 0,651 | 0,216 | | | 12,56 |
| 36 | 0,000114 | 0,645 | | 2,149 | | 0,02 |
| 37 | 0,38 | 0,586 | | | 0,805 | 48,95 |
| 38 | 0,275 | 0,618 | 0,099 | | 0,798 | 41,79 |
| DÉBIT RETENU | | | | | | 23,99 |

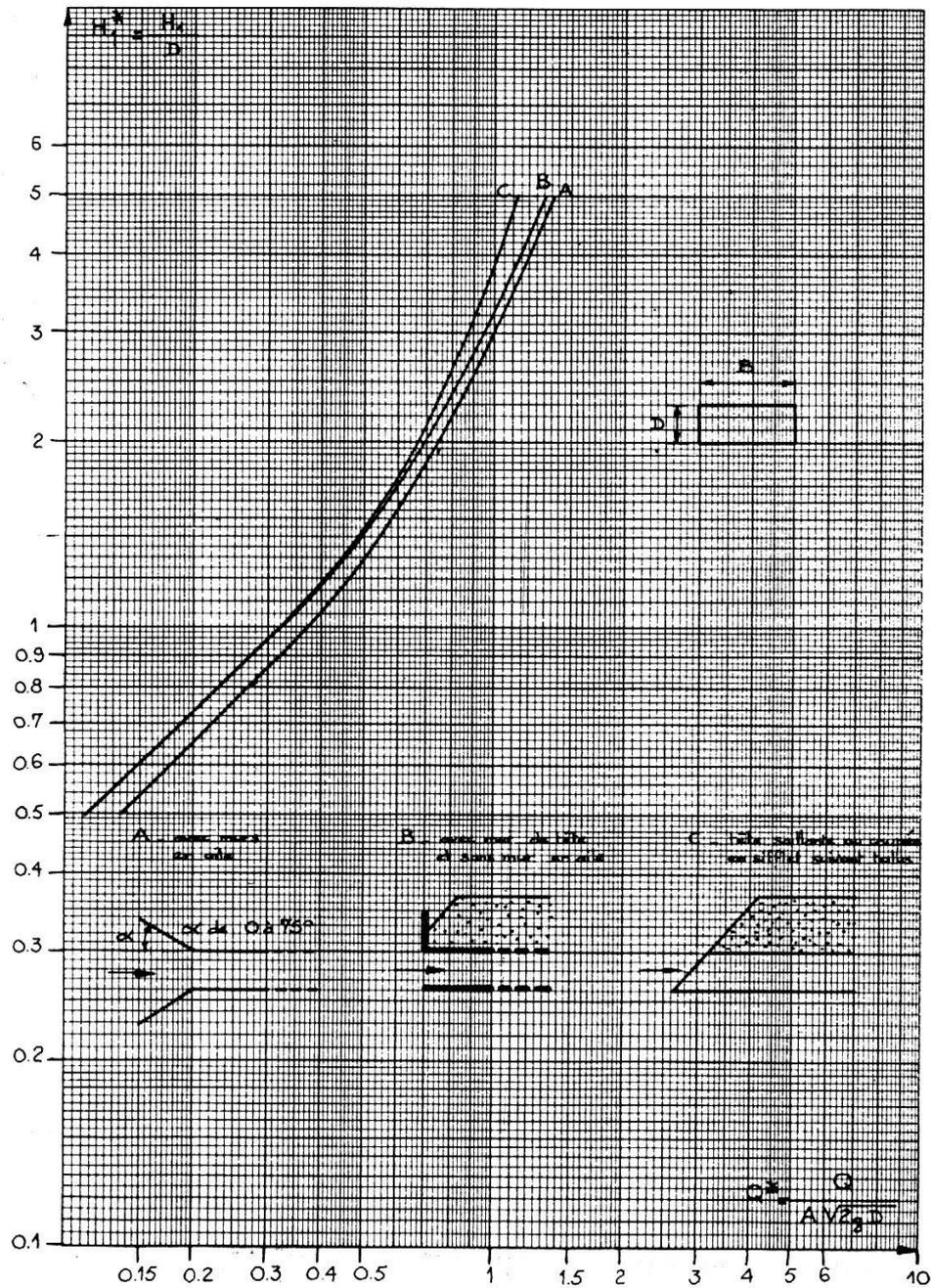
Tableau 37 : Débit méthode CIEH BV2

| BV 2 ; S= 3,98 km ² Pm10 = 7 mm ; Kr10= 76,12 % | | | | | | |
|---|-------------|---------|------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Exposants des paramètres de l'équation | | | | | | |
| Équation N° | Constante à | Surface | Indice global de pente | Pluie moyenne décennale Pm10 | Coefficient de ruissellement Kr10 | Q10 (m ³ /s) |
| 34 | 4,83 | 0,562 | | | | 12,60 |
| 35 | 2,29 | 0,651 | 0,216 | | | 9,32 |
| 36 | 0,000114 | 0,645 | | 2,149 | | 0,02 |
| 37 | 0,38 | 0,586 | | | 0,805 | 33,51 |
| 38 | 0,275 | 0,618 | 0,099 | | 0,798 | 28,49 |
| DÉBIT RETENU | | | | | | 16,79 |

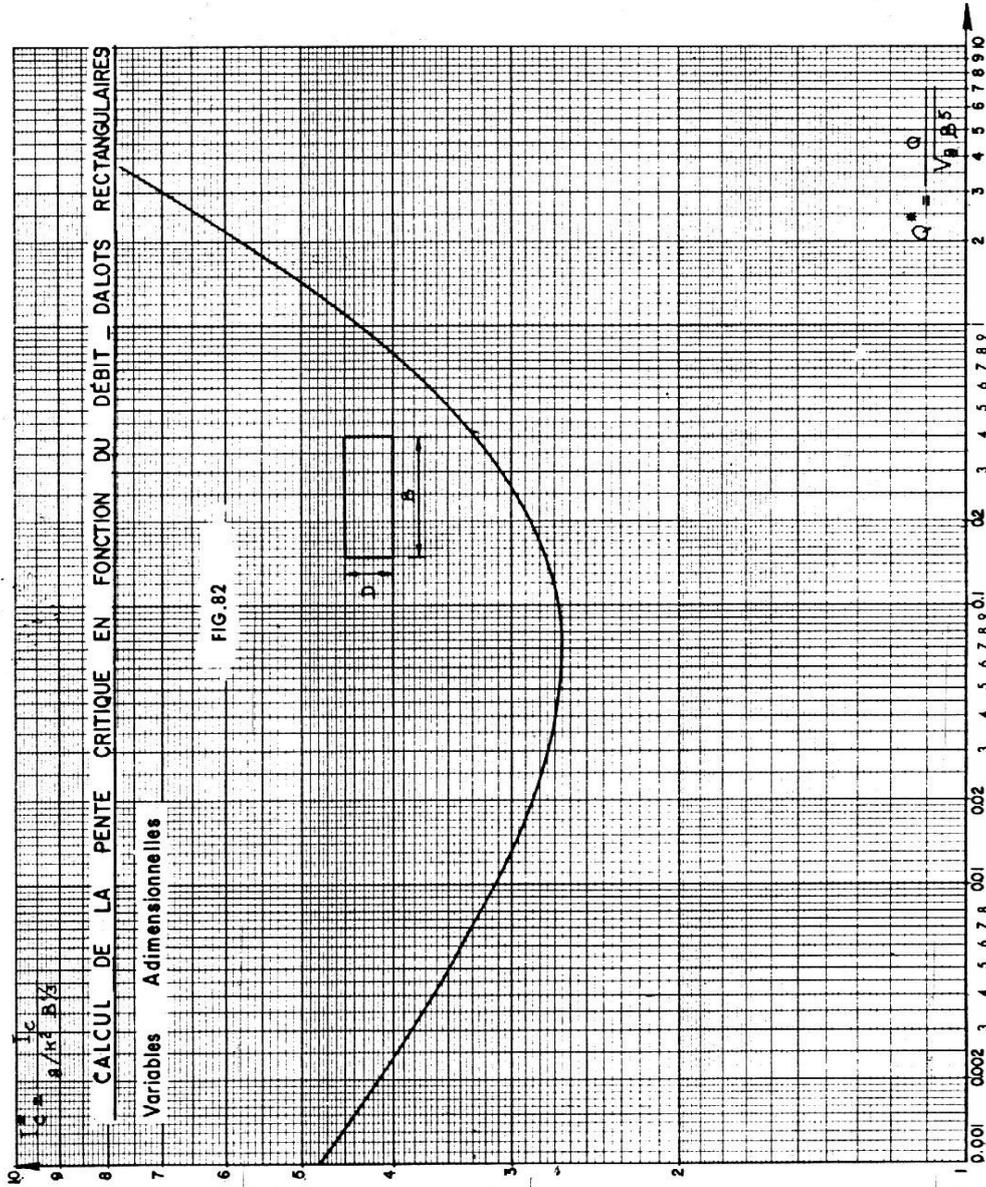
Tableau 38 : Débit méthode CIEH BV3

| BV 3 ; S= 4,87 km ² Pm10 = 7 mm ; Kr10= 87,93 % | | | | | | |
|---|-------------|---------|------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Exposants des paramètres de l'équation | | | | | | |
| Équation N° | Constante à | Surface | Indice global de pente | Pluie moyenne décennale Pm10 | Coefficient de ruissellement Kr10 | Q10 (m ³ /s) |
| 34 | 4,83 | 0,562 | | | | 14,11 |
| 35 | 2,29 | 0,651 | 0,216 | | | 10,45 |
| 36 | 0,000114 | 0,645 | | 2,149 | | 0,02 |
| 37 | 0,38 | 0,586 | | | 0,805 | 42,35 |
| 38 | 0,275 | 0,618 | 0,099 | | 0,798 | 35,94 |
| DÉBIT RETENU | | | | | | 20,57 |

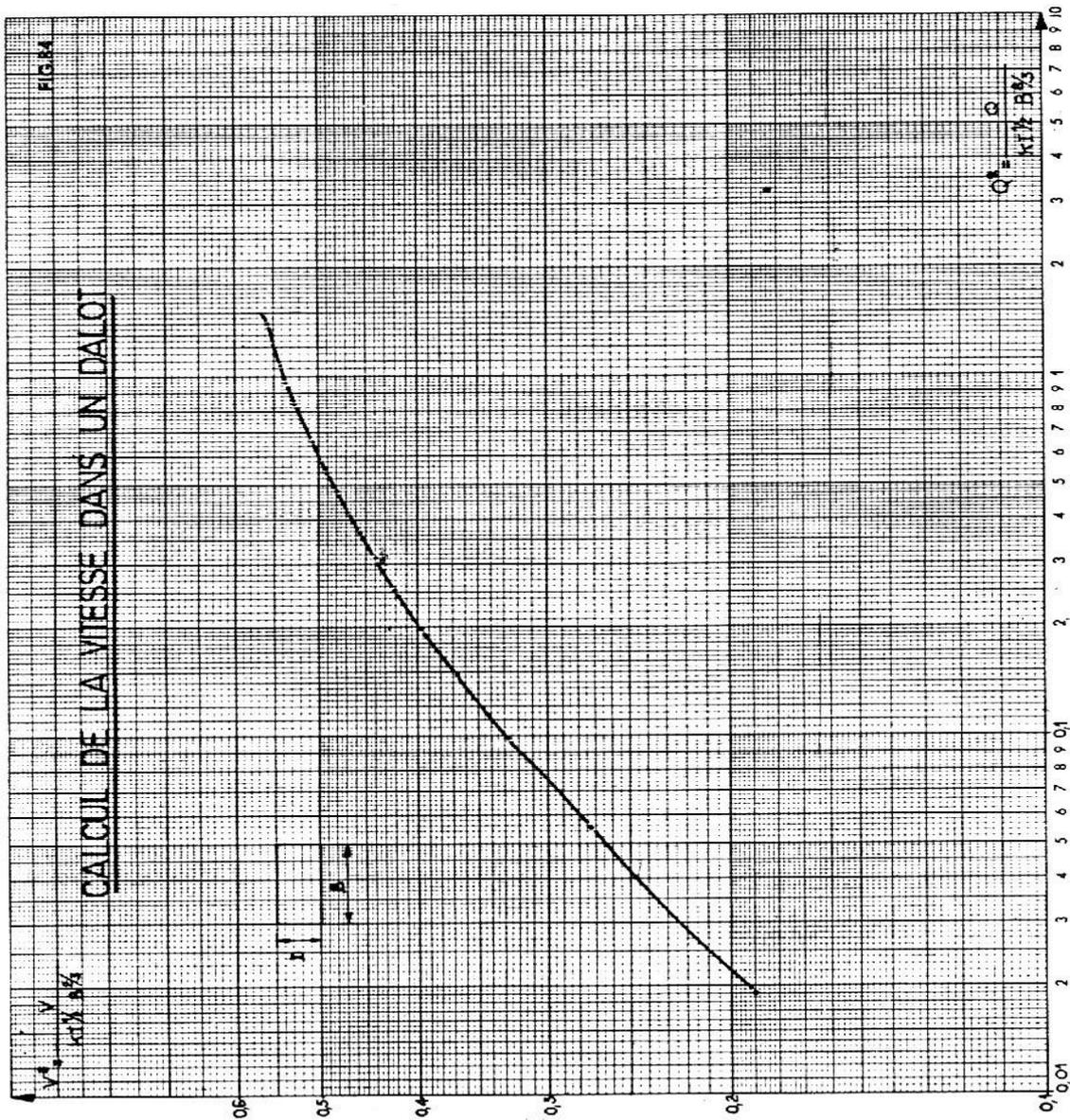
ANNEXE 3 : ABAQUE DE DÉTERMINATION DE LA PROFONDEUR AMONT DU DALOT



ANNEXE 4 : ABAQUE DE DÉTERMINATION DE LA PENTE CRITIQUE D'UN DALOT



ANNEXE 5 : ABAQUE DE DÉTERMINATION DE LA VITESSE D'UN DALOT



ANNEXE 6 : CALCUL DU CADRE DU DALOT DE TYPE E

❖ PREDIMENSIONNEMENT

Données : $l = 3\text{ m}$; $L = 3\text{ m}$; Hremblai = 3,44 m ; $l_r = 7\text{ m}$; $l_c = 6\text{ m}$

$$e_{\text{dalot}} = \max(e_1; e_2)$$

$$e_1 = \frac{300}{15} = 20\text{ cm}$$

$$e_2 = \frac{300}{10} = 30\text{ cm}$$

$$e_{\text{dalot}} = \max(20; 30)$$

$$e_{\text{dalot}} = 30\text{ cm}$$

❖ EVALAUTION DES CHARGES

• Charges permanentes

✚ **Tablier**

$$\text{Poids propre : } P_{\text{propre}} = \gamma_{\text{béton}} \times e \times 1 = 25 \times 0,3 \times 1 = 7,5\text{ kN/m}^2$$

$$\text{Poids remblai : } P_{\text{remblai}} = \gamma_{\text{terre}} \times e \times 1 = 20 \times 0,09 \times 1 = 1,8\text{ kN/m}^2$$

$$\text{Poids revêtement : } P_{\text{revêtement}} = \gamma_{\text{revêtement}} \times e \times 1 = 25 \times 0,05 \times 1 = 1,25\text{ kN/m}^2$$

