



ETUDE TECHNIQUE D'EXECUTION D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE L'AVENUE DU KAWAR DANS LA VILLE DE NIAMEY

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

SPECIALITE : GENIE-CIVIL ET HYDRAULIQUE

OPTION : Routes et Ouvrages d'Art

Présenté et soutenu publiquement le 18 Janvier 2018 par

Mahamadou Maarouf MAMAN ISSA (n° : 20130696)

Encadrant 2iE : Mme Marie-Thérèse MBENGUE, Assistant d'enseignement et de
recherche à 2iE.

Maître de stage : M. Djibo MAIDAWA, Ingénieur et Directeur général

Structure d'accueil du stage : BELT-SARL NIGER

Jury d'évaluation du stage :

Président : **Dr LAWANI Mounirou**

Rapporteurs : **M. Roland YONABA**

M. Amadou SIMAL

Promotion [2018/2019]

DEDICACES

Je dédie ce travail qui n'aura jamais pu voir le jour sans les soutiens indéfectibles et sans limite de mes chers parents qui ne cessent de me donner avec amour le nécessaire pour que je puisse arriver à ce que je suis aujourd'hui.

Je dédie ce travail aussi à ma famille, spécialement à mon frère Mansour MAMAN ISSA pour son soutien indéfectible.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier le bon Dieu le tout puissant de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail. Nous tenons à exprimer notre gratitude et notre reconnaissance à tous ceux qui, près ou de loin, ont contribué à la rédaction de ce présent mémoire.

Je saisis cette occasion pour remercier particulièrement :

- L'Institut International d'Ingénierie de l'Eau de l'Environnement (2iE).
- Dr LAWANE GANA Abdou, Chef de département Génie Civil et Hydraulique, 2iE
- M. DJIBO Maidawa ; Directeur General de BELT-SARL
- Mme Marie Thérèse MBENGUE, assistante d'enseignement et de recherche à 2iE et encadrant pédagogique du présent mémoire pour ses conseils et remarque.
- M. Elh DJIBO Maidawa, encadrant externe de ce mémoire et son Directeur Technique M. HAROUNA Dan Baba, pour m'avoir accepté comme stagiaire et l'opportunité de travailler dans leur équipe.
- Toute l'équipe administrative et le corps professoral de l'institut 2iE;
- A tous les personelles de BELT
- Tous nos amis et frères 2iE auxquels nous réitérons nos profondes gratitude pour leur soutien et encouragement.

Mes sincères remerciement vont en fin à l'endroit de tous ceux qui, de près ou de loin ont apporté leur contribution de manière directe ou indirecte à la rédaction du présent document. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

RESUME

Le présent projet s'inscrit dans le cadre de la politique du gouvernement de la république du Niger à travers son volet renaissance qui a adopté un ambitieux programme de renforcement et de préservation des routes. Ce mémoire porte sur l'étude technique d'exécution d'aménagement et de bitumage de l'avenue de Kawar ville de Niamey : tronçon du PK 0+000 au PK 1+0459. Le niveau de dégradation rencontré sur cette route est très élevé et est dû à un manque d'entretien de la part des collectivités territoriales. La méthodologie utilisée pour le dimensionnement a permis d'aboutir à une Combinaison de la classe de trafic T2 et la classe de portance sol S4 ce qui nous permettra d'avoir la nouvelle structure de chaussée constituée d'un revêtement en enduit superficiel tri couche, d'une couche de base de 20 cm en graveleux latéritique et d'une couche de fondation de 20 cm en graveleux latéritique, préalablement recyclées. L'assainissement routier a pour objectif de maintenir la chaussée hors d'eau afin d'éviter la submersion de la route, nous avons un dalot cadre à deux ouvertures (2*1,5*1) transportant un débit de 8,93 m³/s, au PK0+900, les caniveaux sont tout au long de la voie, avec un débits d'eau à d'évacuer de 1,3 m³/s traversant jadis la chaussée et les habitations. Les signalisations routières verticales et horizontales ont été placées à différents tronçons et points de la route pour garantir la sécurité.

Une étude d'impact environnemental a permis d'identifier et d'évaluer les impacts, des mesures d'atténuations ont été proposées pour que le projet s'inscrive dans la logique du développement durable. Tout projet a un coût, celui-ci ne faisant pas exception, la somme du présent projet est de cinq cent vingt-six millions six cent cinquante-deux mille cinq cents Frac CFA HT (526 652 500 FCFA HT).