Poids guide roue :

$$P_{\text{guide roue}} = \gamma_{\text{béton}} \times e \times h \times 2/l_r = 25 \times 0,3 \times 0,34 \times 2/7 = 0,49\text{ kN/m}^2$$

$$\text{Poids garde-corps : } P_{\text{garde-corps}} = P_{\text{garde-corps}} \times 2/l_r = 0,3 \times 2/7 = 0,06\text{ kN/m}^2$$

$$\text{Poids total: } P_{\text{Tablier}} = 11,10\text{ kN/m}^2$$

✚ **Radier**

$$\text{Poids propre : } P_{\text{propre}} = \gamma_{\text{béton}} \times e \times 1 = 25 \times 0,3 \times 1 = 7,5\text{ kN/m}^2$$

$$\text{Poids tablier : } P_{\text{Tablier}} = 11,10\text{ kN/m}^2$$

$$\text{Poids pied droit : } P_{\text{pied droit}} = \gamma_{\text{béton}} \times e \times h \times 3/6 = 25 \times 0,3 \times 3 \times 3/6 = 11,25\text{ kN/m}^2$$

$$\text{Poids total: } P_{\text{Radier}} = 29,85\text{ kN/m}^2$$

✚ Poussée des terres sur les pieds droits

$$P1: P_1 = \gamma_{\text{terre}} \times k_a \times 0,39 = 20 \times 0,33 \times 0,39 = \mathbf{2,57 \text{ kN/m}^2}$$

$$P2: P_2 = \gamma_{\text{terre}} \times k_a \times 3,39 = 20 \times 0,33 \times 3,39 = \mathbf{22,37 \text{ kN/m}^2}$$

- **Charges d'exploitation**

✚ Système A

Largeur roulable : $L_r = 7 \text{ m}$

Classe de pont I car $L_r \geq 7 \text{ m}$

Largeur chargeable : $L_c = 6 \text{ m}$

Nombre de voies : $n = \text{ent}\left(\frac{L_c}{3}\right) = 2 \text{ voies}$

La valeur de la charge A est donnée par la relation suivante :

$$Q_A = \gamma_Q \times a_2 \times q_L$$

$$q_L = \sup(a_1 A(l); 4 - 0,002L)$$

$$A_L = 2,30 + \frac{360}{L_c + 12} = 2,30 + \frac{360}{6 + 12} = 19,12 \text{ kN/m}^2$$

La valeur du coefficient a_1 est donnée par le tableau ci-dessous.

TABLEAU : Valeur du coefficient de dégressivité transversale a_1 en fonction de la classe du pont

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

En considérant une classe de pont I et 2 voies chargées, nous adopterons la valeur a_1 égale à 1

$$a_1 A_L = 1 \times 19,12 = 19,12 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_L = \sup(17,21; 3,98)$$

$$q_L = 17,21 \text{ kN/m}^2$$

La valeur de a_2 est calculée avec la formule :

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

La largeur d'une voie est représentée par V , tandis que V_0 dépend de la classe du pont.

TABLEAU : Valeurs du coefficient a_2 en fonction de la classe du pont

| Classe du pont | V_0 |
|----------------|--------|
| I | 3,5 m |
| II | 3,0 m |
| III | 2,75 m |

$$a_2 = \frac{3,5}{3,47} = 1$$

$$Q_{AELS} = 1,2 \times 1 \times 17,21 = 20,85 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{AELU} = 1,61 \times 1 \times 17,21 = 27,97 \text{ kN/m}^2$$

🚧 Système B

La valeur de la charge B est donnée par la relation suivante :

$$Q_B = \gamma_Q \times \delta \times Q \times b$$

- Sous Système Bc

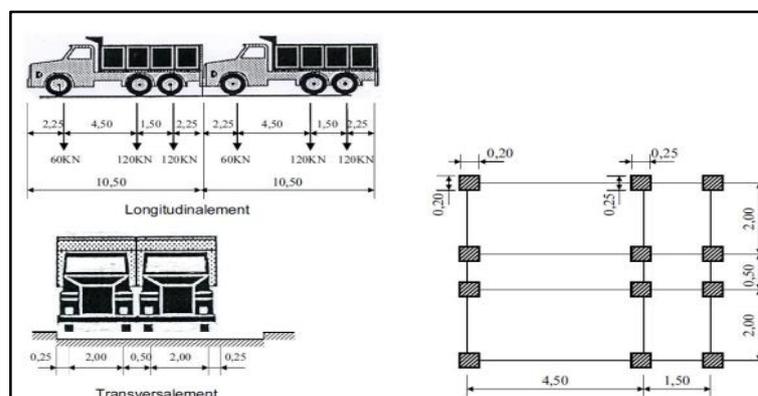


FIGURE I: Système de charge BC

Le cas de chargement le plus défavorable pour notre ouvrage est :

$$S_{Bc} = 720 \text{ kN} \quad S = 12,69 \text{ m}^2 \quad Q = 56,74 \text{ kN/m}^2$$

- Sous Système Bt

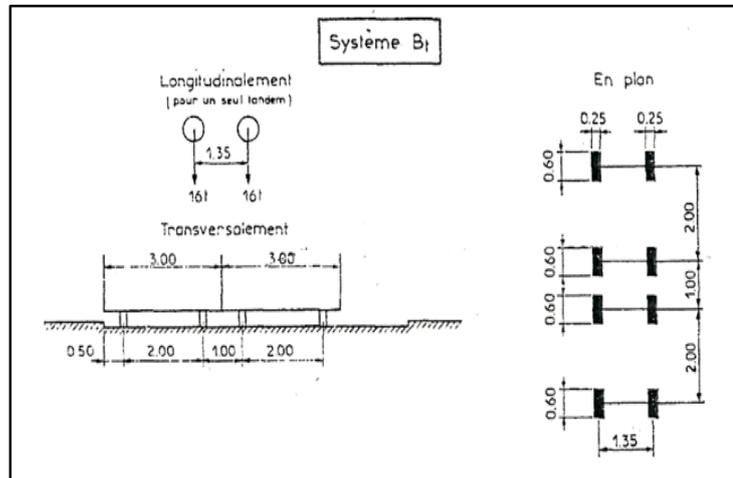


FIGURE II: Système de charge Bt

Le cas de chargement le plus défavorable pour notre ouvrage est :

$$S_{Bt} = 640 \text{ kN} \quad S = 8,96 \text{ m}^2 \quad Q = 71,43 \text{ kN/m}^2$$

- Coefficient de majoration dynamique

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

Avec G poids total d'une section de couverture :

$$G = P_{\text{Tablier}} \times lr \times 3 = 11,10 \times 10,4 \times 3 = 346,26 \text{ kN}$$

$$\delta_{Bc} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 10,4} + \frac{0,6}{1 + 4\frac{346,26}{720}} = 1,34$$

$$\delta_{Bt} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 10,4} + \frac{0,6}{1 + 4\frac{346,26}{640}} = 1,32$$

$$\delta = \max(\delta_{Bc}; \delta_{Bt}) = \max(1,34; 1,32) = 1,34$$

$$Q_{BcELS} = 1,2 \times 1,34 \times 0,95 \times 56,74 = 86,35 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{BcELU} = 1,61 \times 1,34 \times 0,95 \times 56,74 = 116,29 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{BtELS} = 1,2 \times 1,34 \times 1 \times 71,43 = 114,44 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{BtELU} = 1,61 \times 1,34 \times 1 \times 71,43 = 153,54 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{BELS} = \max(Q_{BcELS}; Q_{BtELS}) = \max(86,35 ; 114,44) = \mathbf{114,44 \text{ kN/m}^2}$$

$$Q_{BELU} = \max(Q_{BcELU}; Q_{BtELU}) = \max(116,29 ; 153,54) = \mathbf{153,54 \text{ kN/m}^2}$$

Charges d'exploitation sur le remblai

La charge d'exploitation sur le remblai est donnée par la formule suivante :

$$q' = q \times k_a \times \gamma_Q$$

$$q'_{ELS} = 10 \times 0,33 \times 1,2 = \mathbf{3,96 \text{ kN/m}^2}$$

$$q'_{ELU} = 10 \times 0,33 \times 1,61 = \mathbf{5,313 \text{ kN/m}^2} +$$

- **Charges finales**

Puisque notre structure est conçue pour les états limites de service (ELS), les charges finales à considérer sont les suivantes :

TABLEAU I: Charges finales :

| Éléments | Charges permanentes (kN/m ²) | Charges d'exploitation (kN/m ²) | Charges finales (kN/m ²) |
|-----------------|--|---|--------------------------------------|
| Tablier | 11,10 | 114,44 | 125,54 |
| Radier | 29,85 | 114,44 | 144,29 |
| Pied droit haut | 2,57 | 3,96 | 6,53 |
| Pied droit bas | 22,37 | 3,96 | 26,33 |

❖ CALCUL DES MOMENTS DE SOLLICITATION

Les moments sont déterminés en utilisant la méthode des trois moments, selon la formule spécifique.

$$l_i M_{i-1} + 2(l_{i+1} + l_i) M_i + l_{i+1} M_{i+1} = 6EI(\varphi_{i0}' - \varphi_{i0}'')$$

TABLEAU II: Moments de sollicitations

| | | Moment (kN.m) |
|-----------------|------------------------|---------------|
| Tablier | Travée | 64,55 |
| | Appui central | 122,66 |
| | Appui gauche et droite | 37,13 |
| Radier | Travée | 72,74 |
| | Appui central | 138,93 |
| | Appui gauche et droite | 46,76 |
| Pied droit haut | | 37,13 |
| Pied droit bas | | 46,76 |

❖ CALCUL DES SECTIONS D'ACIERS

🚧 Tablier

Le tablier sera calculé en flexion simple suivant une bande d'un mètre.

Données : b=100 cm ; h= 30 cm ; d=27 cm ; enrobage = 3 cm

- Aciers en travée

$$M_{ser} = 64,55 \text{ kN.m}$$

Le paramètre de déformation $\bar{\alpha}_{ser}$:

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \bar{\sigma}_{bc}}{n \times \bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63}$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = 0,527$$

Le moment réduit vaut :

$$M_{rserb} = \frac{1}{2} \times b_0 \times d^2 \times \bar{\alpha}_{ser} \times \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{bc}$$

$$M_{rserb} = \frac{1}{2} \times 1 \times 0,27^2 \times 0,527 \times \left(1 - \frac{0,527}{3}\right) \times 15$$

$$M_{rserb} = 0,237 \text{ MN.m} = 237 \text{ kN.m}$$

$M_{ser} < M_{rserb}$ donc pas d'aciers comprimés

La section d'aciers tendus vaut :

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

$$A_{st} = \frac{64,55}{0,27 \left(1 - \frac{0,527}{3}\right) \times 201,63} \times 10$$

$A_{st} = 14,39 \text{ cm}^2$ Choix : 8HA16 = 16,08 cm²

- Aciers appui central

$$M_{ser} = 122,66 \text{ kN.m}$$

$M_{ser} < M_{rserb}$ Donc pas d'aciers comprimés

La section d'aciers tendus vaut :

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

$$A_{st} = \frac{122,66}{0,27 \left(1 - \frac{0,527}{3}\right) \times 201,63} \times 10$$

$A_{st} = 27,34 \text{ cm}^2$ Choix : 9HA20 = 28,27 cm²

- Aciers appui gauche et droite

$$M_{ser} = 37,13 \text{ kN.m}$$

$M_{ser} < M_{rserb}$ donc pas d'aciers comprimés

La section d'aciers tendus vaut :

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

$$A_{st} = \frac{37,13}{0,27 \left(1 - \frac{0,527}{3}\right) \times 201,63} \times 10$$

$A_{st} = 8,27 \text{ cm}^2$ Choix : 6HA14 = 9,24 cm²

- Condition de non fragilité

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

$$A_{stmin} = 0,23 \times 1 \times 0,27 \times \frac{2,1}{400} \times 10000$$

$A_{stmin} = 3,26 \text{ cm}^2$

Radier

Le tablier sera calculé en flexion simple suivant une bande d'un mètre.

Données : b=100 cm ; h= 30 cm ; d=27 cm ; enrobage = 3 cm

- Aciers en travée

$$M_{ser} = 72,75 \text{ kN.m}$$

Le paramètre de déformation vaut :

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \bar{\sigma}_{bc}}{n \times \bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63}$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = 0,527$$

Le moment réduit vaut :

$$M_{rserb} = \frac{1}{2} \times b_0 \times d^2 \times \bar{\alpha}_{ser} \times \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{bc}$$

$$M_{rserb} = \frac{1}{2} \times 1 \times 0,27^2 \times 0,527 \times \left(1 - \frac{0,527}{3}\right) \times 15$$

$$M_{rserb} = 0,237 \text{ MN.m} = 237 \text{ kN.m}$$

$M_{ser} < M_{rserb}$ Donc pas d'aciers comprimés

La section d'aciers tendus vaut :

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{d \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \bar{\sigma}_{st}}$$
$$A_{st} = \frac{72,75}{0,27 \left(1 - \frac{0,527}{3}\right) \times 201,63} \times 10$$

$A_{st} = 16,21 \text{ cm}^2$ Choix : 9HA16 = 18,10 cm²

- Aciers appui central :

$$M_{ser} = 138,93 \text{ kN.m}$$

$M_{ser} < M_{rserb}$ Donc pas d'aciers comprimés

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{d \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \bar{\sigma}_{st}}$$
$$A_{st} = \frac{138,93}{0,27 \left(1 - \frac{0,527}{3}\right) \times 201,63} \times 10$$

$A_{st} = 30,96 \text{ cm}^2$ Choix : 10HA20 = 31,42 cm²

- Aciers appui gauche et droite

$$M_{ser} = 46,76 \text{ kN.m}$$

$M_{ser} < M_{rserb}$ Donc pas d'aciers comprimés

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{d \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \bar{\sigma}_{st}}$$
$$A_{st} = \frac{46,76}{0,27 \left(1 - \frac{0,527}{3}\right) \times 201,63} \times 10$$

$A_{st} = 10,42 \text{ cm}^2$ Choix : 8HA14 = 12,31 cm²

- Condition de non fragilité

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

$$A_{stmin} = 0,23 \times 1 \times 0,27 \times \frac{2,1}{400} \times 10000$$

$$A_{stmin} = 3,26 \text{ cm}^2$$

❖ **Pied droit central**

Le pied droit central est calculé comme un poteau soumis à une compression centrée.