Mots Clés

1 – Réhabilitation

2 – Structure de la Chaussée

3 – Aménagement

4 - Bitumage

5 – Assainissement

ABSTRACT

This project is part of the policy of the Government of the Republic of Niger through its renaissance component, which has adopted an ambitious programme of strengthening and preserving roads. This brief deals with the technical study of the development and bitumen execution of Kawar Avenue in The city of Niamey: a section of the PK 0-000 to PK 1-459. The level of degradation encountered on this road is very high and is due to a lack of maintenance on the part of local authorities. The methodology used for sizing resulted in a combination of the T2 traffic class and the S4 floor lift class for a 20 cm thick natural gravel reinforcement on the foundation and base layers. 15 cm thick previously recycled. Road remediation has enabled the adoption of a two-opening frame dalot (2-1.5-1), at PK0-900, the gutters are all along the way, they allow to evacuate the water flows that once cross the roadway and the houses Road signs verticals and horizontals have been placed at different sections and points of the road to ensure safety.

An environmental impact study identified and assessed the impacts, and mitigation measures were proposed to ensure that the project was part of the sustainable development agenda.

Every project has a cost, the latter being no exception, the sum of this project is five hundred and twenty-six million six hundred and fifty-two thousand five hundred Franc CFA HT (526 652 500 FCFA HT).

Keywords

- 1 - Rehabilitation**
- 2 - Structure of the Sock**
- 3 - Bringing in**
- 4 Bitumage**
- 5 Assainissement**

LISTE DES ABREVIATIONS

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

BELT : Le bureau d'étude et laboratoire des techniques de constructions civiles

ICTAVRU : Instructions sur les Conditions Techniques d'aménagement des voies rapide urbaine

BAEL91 : Béton Armé au Etats limites

CBR : California Bearing Ratio

CIEH : Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques

DAO : Dossier d'appel d'offre

EIES : Etudes d'Impact Environnemental et Social

ES : Equivalent sable

HA : Acier Haute Adhérence

HT : Hors taxe

LCPC : Laboratoire Centrale de ponts et chaussées

LEMHaD : Laboratoire Eco-Matériaux Habitats Durable

MST : Maladie sexuellement Transmissible

NE : Nombre équivalent

OPM : Optimum Proctor modifié

PL : Poids lourds

CPT : Cahier des prescriptions techniques

ELS : Etat limite de service

ELU : Etat limite ultime

SETRA : Service d'Entretien des Routes et des Tavaux d'Aménagement

SIDA : Syndrome d'Immunodéficience acquise

TDR : Terme de référence

TVA : Taxe sur Valeur ajoutée

TMJA : Trafic moyen journalier annuel

VRU : Voirie Rapide Urbaine

Sommaire

<i>Dédicaces</i>	<i>ii</i>
<i>Remerciements</i>	<i>iii</i>
<i>Résumé</i>	<i>iv</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>v</i>
<i>LISTE DES ABREVIATIONS</i>	<i>vi</i>
<i>I. INTRODUCTION</i>	<i>1</i>
<i>II. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ETUDE.</i> ..	<i>3</i>
2.1. Présentation de la structure d'accueil	3
2.2. Présentation de la zone d'étude.....	4
<i>III. PRESENTATION DU PROJET</i>	<i>8</i>
3.1. Contexte et justification du projet.....	8
3.2. Objectif du projet.....	8
<i>IV. METHODOLOGIE DE CONCEPTION</i>	<i>10</i>
<i>V. ETUDE TECHNIQUE</i>	<i>12</i>
4.1 Conception géométrique	12
4.2 Etude géotechnique et dimensionnement structural de chaussée	14
<i>VI. ASSAINISSEMENT ROUTIER ET DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES</i>	<i>24</i>
5.1 Étude hydrologique et hydraulique	24
5.2. Étude hydraulique.....	31
<i>VII. SECURITE ROUTIER ET ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL</i>	<i>36</i>
6.1 Signalisation et sécurité routière.....	36
6.2 Les signalisations verticales.....	38
6.3 Eclairage public	39
7.1 ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL	39
	vii

7.2 Description des impacts	40
VIII. ETUDE FINANCIER DU PROJET	43
8.1. Etude d'avant métré.....	43
IX. CONCLUSION GENERALE.....	46
Bibliographie	47
ANNEXES	48