Données : $b=100 \text{ cm}$; $h= 30 \text{ cm}$; $l_0= 300 \text{ cm}$; $S_i = 3.3 \text{ m}^2$; enrobage = 3 cm

La charge N_U sollicitant notre poteau :

$$N_U = 1.35(P_p + G) + Q$$

$$P_p = \gamma_{\text{béton}} \times e \times h \times 1 = 25 \times 0,3 \times 3 \times 1 = 22,5 \text{ kN/ml}$$

$$G = P_{\text{Tablier}} \times S_i = 11,10 \times 3,3 = 36,63 \text{ kN/m}$$

$$Q = Q_{\text{Bt}} \times S_i = 153,54 \times 3,3 = 506,68 \text{ kN/m}$$

$$N_U = 1,35(22,5 + 36,63) + 506,68$$

$$N_U = 586,51 \text{ kN/m}$$

La valeur de N_U sera majorée de 1.15 car notre dalot est comporté de 2 cellules.

$$N_U = 1,15 \times 586,51$$

$$N_U = 674,49 \text{ kN/m}$$

La longueur de flambement :

$$l_f = 0,5 \times l_0 = 0,5 \times 300 = 150 \text{ cm} = 1,5 \text{ m}$$

L'élanement :

$$\lambda = 3,5 \frac{l_f}{a} = 3,5 \times \frac{1,5}{0,3} = 17,5$$

Le coefficient α :

$$\alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2\left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} = \frac{0,85}{1 + 0,2\left(\frac{17,5}{35}\right)^2} = 0,81$$

La valeur de α est divisée par 1,10 car on suppose que la majorité des charges est appliquée avant 90 jours.

$$\alpha = \frac{0,81}{1,10} = 0,74$$

La section réduite de béton :

$$B_r = (a - 0,02)(b - 0,02) = (0,3 - 0,02)(1 - 0,02) = 0,2744 \text{ m}^2$$

La section d'aciers comprimés :

$$A_{sc} = \left(\frac{Nu}{\alpha} - \frac{B_r \times f_{c28}}{0,9 \times \gamma_b} \right) \times \left(\frac{1}{f_e \times \gamma_s} \right)$$
$$A_{sc} = \left(\frac{682,22}{0,74} - \frac{0,2744 \times 25}{0,9 \times 1,5} \right) \times \left(\frac{1,15}{400} \right)$$
$$A_{sc} = -119,74 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{smin} = \max\left(4u; \frac{0,2 B}{100}\right)$$
$$A_{smin} = \max\left(4(2(1 + 0,3)); \frac{0,2 (100 \times 30)}{100}\right)$$
$$A_{smin} = \max\left(4(2(1 + 0,3)); \frac{0,2 (100 \times 30)}{100}\right)$$
$$A_{smin} = 10,4 \text{ cm}^2$$

On prendra : $A_{sc} = A_{smin} = 10,4 \text{ cm}^2$ Choix : 8HA14 = 12,31 cm²

❖ Pied droit de rive

Les pieds droits de rive seront dimensionnés en flexion composée

Données : b=100 cm ; h= 30 cm ; lo= 300 cm ; Si = 1,8 m² ; enrobage = 3 cm

La charge N_{ser} vaut :

$$N_{ser} = ((P_p + G) + Q) \times 1,15$$

$$P_p = \gamma_{\text{béton}} \times e \times h \times 1 = 25 \times 0,3 \times 3 \times 1 = 22,5 \text{ kN/ml}$$

$$G = P_{\text{Tablier}} \times S_i = 11,10 \times 1,8 = 19,98 \text{ kN/m}$$

$$Q = Q_{\text{Bt}} \times S_i = 114,44 \times 1,8 = 205,99 \text{ kN/m}$$

$$N_{\text{ser}} = ((22,5 + 19,98) + 205,99) \times 1,15 = 285,74 \text{ kN/ml}$$

On a : $M_{\text{ser}} = 46,76 \text{ kN.m}$

L'excentricité :

$$e = \frac{M_{\text{ser}}}{N_{\text{ser}}} = \frac{46,76}{285,74} = 0,16 \text{ m}$$

L'effort de compression maximal centré :

$$N_{\text{bmax}} = b \times h \times f_{\text{bc}} = 1 \times 0,3 \times 14,17 = 4,25 \text{ MN}$$

Le coefficient de remplissage du béton :

$$\Psi_1 = \frac{N_{\text{ser}}}{N_{\text{bmax}}} = \frac{0,2857}{4,25} = 0,067$$

$$\Psi_1 < 0,81 \text{ et } \Psi_1 < \frac{2}{3}$$

L'excentricité relative :

$$\xi = \frac{1 + \sqrt{9 - 12\Psi_1}}{4 + (3 + \sqrt{9 - 12\Psi_1})}$$

$$\xi = \frac{1 + \sqrt{9 - 12 \times 0,067}}{4 + (3 + \sqrt{9 - 12 \times 0,067})} = 0,16$$

Calcul de e_{NC} :

$$e_{\text{NC}} = \xi \times h = 0,16 \times 0,3 = 0,049 \text{ m}$$

$e > e_{\text{NC}}$ Donc la section est partiellement comprimée

L'excentricité totale e_T :

On a : $e_2 = (2 + \alpha\phi) \frac{3 \times l_f^2}{10000h}$ avec $\alpha = 10 \left(1 - \frac{Mu}{M_{\text{ser}}}\right) = 1,04$

$$e_2 = (2 + 1,04 \times 2) \frac{3 \times 1,5^2}{10000 \times 0,3} = 0,009 \text{ m}$$

$$e_a = \max(2 \text{ cm}; \frac{l_0}{250}) = \max(2 \text{ cm}; \frac{300}{250}) = 0,02 \text{ m}$$

$$e_T = 0,16 + 0,009 + 0,02 = 0,19 \text{ m}$$

Le Moment de flexion fictif :

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

$$e_A = e + (d - 0,5h) = 0,19 + (0,27 - 0,5 \times 0,3) = 0,31 \text{ m}$$

$$M_{\text{serfictif}} = 285,73 \times 0,31 = 89,38 \text{ kN.m}$$

$$M_{\text{rserfictif}} = 237,52 \text{ kN.m}$$

$M_{\text{serfictif}} < M_{\text{rserfictif}}$ Donc pas d'aciers comprimés

La section d'aciers tendus fictive :

$$A_{\text{stfictif}} = \frac{M_{\text{serfictif}}}{d(1 - \frac{\bar{\alpha}_{\text{ser}}}{3}) \bar{\sigma}_{\text{st}}}$$

$$A_{\text{stfictif}} = \frac{89,38}{0,27(1 - \frac{0,527}{3}) \times 201,63}$$

$$A_{\text{stfictif}} = 19,92 \text{ cm}^2$$

La section d'aciers tendus :

$$A_{\text{st}} = A_{\text{stfictif}} - \frac{N_{\text{ser}}}{\bar{\sigma}_{\text{st}}}$$

$$A_{\text{st}} = 19,92 - \frac{0,28573}{201,63}$$

$A_{\text{st}} = 5,75 \text{ cm}^2$ Choix : 6HA12 = 6,79 cm²

La condition de non fragilité :

$$A_{\text{smin}} = \text{Max}(\frac{b h}{1000} ; 0,23bd \frac{f_{t28}}{f_e})$$

$$A_{\text{min}} = \text{Max}\left(\frac{100 \times 30}{1000} ; 0,23 \times 100 \times 27 \times \frac{2,1}{400}\right)$$

$$A_{\text{min}} = 3,26 \text{ cm}^2$$

ANNEXE 7 : CALCUL DU MUR EN AILE DU DALOT DE TYPE E

❖ **Predimensionnement**

L'épaisseur du mur est donnée par :

$$e_1 = \frac{H}{24} = \frac{400}{24} = 16,67 \text{ cm avec H la hauteur du mur}$$

On prendra comme épaisseur du mur 30 cm identique à celle du cadre du dalot.

L'épaisseur de la semelle est donnée par :

$$e_2 = \frac{H}{12} = \frac{400}{12} = 33,33 \text{ cm}$$

On prendra comme épaisseur de la semelle 40 cm.

La largeur de la semelle est donnée par :

$$B = 0,20 + 0,45H = 0,20 + 0,45 \times 4 = 2 \text{ m}$$

On prendra comme largeur de la semelle 3,6 m.

La largeur du patin est comprise entre :

$$\begin{aligned} \frac{H}{8} < B_1 < \frac{H}{5} \\ \frac{400}{8} < B_1 < \frac{400}{5} \\ 50 < B_1 < 80 \end{aligned}$$

On prendra comme largeur du patin 0,8 m.

La largeur du talon est :

$$B_2 = B - B_1 = 3,3 - 0,8 = 2,5 \text{ m}$$

❖ **Évaluation des charges**

⚡ Charge 1a

Le poids propre du voile est donné par :

$$V_{1a} = 25 \times 3,6 \times 0,3 = 27 \text{ kN/m}$$

Le moment de sollicitation par rapport au point A est :

$$M_{1a} = 27 \times 0,95 = -25,65 \text{ kN.m}$$

⚡ Charge 1b

Le poids propre de la semelle est donné par :

$$V_{1b} = 25 \times 3,6 \times 0,4 = 36 \text{ kN/m}$$

Le moment de sollicitation par rapport au point A est :

$$M_{1b} = 36 \times 1,8 = -64,8 \text{ kN.m}$$

 Charge 2

Le poids de la terre sur le talon est donné par :

$$V_2 = 20 \times 2,5 \times 3,6 = 180 \text{ kN/m}$$

Le moment de sollicitation par rapport au point A est :

$$M_2 = 180 \times 2,35 = -423 \text{ kN.m}$$

 Charge 3

Le poids de la terre sur le patin est donné par :

$$V_3 = 20 \times 0,8 \times 0,4 = 6,4 \text{ kN/m}$$

Le moment de sollicitation par rapport au point A est :

$$M_3 = 6,4 \times 0,4 = -2,56 \text{ kN.m}$$

 Charge 4

La poussée des terres sur le voile est donnée par :

$$H_4 = 20 \times 0,33 \times \frac{4^2}{2} = 52,8 \text{ kN/m}$$

Le moment de sollicitation par rapport au point A est :

$$M_4 = 52,8 \times 1,33 = 70,4 \text{ kN.m}$$

 Charge 5

La charge d'exploitation sur remblai est donnée par :

$$V_5 = 10 \times 2,5 = 25 \text{ kN/m}$$

Le moment de sollicitation par rapport au point A est :

$$M_5 = 25 \times 2,35 = -58,75 \text{ kN.m}$$

 Charge 6

La poussée due aux surcharges sur le remblai est donnée par :

$$H_6 = 10 \times 0,33 \times 4 = 13,2 \text{ kN/m}$$

Le moment de sollicitation par rapport au point A est :

$$M_5 = 13,2 \times 2 = 26,4 \text{ kN.m}$$

✚ Moment de sollicitation M

Le moment de sollicitation par rapport au point A est :

$$M = M_{1a} + M_{1b} + M_2 + M_3 + M_4 + M_5$$
$$M = -25,65 - 64,8 - 423 - 2,56 + 70,4 - 58,75 + 26,4$$
$$M = -477,96 \text{ kN.m}$$

❖ **Vérification de la stabilité du mur**

✚ Vérification au renversement

$$F_r = \frac{\sum \text{Moment stabilisant}}{\sum \text{Moment renversant}} \geq 1.5$$

$$\sum \text{Moment stabilisant} = -25,65 - 64,8 - 423 - 2,56 - 58,75$$

$$\sum \text{Moment stabilisant} = -574,76$$

$$\sum \text{Moment renversant} = 70,4 + 26,4$$

$$\sum \text{Moment renversant} = 96,8$$

$$F_r = \frac{574,76}{96,8}$$

$$F_r = 5,93 > 1,5 \text{ la condition est vérifiée}$$

✚ Vérification au glissement

$$F_g = \frac{C' \times B + R_v \tan \theta}{R_H} \geq 1.5$$

$$C' = 0$$

$$B = 3,6 \text{ m}$$

$$R_v = 274,4 \text{ kN}$$

$$R_H = 66 \text{ kN}$$

$$F_g = \frac{274,4 \times \tan 20}{66}$$

$$F_g = 1,53 > 1,5 \text{ la condition est vérifiée}$$

✚ Vérification au poinçonnement

$$\sigma_{\text{ref}} < \bar{\sigma}_{\text{ser}}$$

$$\sigma_{\text{ref}} = \frac{5 R_v}{2B} \left(1 - 1,2 \frac{e_A}{B}\right)$$

$$\sigma_{\text{ref}} = \frac{5 \times 274,4}{2 \times 3,6} \left(1 - 1,2 \frac{1,74}{3,6}\right)$$

$$\sigma_{\text{ref}} = 79,92 \text{ kPa}$$

$$\bar{\sigma}_{\text{ser}} = 200 \times e^{-0,23}$$

$$\bar{\sigma}_{\text{ser}} = 118,46 \text{ kPa}$$

79,92 < 118,46 la condition est vérifiée

❖ Voile

✚ Calcul des sollicitations

La charge Nser :

$$N_{\text{ser}} = P_{\text{propre}} = \gamma_{\text{béton}} \times e \times h \times 1 = 25 \times 0,3 \times 3,6 \times 1 = 27 \text{ kN/m}$$

La poussée des terres (1) :

$$P1 = \gamma_{\text{terre}} \times k_a \times \frac{h^2}{2} = 20 \times 0,33 \times \frac{3,7^2}{2} = 42,77 \text{ kN/m}$$

La charge exploitation sur le remblai (2) :

$$P2 = q \times k_a \times h = 10 \times 0,33 \times 3,6 = 23,76 \text{ kN/m}$$

Le moment de sollicitation Mser :

$$M_{\text{ser}} = M1 + M2 = \frac{P1 \times h}{3} + \frac{P2 \times h}{2} = \frac{42,77 \times 3,6}{3} + \frac{23,76 \times 3,6}{2}$$

$$M_{\text{ser}} = 94,10 \text{ kN.m}$$

✚ Calcul des aciers

L'excentricité e :

$$e = \frac{M_{\text{ser}}}{N_{\text{ser}}} = \frac{94,10}{27} = 3,48 \text{ m}$$

$e > 4 e_0$ le calcul peut se faire en flexion simple.