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1:Rayons en tracé en plan (UCTAVRU) Mars 2009	13
Tableau 2 Caractéristique géométrique du profil en long (UCTAVRU) Mars 2009.....	13
Tableau 3:Résultats géotechnique du sol support	14
Tableau 4: Résultats de comptage du trafic	17
Tableau 5: Classes du trafic	18
Tableau 6: Classes de portance	19
Tableau 7: variantes proposes	19
Tableau 8:Module de Young des couches de chaussée	21
Tableau 9: Résultats des contraintes et déformations admissible	22
Tableau 10:Résultats de vérification des sollicitations Alize	22
Tableau 11: Récapitulatif de la structure retenue.....	23
Tableau 12: Caractéristiques du bassin versant	25
Tableau 13: Pluie de retour 10 ans et 100 ans.....	27
Tableau 14: Le débit de dimensionnement caniveaux	28
Tableau 15 : Tableau coefficient de ruissellement.....	30
Tableau 16: Résultat du débit calculé par la méthode rationnelle	31
Tableau 17: Choix du débit de projet.....	31
Tableau 18: variable d'entrée de dimensionnement	32
Tableau 19: Récapitulatifs des sections	32
Tableau 20: Aciers théoriques calcules et choix des armatures du caniveau.....	34
Tableau 21: Dimension du dalot	34
Tableau 22: Aciers théorique calcules et choix des armatures du dalot	35
Tableau 23:Description des impacts	40
Tableau 24: Récapitulatif du cout global	45

Tableau 25: caractéristiques de l'échantillon.....	52
Tableau 26:Fréquence et variable réduite par la loi de GUMBEL	52
Tableau 27:la détermination des section caniveau.....	53
Tableau 28: Détermination de la profondeur amont du dalot	55
Tableau 29:Détermination de la pente critique du dalot	56
Tableau 30:vérification de la vitesse:.....	56
Tableau 31: valeur du coefficient bc	71
Tableau 32: calcul des charges sous système bc	72
Tableau 33: cadre juridique.....	90
Tableau 34: Bilan des impacts positifs et négatifs	92
Tableau 35:mesure d'atténuation.....	94

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme de la structure	4
Figure 2:Localisation de zone d'étude et la ville de Niamey	4
Figure 3 : Etat de la voie existante	9
Figure 4:comportement d'une chaussée souple	20
Figure 5: Délimitation du bassin versant	25
Figure 6: Ajustement de la loi de GUMBEL	27
Figure 7: coefficient de ruissellement	29
Figure 8: résumé des étapes de dimensionnement de dalot	33
Figure 9: disposition de deux camions dans le sens transversal (sous-système Bc)	71
Figure 10: configuration sous-système Br	72

I. INTRODUCTION

CONTEXTE GENERAL ET PROBLEMATIQUE

La route est l'un des principaux facteurs déterminants pour la croissance économique d'un pays. C'est à travers elle que la plupart des échanges entre les hommes se font, surtout en Afrique. L'accessibilité des villes et les échanges commerciaux sont une des conditions fondamentales pour l'essor économique d'un pays. L'économie du Niger repose principalement sur l'exploitation des potentialités agro-Sylvio-pastorales. Ainsi les autorités nigériennes ont mis en place une politique de développement du réseau routier afin d'assurer une meilleure circulation des biens et services et des facteurs de production.

Vaste pays du sahel, le Niger est un pays enclavé dont la capitale Niamey est située à plus de 1000 km du port maritime le plus proche (Cotonou au Benin). C'est un vaste territoire avec une superficie d'environ 1.267.000 km², et une population de 17.138.707 habitants (recensement général de la population en 2012), dont la majorité vit en zone rurale. Du fait de sa situation géographique, le pays a besoin de se doter d'un important réseau d'infrastructure routier, afin de faciliter l'accès aux biens et services pour les populations.

Au Niger, le transport s'effectue à plus de 90% par voie terrestre notamment par la route (selon le ministère de transport), les autres modes de transport tel que le fluvial et l'aérien sont très faiblement développés. Le rail est à ses débuts avec la construction de la ligne Niamey-Dosso (140km) non encore opérationnelle, tandis que le maritime est inexistant dû à l'enclavement du pays.

En 2016, le réseau routier national comprenait 21 219 km dont 4 522,3 km de route bitumée, 8.569,4km, de route en terre (route en terre aménagées et route en terre sommaire) et 7.127 km de piste sommaire. Ces chiffres cachent une autre réalité, qui est celle de la problématique du développement des voiries urbaines. En effet dans toutes les grandes villes du pays, on constate une importante dégradation d'une grande partie du réseau existant qui est à un manque d'entretien.

Le présent projet s'inscrit dans le cadre de l'ambitieux programme de réhabilitation des infrastructures et des équipements dont la capitale du Niger bénéficie en priorité, afin de faire de Niamey une ville moderne à l'image des autres capitales de la sous-région.