Le moment réduit vaut :

$$M_{\text{rserb}} = \frac{1}{2} \times b_0 \times d^2 \times \bar{\alpha}_{\text{ser}} \times \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{\text{ser}}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{\text{bc}}$$

$$M_{\text{rserb}} = \frac{1}{2} \times 1 \times 0,27^2 \times 0,527 \times \left(1 - \frac{0,527}{3}\right) \times 15$$

$$M_{rserb} = 0,237 \text{ MN.m} = 237 \text{ kN.m}$$

$M_{ser} < M_{rserb}$ donc pas d'aciers comprimés

La section d'aciers tendus :

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{d \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \bar{\sigma}_{st}}$$
$$A_{st} = \frac{94,10}{0,27 \left(1 - \frac{0,527}{3}\right) \times 201,63} \times 10000$$
$$A_{st} = 20,97 \text{ cm}^2$$

$$A_r = 0,1 \times e_0 = 0,1 \times 30 = 3 \text{ cm}^2$$

- Calcul des aciers face vue

$$A_H = 0,1 \times e_0 = 0,1 \times 30 = 3 \text{ cm}^2$$

$$A_V = 0,075 \times e_0 = 0,075 \times 30 = 2,25 \text{ cm}^2$$

La condition de non-fragilité :

$$A_{stmin} = 0,23 \times b_0 \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$
$$A_{stmin} = 0,23 \times 1 \times 0,27 \times \frac{2,1}{400} \times 10000$$
$$A_{stmin} = 3,26 \text{ cm}^2$$

On prendra : $A_{st} = 20,97 \text{ cm}^2$

$$A_r = A_{stmin} = 3,26 \text{ cm}^2$$

$$A_H = A_{stmin} = 3,26 \text{ cm}^2$$

$$A_V = A_{stmin} = 3,26 \text{ cm}^2$$

❖ Patin

Il est traité comme une poutre console encastrée dans le voile et est soumis à la réaction du sol, en négligeant le poids des terres sur le patin.

$$R_H = 66 \text{ kN/ml}$$

$$R_V = 274,4 \text{ kN/ml}$$

$$M_{/A} = 477,96 \text{ kN.m}$$

$$e_A = \frac{M_{/A}}{R_V} = \frac{477,96}{274,4} = 1,74 \text{ m}$$

$$\sigma = \frac{R_V}{2 e_A} = \frac{274,4}{2 \times 1,74} = 78,76 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{ser} = \sigma \times \frac{l_{patin}^2}{2} = 78,76 \times \frac{0,8^2}{2} = 25,20 \text{ kN.m}$$

Le moment réduit vaut :

$$M_{rserb} = \frac{1}{2} \times b_0 \times d^2 \times \bar{\alpha}_{ser} \times \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{bc}$$

$$M_{rserb} = \frac{1}{2} \times 1 \times 0,36^2 \times 0,527 \times \left(1 - \frac{0,527}{3}\right) \times 15$$

$$M_{rserb} = 0,422 \text{ MN.m} = 422 \text{ kN.m}$$

$M_{ser} < M_{rserb}$ donc pas d'aciers comprimés

La section d'aciers tendus :

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

$$A_{st} = \frac{25,20}{0,36 \left(1 - \frac{0,527}{3}\right) \times 201,63} \times 10000$$

$$A_{st} = 4,21 \text{ cm}^2$$

$$A_r = 0,1 \times e_0 = 0,1 \times 40 = 4 \text{ cm}^2$$

La condition de non fragilité :

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

$$A_{stmin} = 0,23 \times 1 \times 0,36 \times \frac{2,1}{400} \times 10000$$

$$A_{stmin} = 4,34 \text{ cm}^2$$

On prendra : $A_{st} = A_{stmin} = 4,34 \text{ cm}^2$

$$A_r = A_{stmin} = 4,34 \text{ cm}^2$$

❖ Talon

Il est considéré comme une poutre console encastrée dans le voile et est soumis :

A la réaction du sol de fondation sous le talon :

$$R_s = 78,76 \times (2 \times 1,74 - (0,8 + 0,3)) = 187,76 \text{ kN/m}^2$$

Aux charges sur le talon :

$$P_{talon} = 20 \times 3,6 + 10 = 82 \text{ kN/ml}$$

Le moment vaut donc :

$$M_{ser} = 82 \times \frac{2,5^2}{2} + 187,76 \times \frac{2,38^2}{2}$$

$$M_{ser} = 32,48 \text{ kN.m}$$

Le moment réduit vaut :

$$M_{rserb} = \frac{1}{2} \times b_0 \times d^2 \times \bar{\alpha}_{ser} \times \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{bc}$$

$$M_{rserb} = \frac{1}{2} \times 1 \times 0,36^2 \times 0,527 \times \left(1 - \frac{0,527}{3}\right) \times 15$$

$$M_{rserb} = 0,422 \text{ MN.m} = 422 \text{ kN.m}$$

$M_{ser} < M_{rserb}$ donc pas d'aciers comprimés

La section d'aciers tendus vaut :

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

$$A_{st} = \frac{32,48}{0,36 \left(1 - \frac{0,527}{3}\right) \times 201,63} \times 10000$$

$$A_{st} = 5,43 \text{ cm}^2$$

$$A_r = 0,1 \times e_0 = 0,1 \times 40 = 4 \text{ cm}^2$$

La condition de non fragilité :

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

$$A_{stmin} = 0,23 \times 1 \times 0,36 \times \frac{2,1}{400} \times 10000$$

$$A_{stmin} = 4,34 \text{ cm}^2$$

On prendra : $A_{st} = 5,43 \text{ cm}^2$

$$A_r = A_{stmin} = 4,34 \text{ cm}^2$$

ANNEXE 8 : VUE EN PLAN DU DALOT

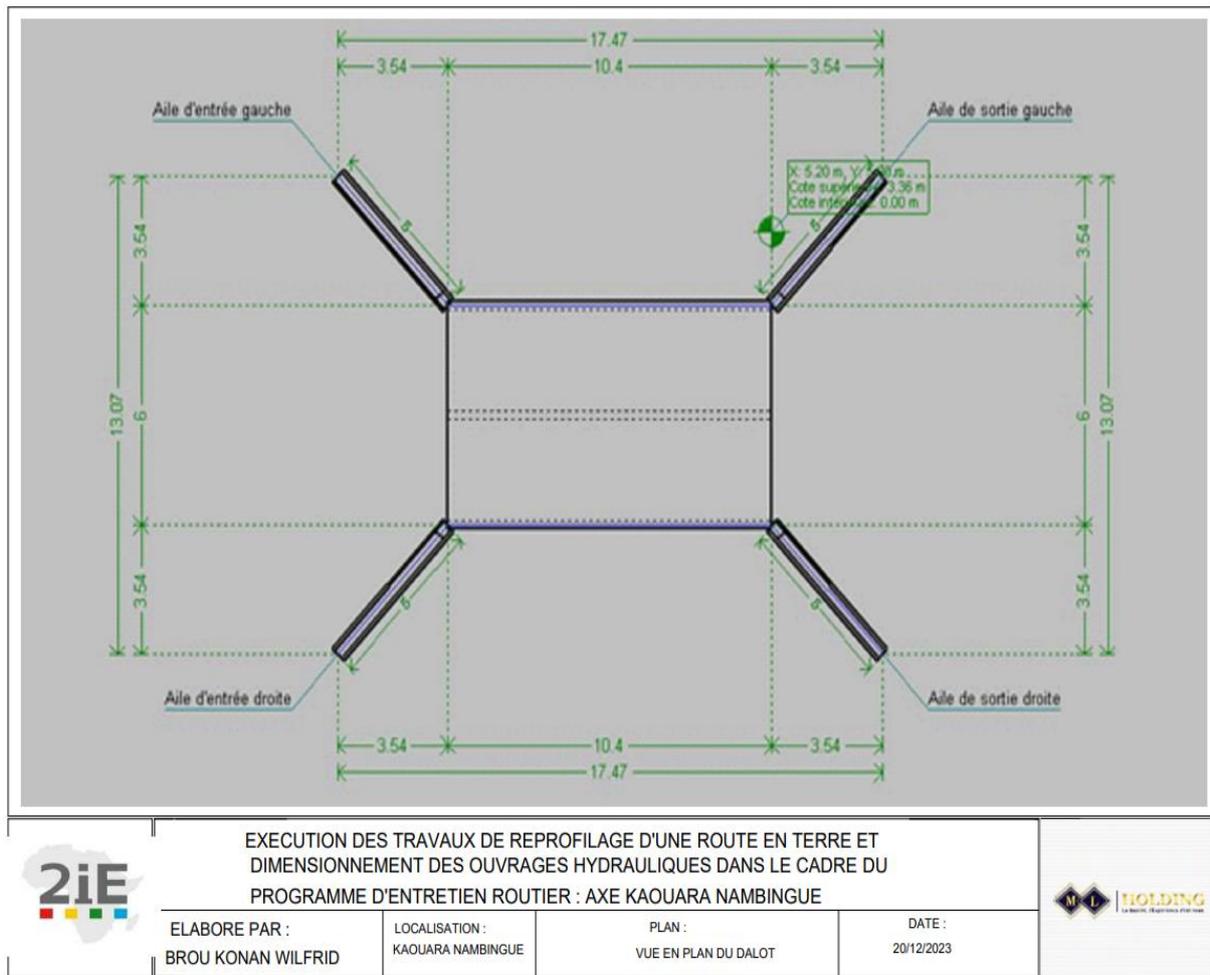
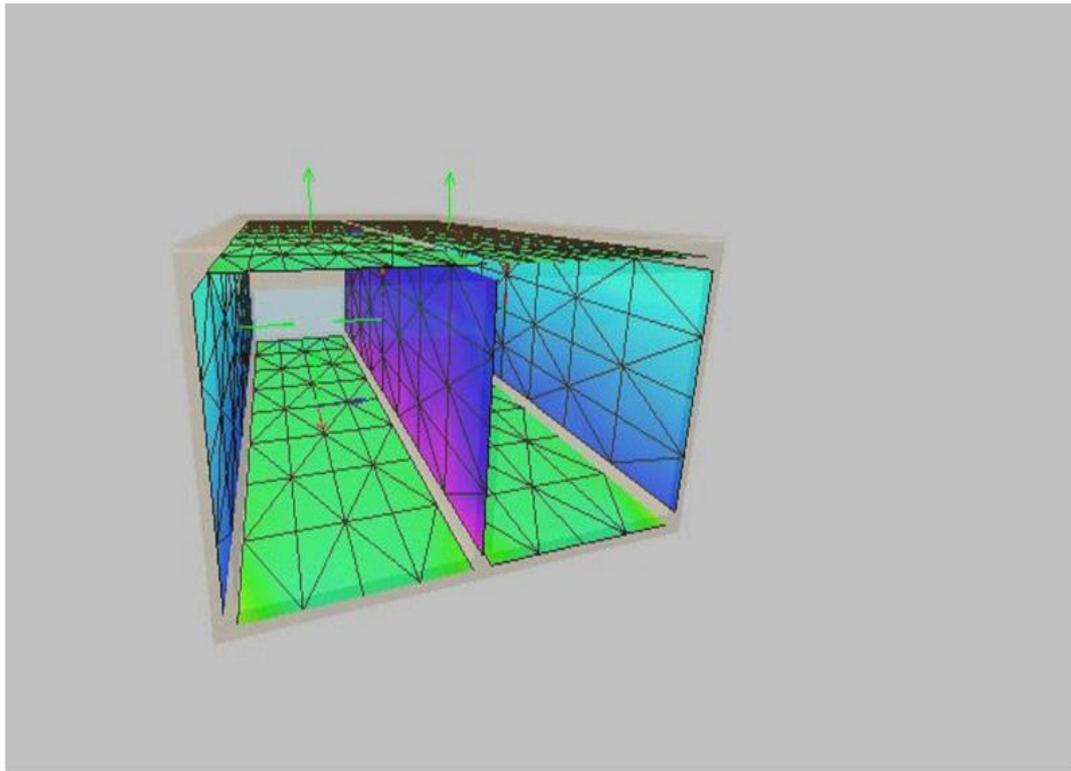


Figure 21 : Vue en plan du dalot



| | | | | |
|---|---|-------------------------------------|--------------------------------|---|
|  | EXECUTION DES TRAVAUX DE REPROFILAGE D'UNE ROUTE EN TERRE ET DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES DANS LE CADRE DU PROGRAMME D'ENTRETIEN ROUTIER : AXE KAOUARA NAMRINGUE | | |  |
| | ELABORE PAR : BROU KONAN WILFRID | LOCALISATION : KAOUARA NAMRINGUE | PLAN : PERSPECTIVE DU DALOT | |

Figure 22 : Vue en perspective du Dalot

ANNEXE 9 : PROFIL DES AXES DE LA VOIE

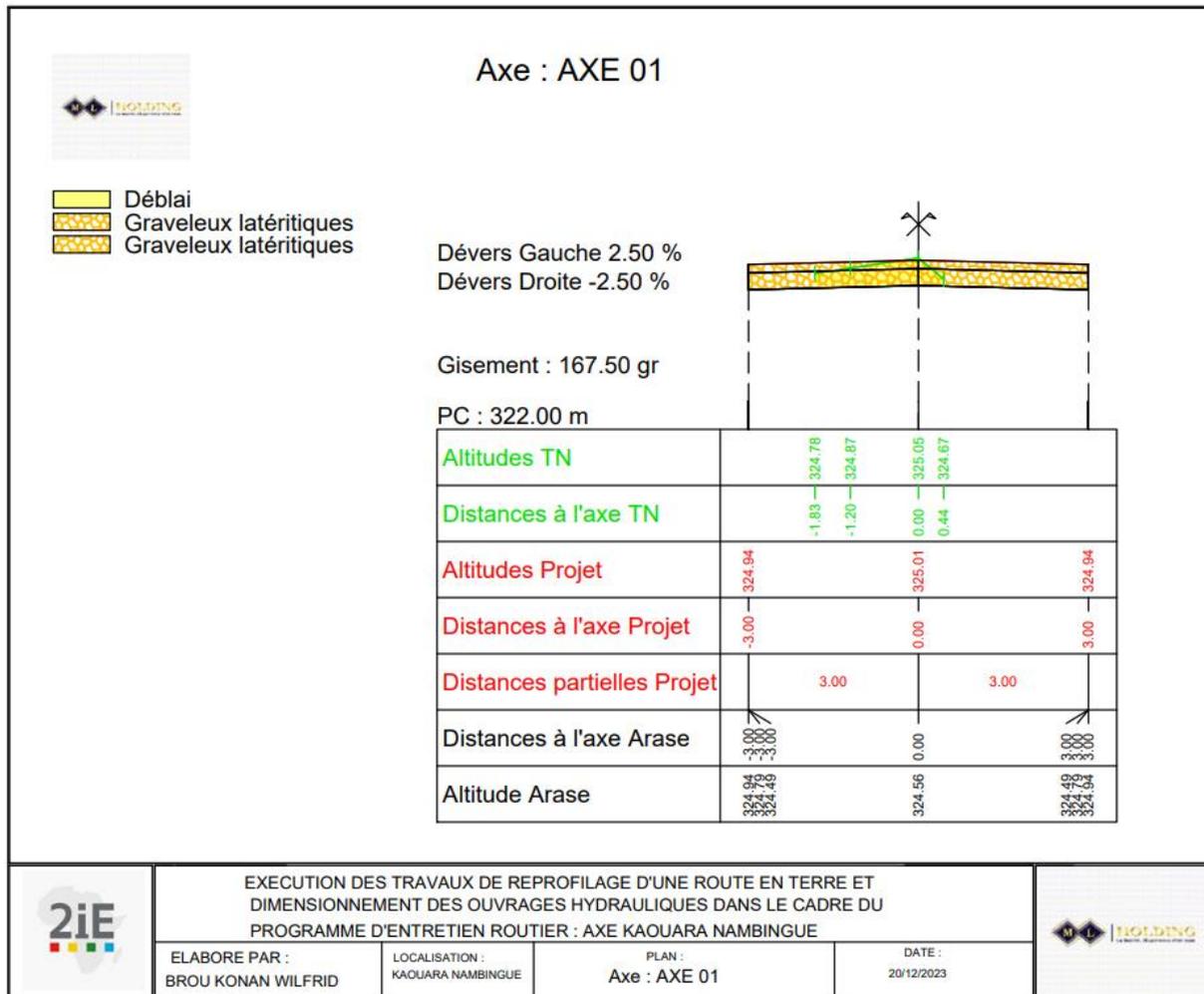


Figure 23 : Profil de la voie : AXE 01

Étude des travaux de reprofilage d'une route en terre et dimensionnement des ouvrages hydrauliques dans le cadre du programme d'entretien routier : Axe KAOUARA-NAMRINGUE