Ainsi, il est question dans nos travaux d'apporter une solution permettant la remise en état du tronçon Mali-Béro- Niamey-Nyala-Bobiel qui est de longueur 1,045 km. Ce rapport intitulé : **« Etude technique d'exécution d'aménagement et de bitumage de l'avenue du Kawar dans la ville de Niamey »**, et composé de six (6) grandes parties, représente une restitution exhaustive de nos interventions.

- ✓ La première partie présente la structure d'accueil ;
- ✓ La deuxième partie présente le projet dans son ensemble ;
- ✓ La troisième partie explique la méthodologie de conception ;
- ✓ La quatrième partie l'étude technique du projet dans sa globalité ;
- ✓ La cinquième partie quant à elle se focalise sur l'étude financière du projet ;

- ✓ La dernière partie se penche sur l'étude d'impact environnementale et sociale.

II. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ETUDE.

2.1. Présentation de la structure d'accueil

2.1.1 Bref historique de BELT

BELT SARL est un cabinet de droit Nigérien agréé dans le domaine d'étude civil dans la sous-région. Créé en 2010, BELT-SARL est d'abord un laboratoire d'étude géotechnique et de recherche, mais aussi un bureau d'étude technique et de contrôle des travaux.

Le Bureau d'Etude et Laboratoire des Techniques de constructions civiles BELT-SARL a son siège à Niamey, dans la commune I, plus précisément dans le quartier recasement sur la troisième latérite.

2.1.2. Domaines d'activités de BELT

BELT-SARL compte à son actif plusieurs grand projets parmi lesquels on peut citer le Centre de Conférence Mahatna Ghandi et l'Hôtel Radisom Blu.

Les activités de BELT-SARL sont axées essentiellement sur :

- ✓ Etude et contrôle des travaux (Bâtiments, routes et ouvrages d'Art)
- ✓ Etude Géotechnique
- ✓ Formulation et contrôle de béton
- ✓ Etude Géophysique
- ✓ Bathymétrie, Ouvrages des Mobilisation des Eaux
- ✓ Expertise, Location des Matériels de Laboratoire
- ✓ Ouvrages spéciaux.

2.1.3 l'organisation de BELT

BELT-SARL est aujourd'hui présent dans presque toutes les régions du pays et est en train de s'imposer comme un acteur majeur du génie civil au Niger.

BELT-SARL regorge de personnel hautement qualifié et expérimenté, et dispose d'un parc de matériel conséquent tel que comptant plusieurs engins, appareils et instruments de dernière génération, la Figure 1 ci-dessous présente l'organigramme la structure.