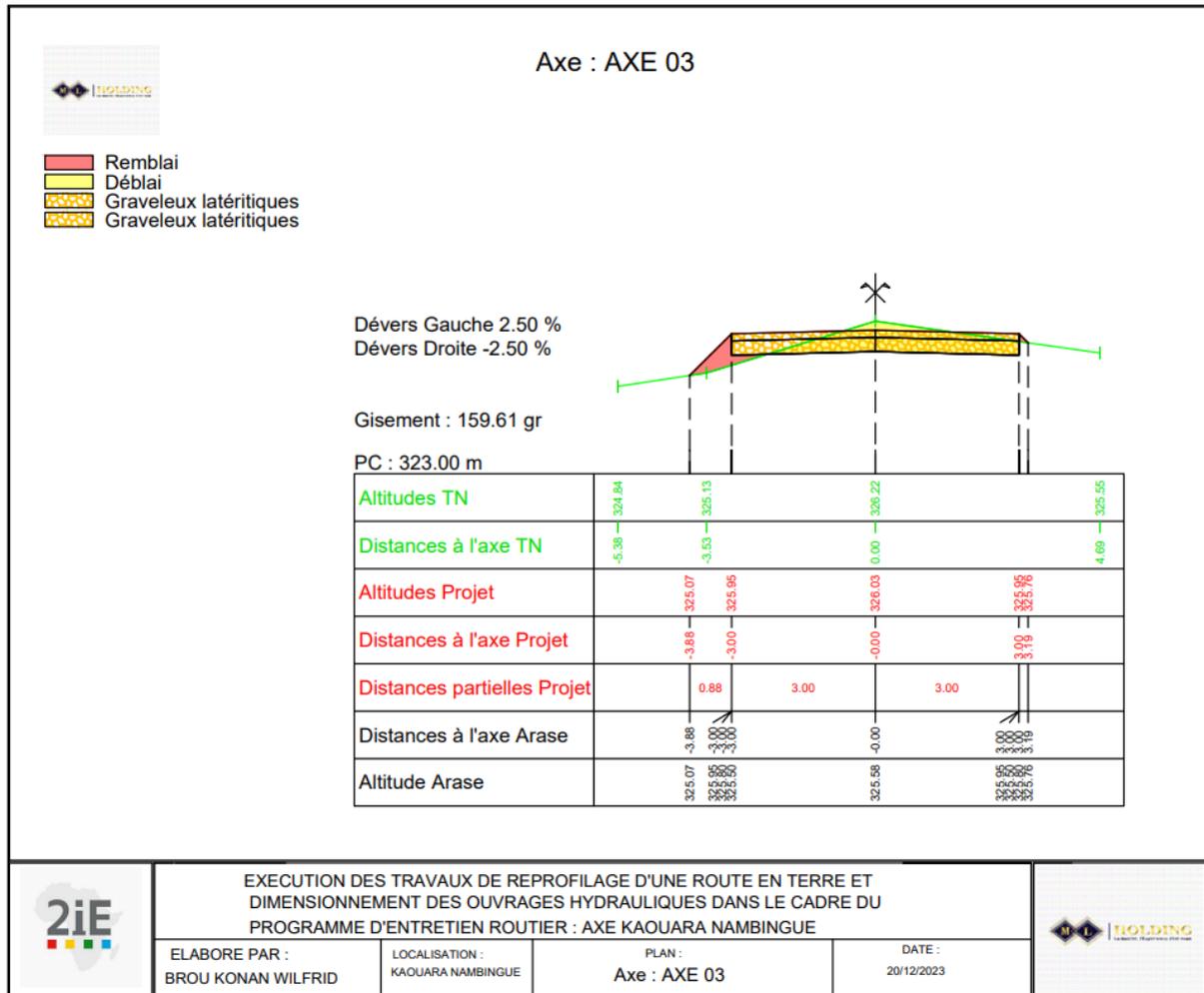


Figure 24 : Profil de la voie : AXE 03

Étude des travaux de reprofilage d'une route en terre et dimensionnement des ouvrages hydrauliques dans le cadre du programme d'entretien routier : Axe KAOUARA-NAMRINGUE

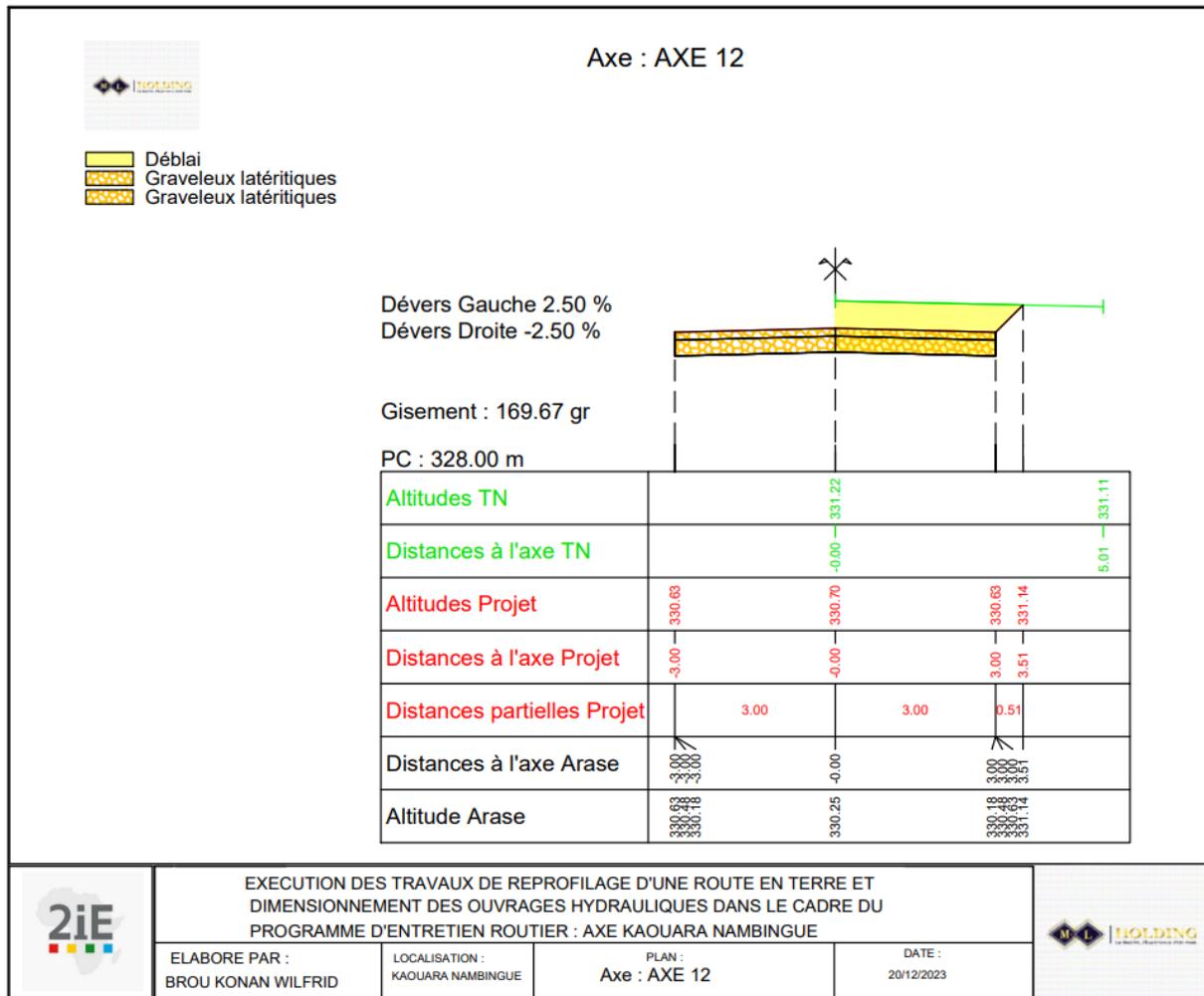


Figure 25 : Profil de la voie : AXE 12

Étude des travaux de reprofilage d'une route en terre et dimensionnement des ouvrages hydrauliques dans le cadre du programme d'entretien routier : Axe KAOUARA-NAMRINGUE

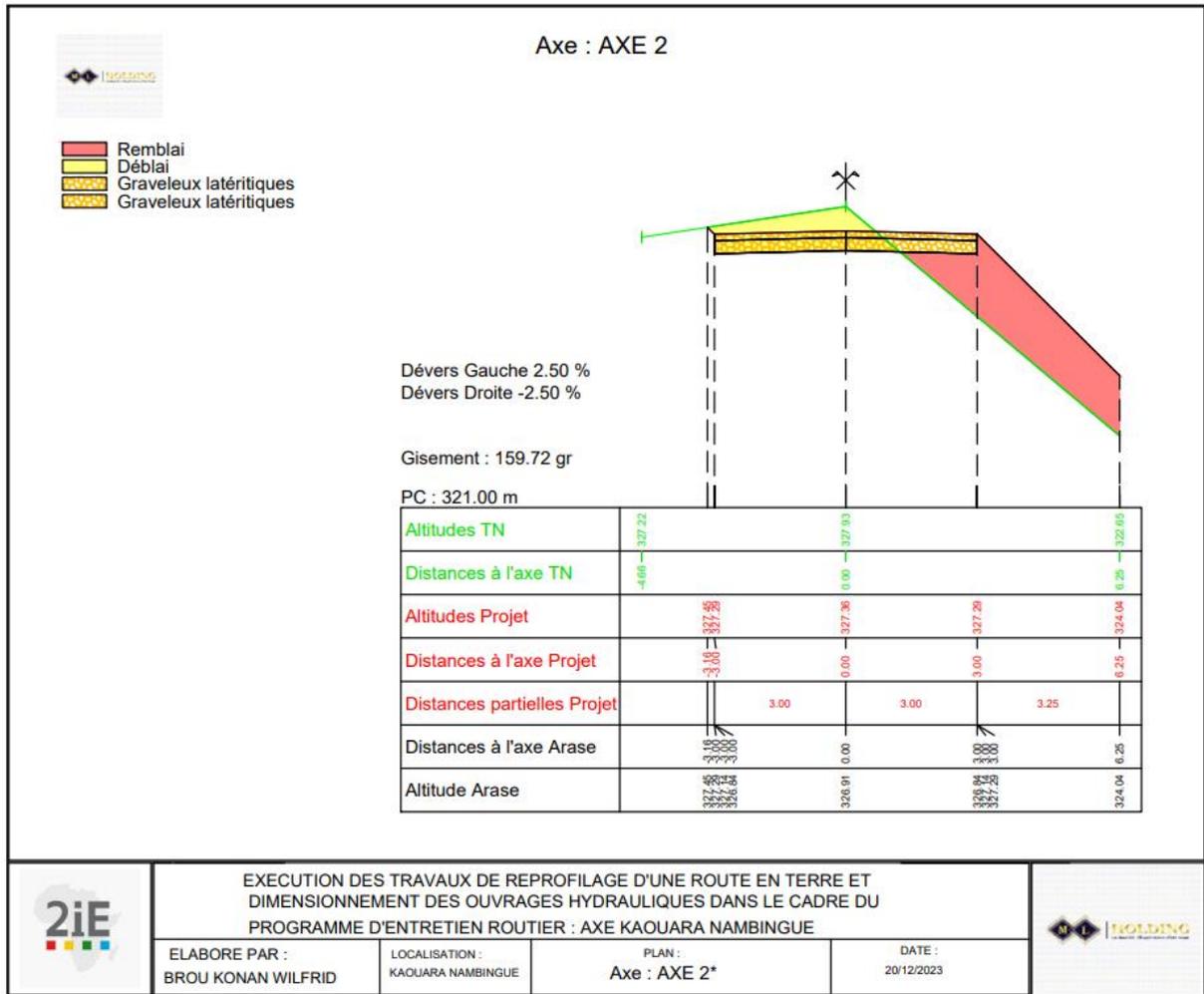


Figure 26 : Profil de la voie : Axe 2

Étude des travaux de reprofilage d'une route en terre et dimensionnement des ouvrages hydrauliques dans le cadre du programme d'entretien routier : Axe KAOUARA-NAMRINGUE

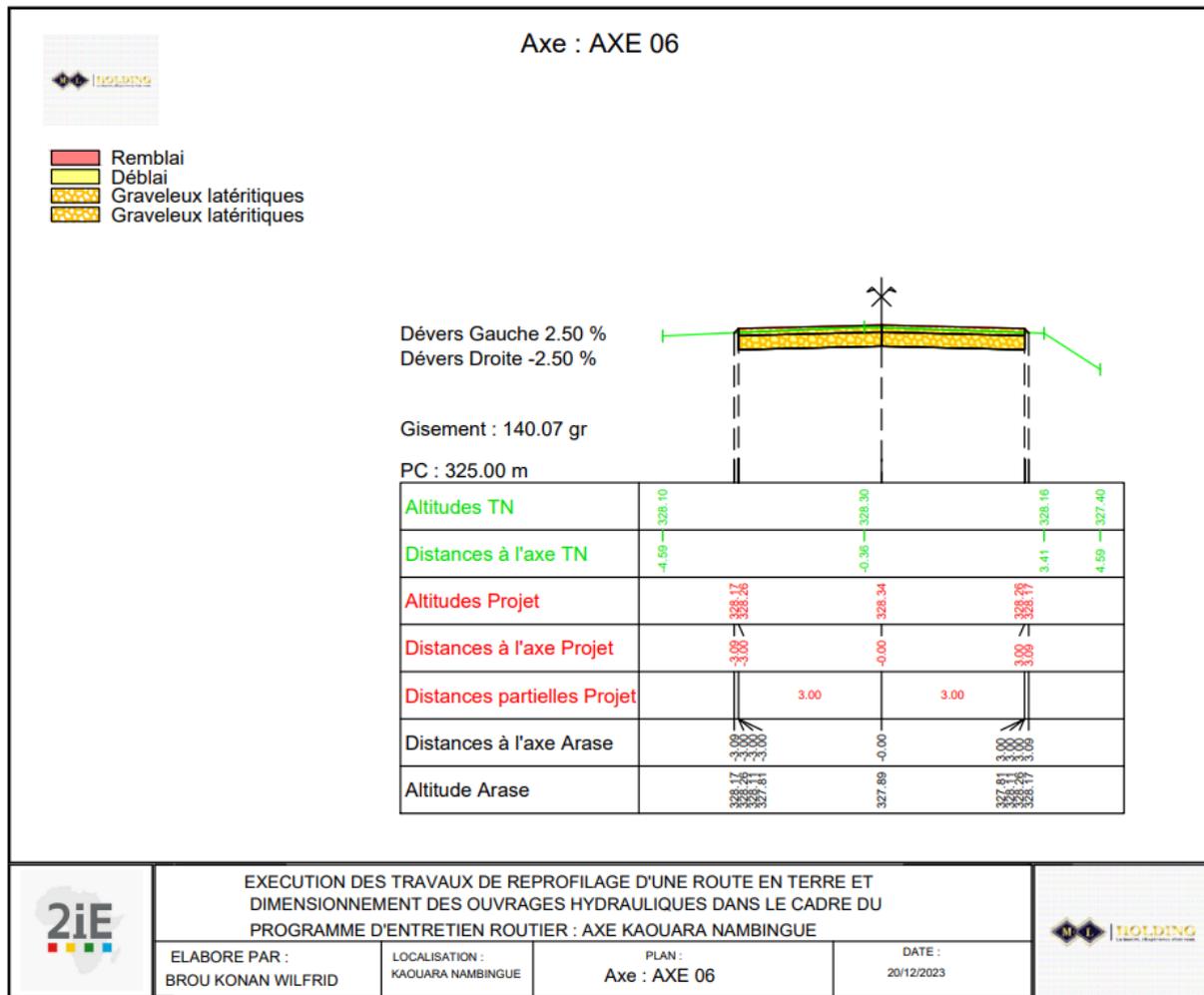


Figure 27 : Profil de la voie : Axe 06

Étude des travaux de reprofilage d'une route en terre et dimensionnement des ouvrages hydrauliques dans le cadre du programme d'entretien routier : Axe KAOUARA-NAMRINGUE

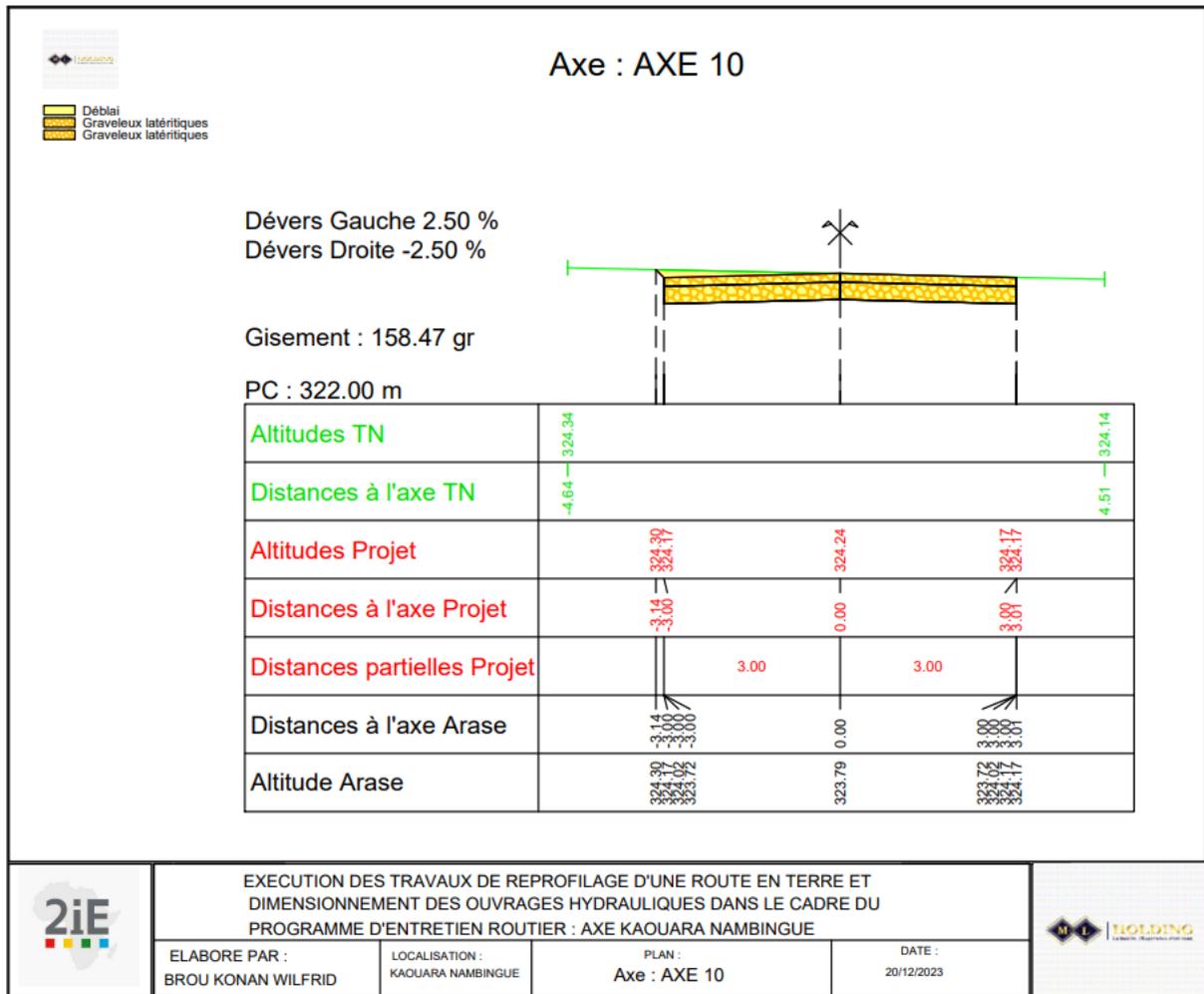


Figure 28 : Profil de la voie : Axe 10

ANNEXE 10 : COUPE TRANSVERSALE ET PLAN DE FERRAILLAGE

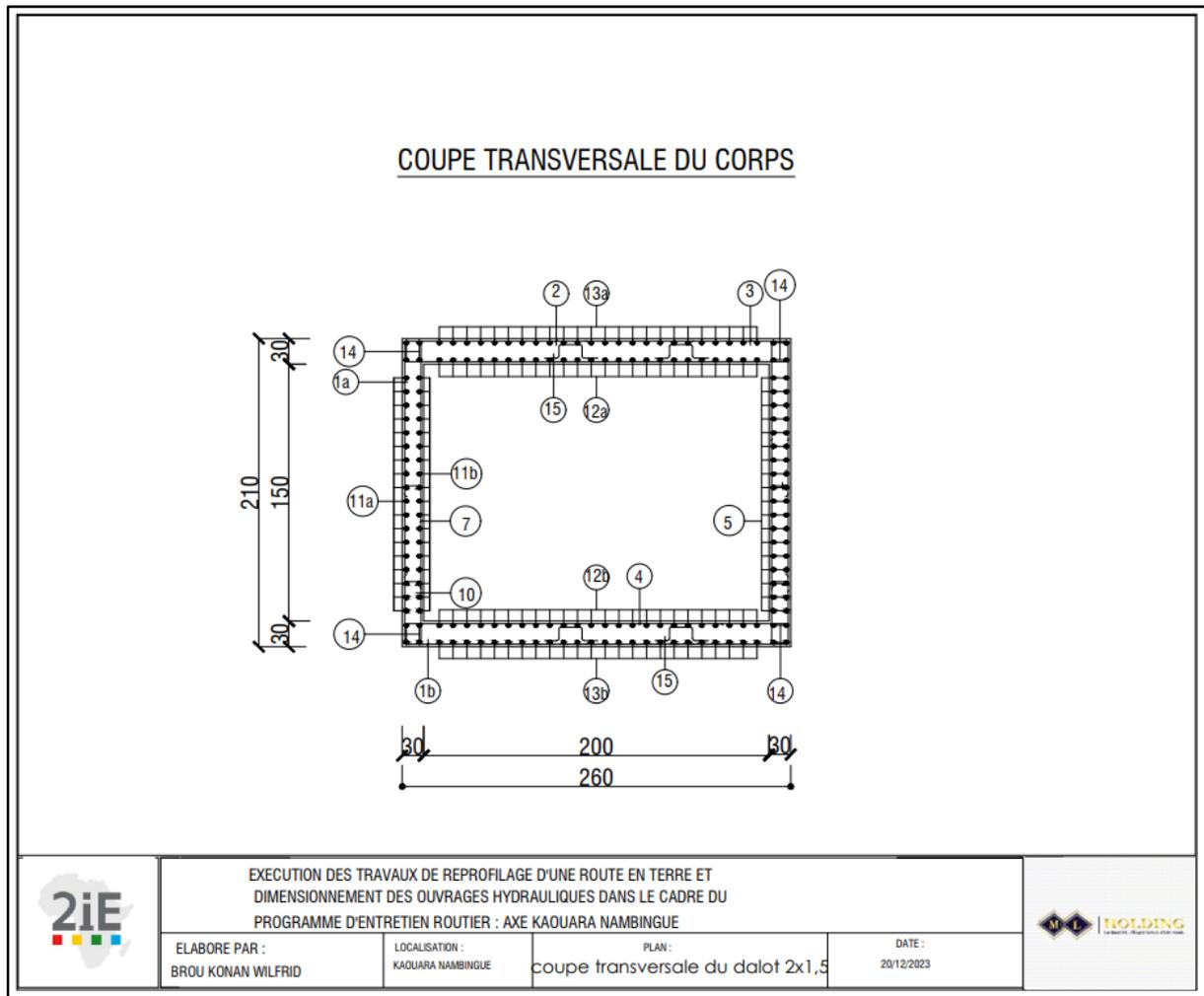


Figure 29 : Coupe transversale du corps du dalot 2 x 1.5

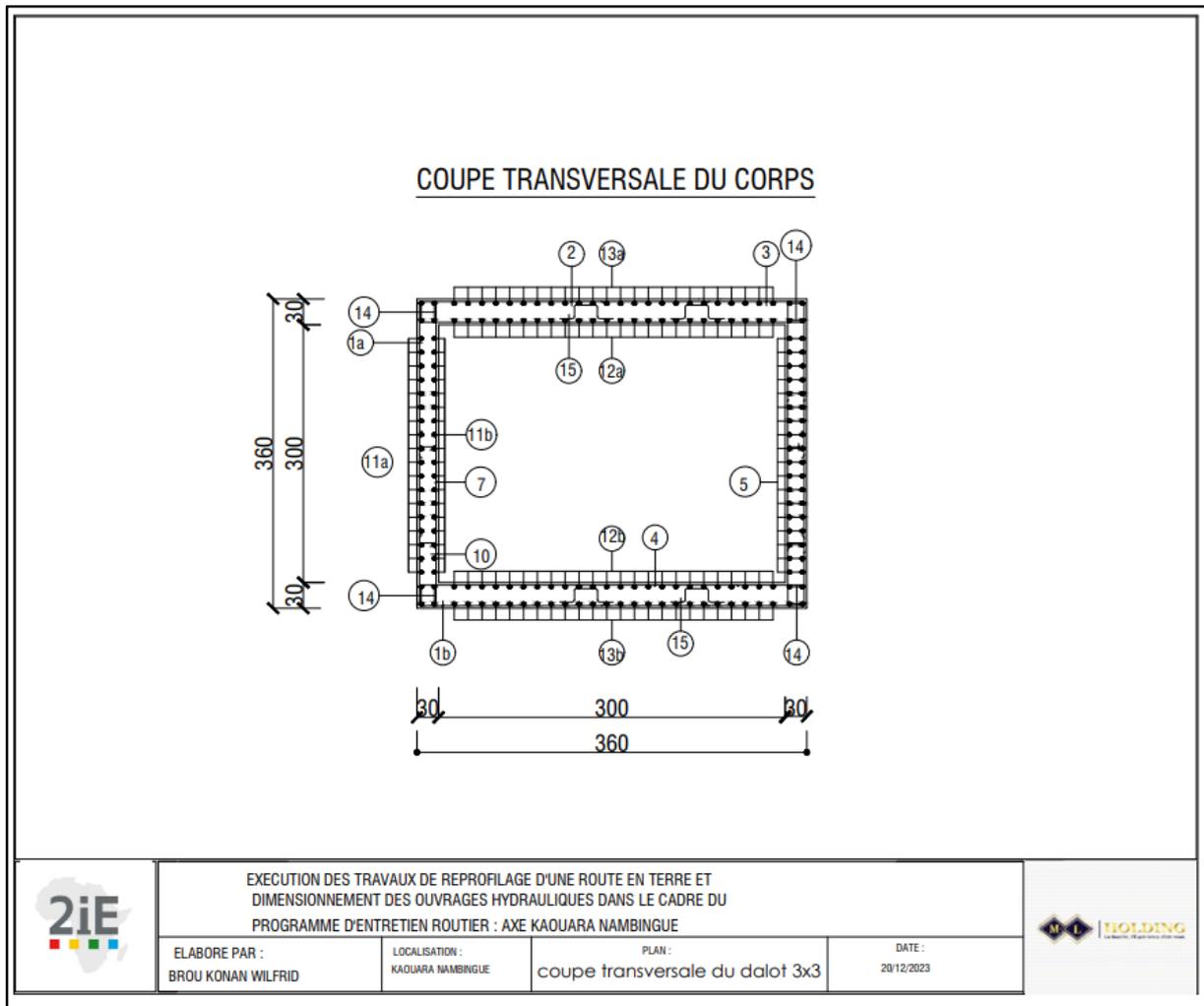


Figure 30 : Coupe transversale du corps du dalot 3 x 3

Étude des travaux de reprofilage d'une route en terre et dimensionnement des ouvrages hydrauliques dans le cadre du programme d'entretien routier : Axe KAOUARA-NAMBINGUE

| NOMENCLATURE DES ACIERS | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|--------|------|-----------|------|--------------------|-------------|---------------------|------------------|---------------------|---------|---------|
| | Représ | Nbre | DIAMETRES | | Long. 1 barre (cm) | Ecart. (cm) | Nbre élément ident. | Nbre Total barre | Longueur totale (m) | CROQUIS | |
| | | | HA | DX | | | | | | | |
| CORPS D'OUVRAGE | 1a | 34 | 12 | | 207 | 15 | 2 | 68 | 281.04 | | |
| | 1b | 34 | 14 | | 100 | 15 | 2 | 68 | 141.00 | | |
| | 2 | 34 | 12 | | 342 | 15 | 1 | 34 | 232.12 | | |
| | 3 | 34 | 14 | | 150 | 15 | 1 | 34 | 102.00 | | |
| | 4 | 34 | 14 | | 318 | 15 | 1 | 34 | 242.52 | | |
| | 5 | 2x15 | 12 | | 445 | 20 | 1 | 15 | 148.20 | | |
| | 6 | 34 | 16 | | 318 | 15 | 1 | 34 | 242.52 | | |
| | 7 | 34 | 14 | | 206 | 15 | 1 | 34 | 140.16 | | |
| | 8 | 34 | 12 | | 91 | 20 | 2 | 68 | 124.88 | | |
| | 9 | 34 | 12 | | 206 | 15 | 1 | 34 | 140.16 | | |
| | 10 | 34 | 16 | | 150 | 15 | 1 | 34 | 102.00 | | |
| | 11a | 1x15 | 12 | | 445 | 20 | 2 | 15 | 145.20 | | |
| | 11b | 1x15 | 12 | | 445 | 20 | 2 | 15 | 145.20 | | |
| | 12a | 1x15 | 12 | | 445 | 20 | 2 | 15 | 145.20 | | |
| | 12b | 1x15 | 12 | | 445 | 20 | 2 | 15 | 145.20 | | |
| | 13a | 1x15 | 12 | | 445 | 20 | 2 | 15 | 145.20 | | |
| 13b | 1x15 | 12 | | 445 | 20 | 2 | 15 | 145.20 | | | |
| 14 | 2 | 12 | | 445 | - | 6 | 12 | 118.56 | | | |
| 15 | 60 | 12 | | 58 | 4/m2 | 4 | 240 | 276.8 | | | |
| 16 | 60 | 12 | | 22.5 | 4/m2 | 3 | 180 | 81 | | | |
| RECAPITULATIF | | | | | | | | | | | |
| DIAMETRES Ø | | | | | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 20 |
| Longueur totale HA (m) | | | | | 0 | 162 | 0 | 3691.96 | 0 | 1028.16 | 1165.52 |
| Poids au ml (kg) | | | | | 0.222 | 0.395 | 0.617 | 0.888 | 1.208 | 1.578 | 2.466 |
| Poids total (kg) | | | | | 0 | 63.99 | 0 | 3278.46 | 0 | 1622.44 | 2874.17 |
| TOTAL ACIER HA : | | | | | 7839.06 Kg | | | | | | |

| | | | |
|---|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| EXECUTION DES TRAVAUX DE REPROFILAGE D'UNE ROUTE EN TERRE ET DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES DANS LE CADRE DU PROGRAMME D'ENTRETIEN ROUTIER : AXE KAOUARA NAMBINGUE | | | |
| ELABORE PAR : BROU KONAN WILFRID | LOCALISATION : KAOUARA NAMBINGUE | PLAN : Nomenclature des Aciers | DATE : 20/12/2023 |