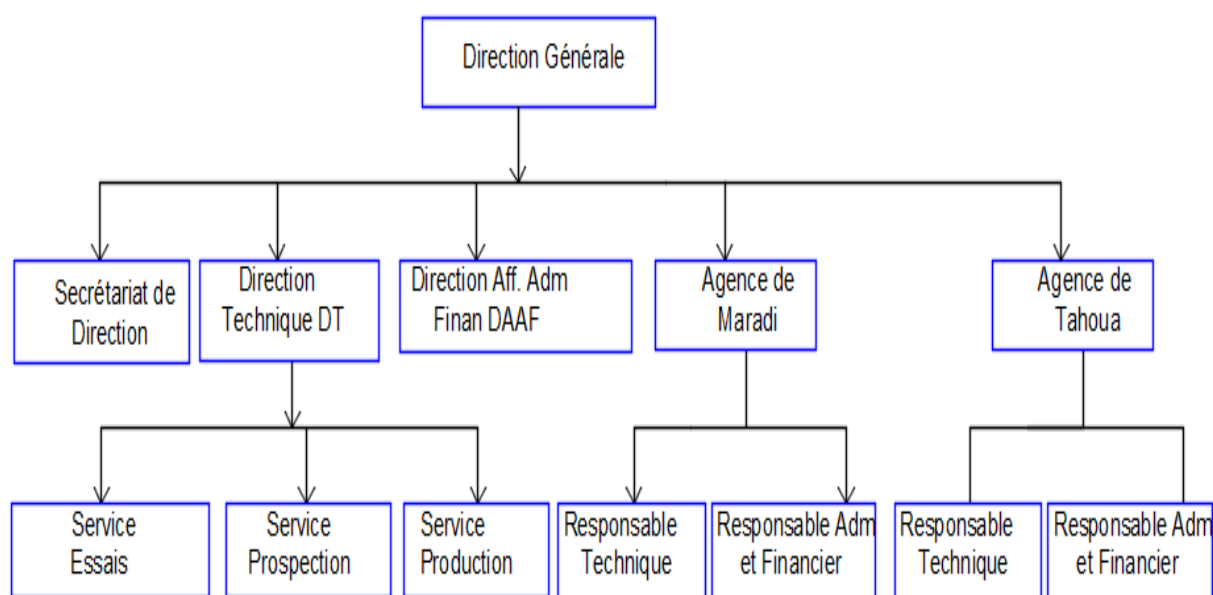


Figure 1: Organigramme de la structure

2.2. Présentation de la zone d'étude

2.2.1. Localisation de la zone d'étude

La région de Niamey est située dans la partie Sud-ouest du Niger entre les latitudes 13°35' et 13°24' Sud et les longitudes 2°15' Est. Son altitude est comprise entre 160 m et 250 m et ses limites administratives s'étendent sur 552,27 km² dont environ 297,46 km² de superficie urbanisée. Les détails de la localisation se présentent sur la carte suivante. Elle est traversée du Nord-Ouest vers le Sud-est par le fleuve Niger sur une longueur de 15 km. la Figure 2 ci-dessous présente la ville de Niamey et la zone du projet.

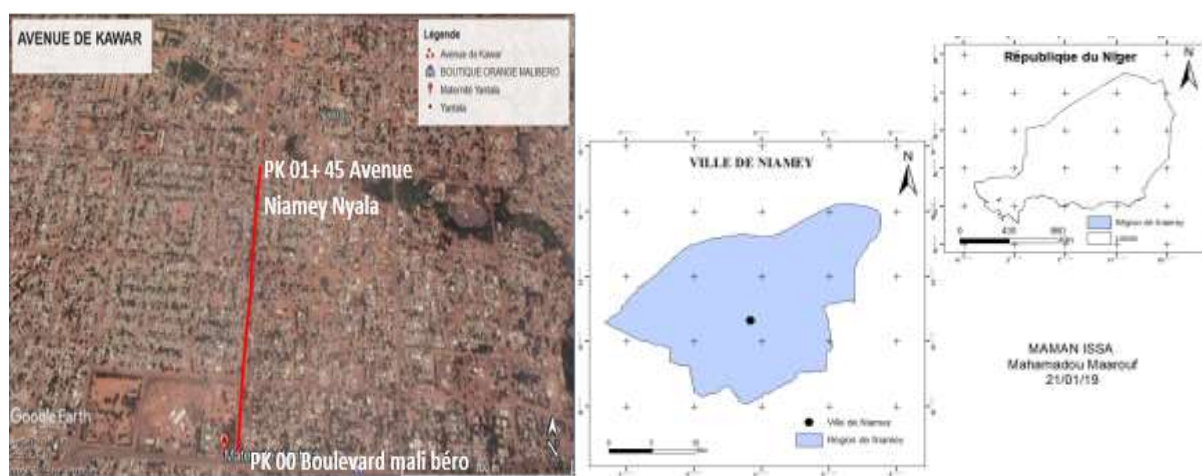


Figure 2: Localisation de zone d'étude et la ville de Niamey

2.2.2. Caractéristique physico-naturel de zone

a. Climat

Le climat est de type sahélien avec une pluviométrie variant de 500 à 700 mm par an. Les températures moyennes varient de 18 ° en janvier à 45 ° C en avril. Les vents dominants sont : l'harmattan (chaud et sec et parfois poussiéreux), et la mousson (vent chargé d'humidité et annonciateur des pluies)

C'est l'atmosphère des deux saisons qui couvre la zone d'étude au cours de l'année à savoir :

- Une saison des pluies très courte de trois à quatre mois allant de juin en septembre ;
- Une longue saison sèche qui dure huit à neuf mois de l'année ;

b. Reliefs et sols

Le relief de Niamey est subdivisé en deux grandes parties, le plateau qui est la rive gauche et la plaine qui est de la rive droite. L'altitude moyenne du plateau de la rive gauche est de 250 m environ. Surplombant d'une dénivellation de 20 à 25 m, ce plateau occupe le plus grand espace urbanisé. La plaine de la rive droite est la zone par excellence du maraîchage urbain et périurbain. Avec une altitude moyenne de 125 m, cette plaine s'étend sur plusieurs kilomètres. On note également la présence des dunes fossiles issues des périodes arides du quaternaire. Ces dunes forment au niveau des plateaux des couvertures sableuses ou des cordons dunaires longitudinaux de direction Est-Ouest. Ce sont des sols peu évolués, pauvres et faciles à travailler. Ils conviennent surtout aux cultures céréalières.

Sur le plan pédologique, On distingue trois types de sols :

Les sols des plateaux cuirassés, qui sont très dégradés et n'offrent aucune possibilité agricole du fait de leur profondeur et de leur perméabilité et surtout de leur extrême aridité ;

- Les sols à texture sableuse incluant les sols ferrugineux tropicaux des vallées sablonneuses. Ils sont utilisés à des fins agricoles pendant l'hivernage et exposés à une dégradation continue en raison du manque de jachère, du déboisement, du surpâturage et des effets néfastes de l'érosion ;
- Les sols hydro morphes localisés dans la vallée du fleuve Niger. Ils sont réservés aux cultures de contre saison et abritent la plupart des vergers de la capitale en raison de leur fertilité et des possibilités d'irrigation qu'offre le fleuve

c. Végétation

La végétation est un élément essentiel de stabilisation des sols. Elle est la résultante et un indicateur témoin de l'évolution des autres composantes du milieu physique et des ressources naturelles en eau et du sol. La végétation est essentiellement constituée.

- D'une flore naturelle le long du fleuve, des *Koris* et sur les plateaux composée respectivement de *Hyphaene thaebaïca*, *Borassus aethiopum*, *Acacia albida*, *Acacia balinates*, *Combretum (glutinosum, micranthun, nigricans, aculeatum)*, *Prosopis africana*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Terminalia mentalüü*, *Azadirachta indica* ;
- Des plantations artificielles multi équiennes (ceinture verte et espaces verts) d'une superficie de plus de 2000 hectares (selon le ministère de l'environnement).

d. Ressource en eau

La région de Niamey dispose d'une ressource considérable en eau, elles sont constituées des eaux de surface et des eaux souterraines.

- Eaux de surface

Les ressources en eau de surface de la région de Niamey proviennent en quasi-totalité du fleuve Niger et de ses affluents. Les plus hautes eaux du fleuve s'écoulent, en janvier et février (crue médiane de 2000 m³/s), tandis que les étiages ont lieu entre mai et juillet (étiage médiane de 38m³/s).

- Eaux souterraines

Dans la ville de Niamey, la profondeur de la nappe phréatique varie en fonction du terrain. Sur le plateau, elle est assez profonde dépassant souvent les soixante (60) mètres, alors que dans la bande sud et sud-est, elle est peu profonde avec des nappes alluviales et les nappes fossiles profondes. Ainsi, en termes de potentialités, le département regorge d'énormes réserves hydriques.

e. Activité socioéconomiques

L'agriculture, l'élevage, la pêche et l'artisanat constituent les principales activités qui occupent la majeure partie de la population. Les activités de maraîchage se sont développées ces derniers temps avec l'appui des différents partenaires au développement à travers divers projets.

Les femmes, qui représentent plus de 50% de la population, sont beaucoup présentes dans l'élevage et les travaux agricoles notamment les travaux champêtres où elles aident leurs maris. Le maraîchage, qui se pratique en contre saison, enregistre des productions d'importantes quantités de riz, tomate, pomme de terre et de patate douce.

L'élevage est la seconde activité développée, et constitue la principale source de revenus et d'épargne. Par ordre d'importance, l'élevage porte sur les bovins, ovins, caprins, camelins,

asins et la volaille. Compte tenu de la forte pression agricole sur les aires de pâturage, la transhumance est beaucoup pratiquée et consiste à conduire les animaux vers le Nord en zone pastorale en début de la saison des pluies, où ils passent toute la période avant de redescendre au sud, après les récoltes. Néanmoins, l'élevage est pratiqué sous forme d'embouche, une façon semi-intensive dans presque tous les foyers, et notamment par les femmes.

La pêche constitue aussi un élément clé est bien qu'elle soit pratique de façon artisanale sur les rives de fleuve. Le produit de cette activité est écoulé sur les différents marchés de la ville et procure des revenus monétaires qui occupent une place prépondérante dans le budget familial des pêcheurs.

L'activité artisanale est l'apanage d'une classe socioprofessionnelle spécifique des localités de la zone du projet, particulièrement les forgerons, cordonniers, tisserands, potiers, que l'on retrouve dans la ville concernée par le projet.

Des nombreux touristes sont attirés par quelques sites touristiques qui sont les gîtes d'hippopotames dans le lit du fleuve, le musée national. Les rives du fleuve constituent des lieux d'attrait touristiques non négligeables dans la zone du projet.