Figure 31 : Nomenclature des aciers

Étude des travaux de reprofilage d'une route en terre et dimensionnement des ouvrages hydrauliques dans le cadre du programme d'entretien routier : Axe KAOUARA-NAMRINGUE

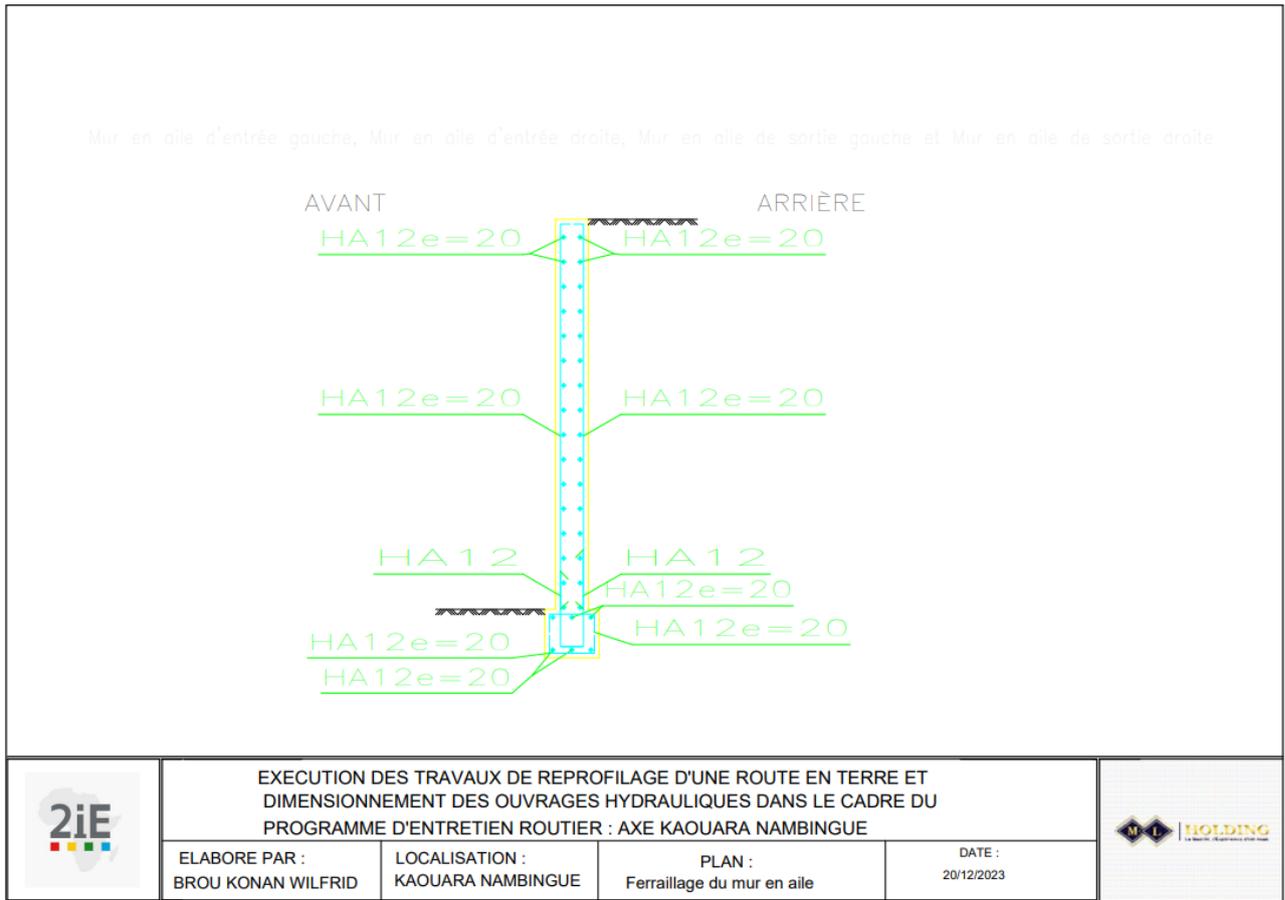


Figure 32 : Plan de ferrailage du mur en aile du dalot

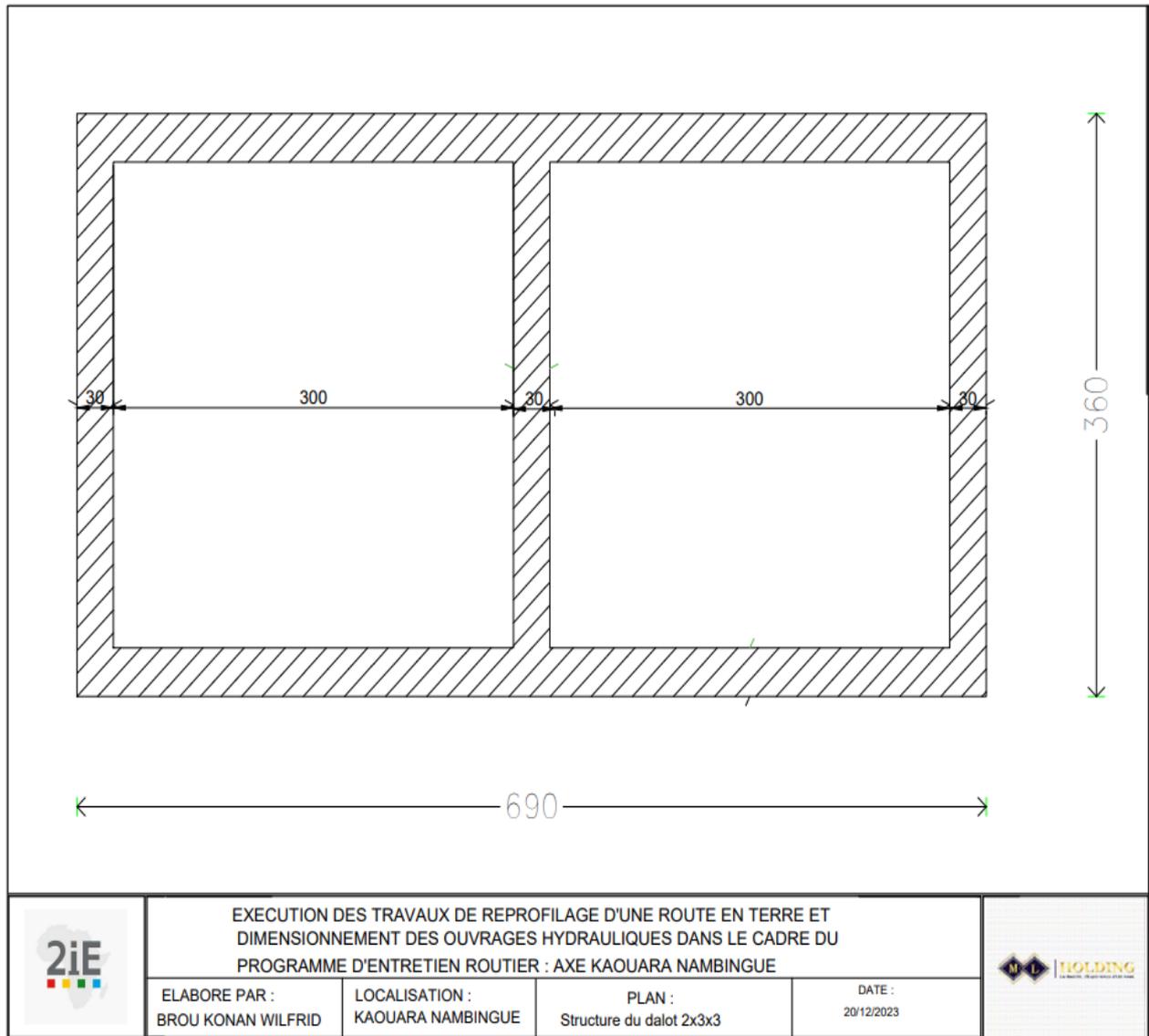


Figure 33 : Structure du dalot 2 x 3 x 3

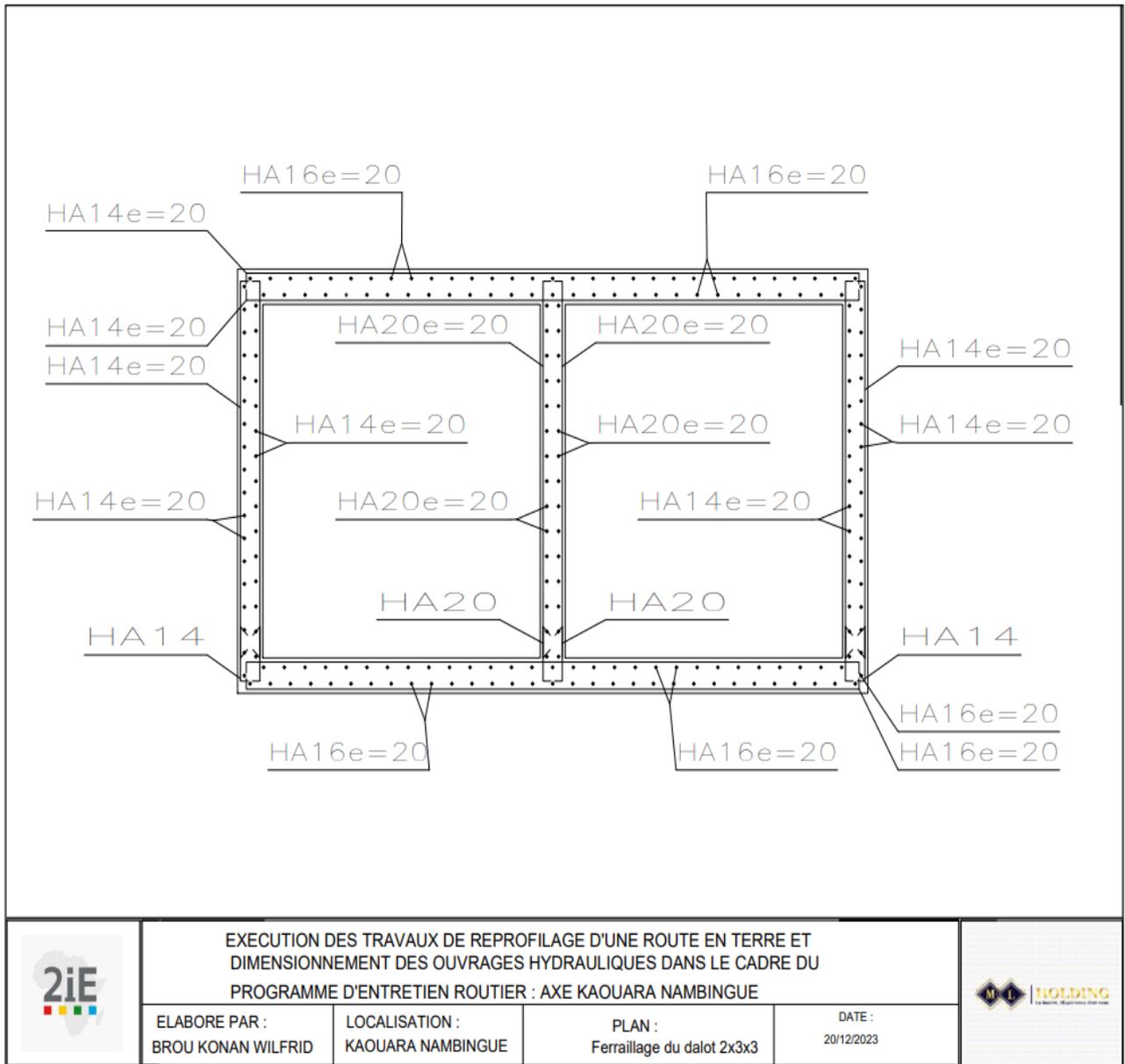


Figure 34 : Plan de ferrailage du dalot 2 x 3 x 3

ANNEXE 11 : PROFIL EN TRAVERS

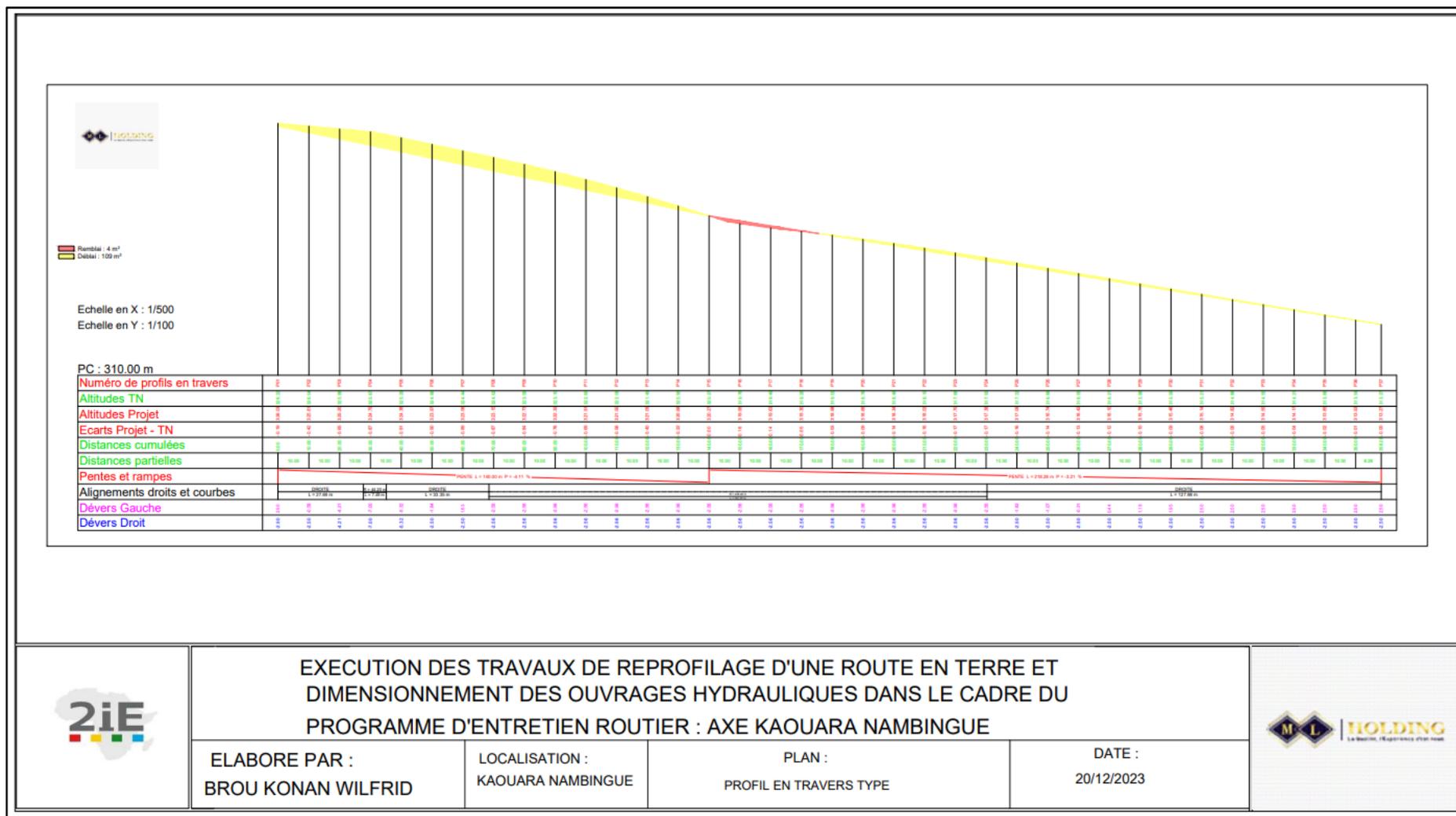


Figure 35 : Profil en travers de la voie

Étude des travaux de reprofilage d'une route en terre et dimensionnement des ouvrages hydrauliques dans le cadre du programme d'entretien routier : Axe KAOUARA-NAMRINGUE

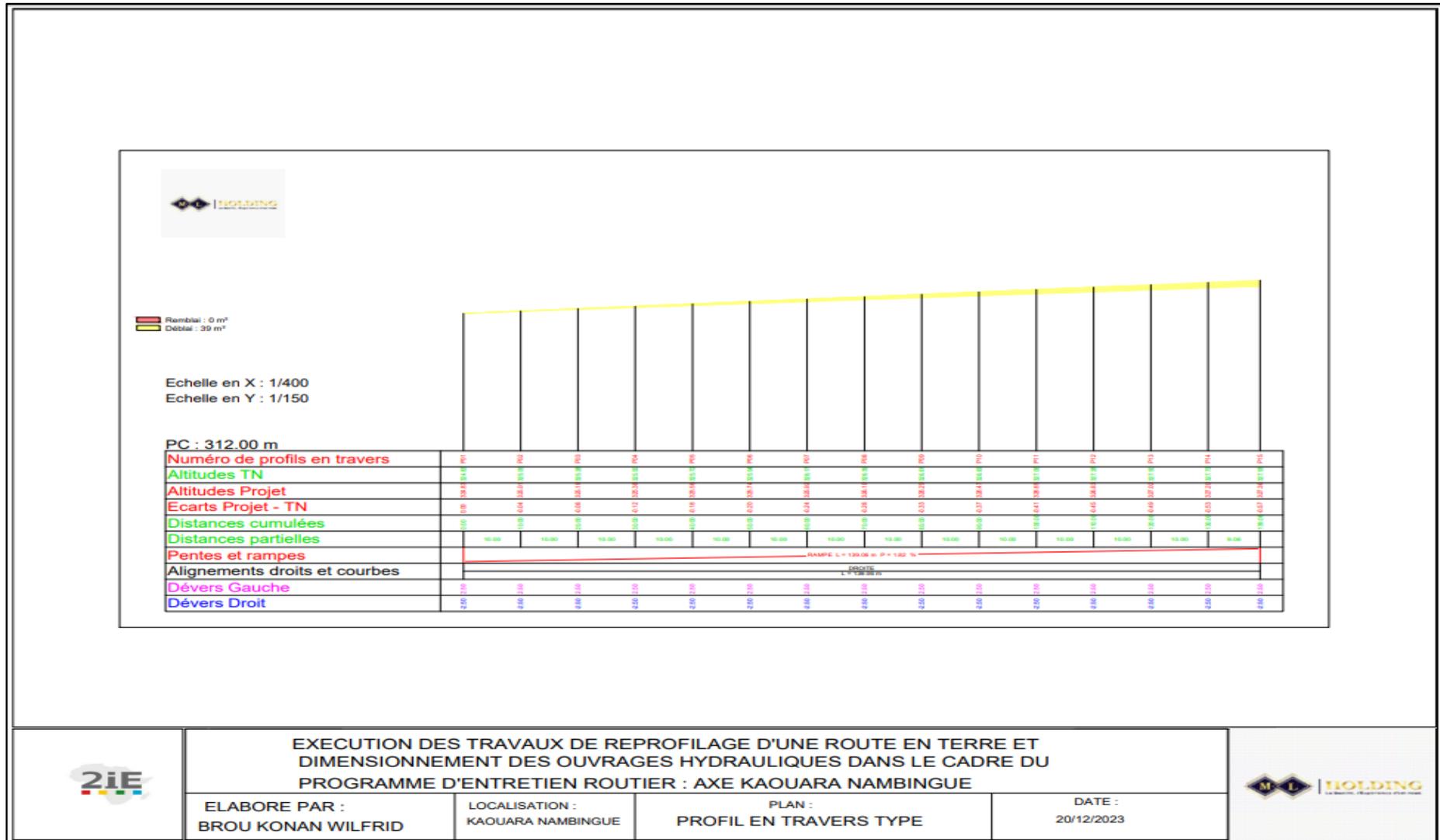
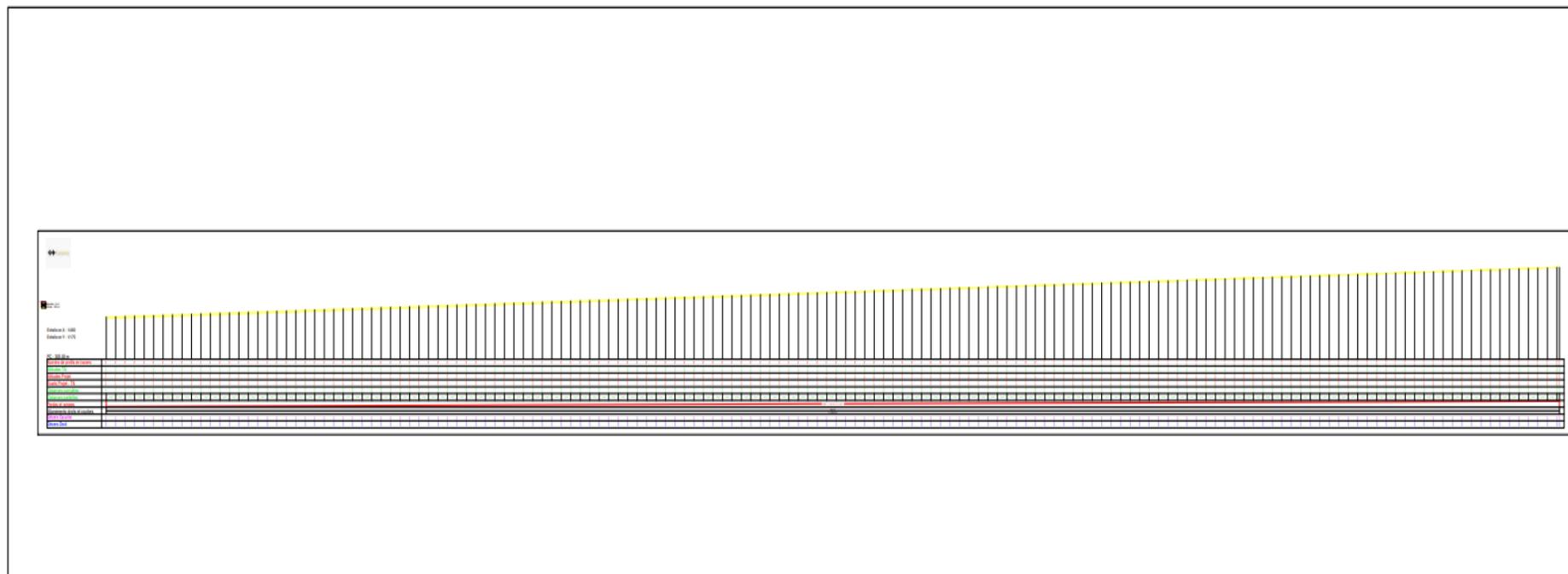


Figure 36 : Profil en travers type

Étude des travaux de reprofilage d'une route en terre et dimensionnement des ouvrages hydrauliques dans le cadre du programme d'entretien routier : Axe KAOUARA-NAMBINGUE

Figure 37 : Profil en travers (axe KAOUARA - NAMBINGUE)



| | | | | |
|--|---|-------------------------------------|----------------------------------|---|
|  | EXECUTION DES TRAVAUX DE REPROFILAGE D'UNE ROUTE EN TERRE ET DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES DANS LE CADRE DU PROGRAMME D'ENTRETIEN ROUTIER : AXE KAOUARA NAMBINGUE | | |  |
| | ELABORE PAR : BROU KONAN WILFRID | LOCALISATION : KAOUARA NAMBINGUE | PLAN : PROFIL EN TRAVERS TYPE | |

Étude des travaux de reprofilage d'une route en terre et dimensionnement des ouvrages hydrauliques dans le cadre du programme d'entretien routier : Axe KAOUARA-NAMBINQUE

ANNEXE 12 : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

Tableau 39 : Devis quantitatif et estimatif

| N° | Désignation | Unité | Quantité | Prix unitaire (F CFA) | MONTANT (F CFA) |
|-----|--|----------------|----------|-----------------------|--------------------|
| 100 | INSTALLATION DE CHANTIER | | | | |
| 101 | Installation générale de chantier | ft | 1 | 30 000 000 | 30 000 000 |
| 102 | Amenée et repli du chantier | ft | 1 | 20 000 000 | 20 000 000 |
| | SOUS TOTAL SERIE 100 | | | | 50 000 000 |
| 200 | TRAVAUX PREPARATOIRES | | | | |
| 201 | Débroussement | m ² | 260 000 | 731 | 190 060 000 |
| 202 | Décapage de la terre végétale | m ² | 100 000 | 200 | 20 000 000 |
| | SOUS TOTAL SERIE 200 | | | | 210 060 000 |
| 300 | TERRASSEMENT GENERAUX | | | | |
| 301 | Déblai mis en dépôt | m ³ | 5754 | 2000 | 11 508 000 |