III. PRESENTATION DU PROJET

3.1. CONTEXTE ET JUSTIFICATION DU PROJET

La ville de Niamey voit sa surface urbanisée s'étendre de façon fulgurante sur ces quarante dernières années. La population vivant dans la ville et autour de la ville ne fait que croître. En effet, l'occupation annuelle moyenne de l'espace est de 500 hectares sous forme de lotissements sur les dix dernières années (communauté urbaine de Niamey). Par conséquent la ville de Niamey abrite actuellement plus de 40% de la population urbaine du pays (Audit urbain de Niamey, 2007).

Ce processus de croissance urbaine s'accompagne de puissants impacts sur l'environnement urbain de la capitale, particulièrement en matière d'assainissement. En effet, avec l'insuffisance des équipements de collecte, d'évacuation des eaux pluviales et de lutte contre l'érosion, on constate chaque année, des inondations qui détruisent des infrastructures collectives et des habitations dans certains quartiers de la Ville de Niamey. Mais aussi avec l'insuffisance d'infrastructures et d'accès aux services, particulièrement en matière de mobilité. Ce déficit contribue à rendre plus précaires les conditions de vie et d'habitat des populations de Niamey. Parmi ces difficultés multiples, les embouteillages immenses auxquels il fallait trouver des solutions au plus vite doivent retenir notre attention ; Afin de contrecarrer les prévisions de hausse importante du trafic induit par les perspectives de croissance du pays.

L'augmentation importante du trafic et la dégradation de certaines voies de la ville, entraîne de plus en plus d'insécurité routière, des embouteillages et des désordres dans la circulation routière. Ce qui contraste avec les bonnes pratiques de conduite et conduit ainsi à un problème circulaire. Pour résoudre ce problème le gouvernement de la 7ème république propose d'aménager un certain nombre de voies d'interconnexion afin de fluidifier la circulation et répondre au ras-le-bol de la population de Niamey.

Ces infrastructures une fois en service permettront une circulation facile et rapide dans la ville de Niamey.

Le projet d'aménagement de l'avenue du Kawar reliant le boulevard Mali-Béro et l'avenue Niamey-Nyala va dans ce sens, en permettant aux usagers d'éviter les grandes voies afin de fluidifier la circulation.

3.2. Objectif du projet

Le projet de construction de l'avenue de Kawar, vise l'amélioration de la voirie urbaine tout en induisant une fluidité du trafic urbain, la sécurité des usagers ainsi que l'embellissement et la modernisation des infrastructures de la ville de Niamey.

3.2.1 Objectif global

Afin d'atteindre l'objectif global évoqué ci-haut, nous nous sommes fixés les objectifs spécifiques suivants :

- ✓ Collecter les données ;
- ✓ Faire une étude technique détaillée de la chaussée ;
- ✓ Faire une notice d'impact environnemental ;
- ✓ Estimer le coût global du projet.

3.2.3 Etat des lieux de la chaussée existante

La voie existante étant une piste en terre construite dans les années 90, au vu de son âge et de son état de dégradation, une reconstruction complète de la route est nécessaire. La Figure 3 montre l'état de la voie.



Figure 3 : Etat de la voie existante

IV. METHODOLOGIE DE CONCEPTION

Pour atteindre efficacement l'objectif global de cette étude, il a été défini une méthodologie qui constitue un plan d'orientation permettant de décrire une chronologie des étapes à suivre.

- ✓ Etape 1 : elle consiste à faire une description de la zone de projet. Pour ce faire, une visite de terrain a été effectuée qui a pour objectif, la collecte des données auprès des services techniques compétant de la ville de Niamey. Les résultats attendus de cette mission sont des données exploitables sur le trafic, les taux d'accroissements des différents facteurs humains, les habitudes des usagers, la pluviométrie, la végétation, le relief, ainsi que toutes autres données d'ordre géographiques ou géophysiques pouvant servir à la présente étude.
- ✓ Etape 2 : elle consiste à faire une étude géométrique de la route. Pour ce faire, un levé topographique a été effectué, le choix de la vitesse de référence, et la détermination des paramètres géométriques. Les résultats attendus de cette mission sont le tracé en plan, les profils en long et en travers de la route projetée.
- ✓ Etape 3 : elle consiste à faire une étude structurale de la chaussée. Pour y arriver, une étude géotechnique a été effectuée sur les différents matériaux en place et ceux prévus pour usage dans le projet. A son issue, un dimensionnement structural de la chaussée a été fait. Les résultats attendus sont la détermination de classe de portance du sol, les épaisseurs et les caractéristiques des matériaux à mettre en œuvre.
- ✓ Etape 4 : elle consiste à faire une étude de l'assainissement routier à mettre en place. Pour ce faire une étude hydrologique a été effectuée ainsi que le choix et le dimensionnement complet des ouvrages hydrauliques.
- ✓ Etape 5 : elle consiste à faire une étude pour les signalisations et la sécurité routière, tout en procédant à une analyse du tracé en plan, étude de l'éclairage et des points de passages. Les résultats attendus de cette mission sont, une liste exhaustive des mesures à prendre afin de réduire les risques liés à la sécurité des usagers et des riverains. Entre autres mesures on pourrait avoir les types et emplacement des signalisation horizontales et verticales, les types des panneaux et leur nombre, l'implantation et le nombre de candélabre.
- ✓ Etape 6 : elle consiste à faire une notice d'impact environnemental. Afin de relever les impacts du projet sur les individus et l'environnement. Il en ressortira une liste qui se veut