| 302 | Réglage, mise en forme et compactage de la plate-forme | m ³ | 59 277 | 1000 | 59 277 000 |
| 303 | Remblai d'emprunts | m ² | 1 305 | 15000 | 19 575 000 |
| 304 | Purge de matériaux de mauvaise portance | m ² | 645 | 10 000 | 6 450 000 |
| 305 | Géotextiles de 300gr /m ³ | m ² | 9 500 | 4 500 | 42 750 000 |
| | SOUS TOTAL SERIE 300 | | | | 139 560 000 |
| 400 | CHAUSSEE | | | | |
| 401 | Rechargement en matériaux latéritiques pour couche de forme | m ³ | 13 000 | 5 000 | 65 000 000 |
| 402 | Rechargement en matériaux latéritiques pour couche de roulement d'épaisseur comprise entre 15 cm et 20 cm. | m ³ | 8 00 | 6 500 | 5 200 000 |
| | SOUS TOTAL SERIE 400 | | | | 70 200 000 |
| 500 | OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT | | | | |
| 501 | Fouille en terrains de toute nature | m ³ | 1 113 | 4 500 | 5 008 500 |
| 502 | Béton de propreté dosé à 150 kg/m ³ | m ³ | 320 | 80 000 | 25 600 000 |
| 503 | Armatures | kg | 195 068 | 1 200 | 234 081 600 |
| 504 | Perrés maçonnés | m ² | 730 | 25 000 | 18 250 000 |
| 505 | Enrochement | m ³ | 103 | 15 000 | 1 545 000 |
| 506 | Fourniture et pose de gabions | m ³ | 206 | 40 000 | 8 240 000 |
| 507 | Fourniture et pose gargouille en inox 100 mm | u | 20 | 15 000 | 300 000 |
| 508 | Enduit bitumineux pour badigeonnage des parements enterrés du dalot | m ² | 1 540 | 2 300 | 3 542 000 |
| | SOUS TOTAL SERIE 500 | | | | 296 567 100 |
| 600 | SIGNALISATION-DIVERS | | | | |
| 601 | Panneau signalisation type B et E | u | 8 | 90 000 | 720 000 |

Étude des travaux de reprofilage d'une route en terre et dimensionnement des ouvrages hydrauliques dans le cadre du programme d'entretien routier : Axe KAOUARA-NAMRINGUE

| | | | | | |
|-------------------------------|---|----|-----|-----------|--------------------|
| 602 | Balise de signalisation et de virage | u | 30 | 20 000 | 600 000 |
| 603 | Fourniture et pose garde-corps S8 pour dalots | ml | 100 | 120 000 | 12 000 000 |
| 604 | Appui de l'Unité de Gestion du projet pour le suivi des travaux | ft | 1 | 200 000 | 200 000 |
| | SOUS TOTAL SERIE 600 | | | | 13 520 000 |
| 700 | MESURES ENVIRONNEMENTALES ET SOCIALES | | | | |
| 701 | Remise en état des emprunts | ft | 1 | 7 000 000 | 7 000 000 |
| 702 | Remise en état des carrières | ft | 1 | 7 000 000 | 7 000 000 |
| 703 | Séances de sensibilisation sur le VIH/SIDA et le COVID 19 | ft | 1 | 500 000 | 500 000 |
| | SOUS TOTAL SERIE 700 | | | | 14 500 000 |
| TOTAL HORS TAXE (FCFA) | | | | | 794 407 100 |
| TVA 18 % (FCFA) | | | | | 142 993 278 |
| TOTAL TTC (FCFA) | | | | | 937 400 378 |