exhaustive des impacts négatifs et positifs, leur origine, et la proposition de mesure d'atténuation et de bonification.

- ✓ Etape 7 : elle consiste à faire un devis quantitatif et estimation pour avoir une estimation sur le cout global dudit projet.

V.ETUDE TECHNIQUE

4.1 Conception géométrique

Elle consiste à concevoir un tracé en plan, des profils en travers types et en long (ligne rouge) dont les différentes caractéristiques répondent aux conditions de sécurité et de confort (aspect technique) tout en tenant compte des contraintes de terrain et des critères économique.

4.1.1 Norme utilisée

Notre étude porte sur une voie urbaine. Pour une bonne conception des caractéristiques géométrique du tracée, nous utiliserons comme norme, l'Instructions sur les Conditions Techniques d'aménagement des voies rapide urbaines ICTAVRU

4.1.2 Géométrie liée à la vitesse de référence

a. Type et catégorie de la route

L'élément primordial pour la catégorisation d'une route est la vitesse de référence. On appelle vitesse de référence (V_r) ou vitesse de base d'une section de route la vitesse conventionnelle qui permet de définir les caractéristiques géométriques limites d'aménagement des points particuliers de cette section.

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

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

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

b. Le tracé en plan

Le tracé en plan d'une route est constitué d'une succession de courbes et d'alignements droits séparés ou pas par des raccordements progressifs (clothoïdes). Il vise à assurer de bonnes conditions de sécurité et de confort tout en s'intégrant au mieux dans la topographie du site. Les rayons du tracé en plans et les dévers associés en section courantes sont choisis pour que le véhicule ne soit pas amené à mobiliser plus des deux tiers du frottement transversal. Afin de donner à la voie un aspect satisfaisant, et pour informer l'utilisateur suffisamment à l'avance du tracé de la route et assurer la variation progressive du dévers de façon à respecter les conditions

de stabilité et de confort dynamique (voir ANNEXE1), la norme a prescrit des valeurs de rayon minimal à respecter, ces derniers sont présentés dans le tableau1

Tableau 1: Rayons en tracé en plan (UCTAVRU) Mars 2009

Catégories des Routes	U 60	U80
Rayon minimal R_m (m)	120	400
Rayon non déversé R_{nd} (m)	200	240

c. Le profil en long

Un profil en long est une représentation d'une coupe verticale suivant l'axe de la route. Il est constitué d'une succession de segments de droites (pentes et rampes dites déclivités) et d'arcs de cercles qui sont les tangents de part et d'autre. Pour ce qui est de notre projet, nous avons tracé notre profil en nous conformant le plus possible au terrain naturel afin de minimiser les opérations de terrassement voir (ANNEXE2). Le Tableau 2 ci-dessous présente les caractéristiques du profil en long.

Tableau 2 Caractéristique géométrique du profil en long (UCTAVRU) Mars 2009

Catégorie	U60	80
Rayon normal en angle saillant	2500 m	6000 m
Rayon minimal en angle saillant	1500 m	3000 m
Rayon normal en angle saillant	1500 m	2000 m
Rayon minimal en angle rentrant	800 m	1000 m
Déclivités moyenne	6%	

d. Le profil en travers :

Le profil en travers type est une coupe transversale qui décrit les largeurs des chaussées, des accotements, les épaisseurs, le nombre de couches constituant la chaussée ainsi que les matériaux utilisés voir (ANNEXE3), les différents devers en alignement droit et en courbe. Notre route étant de 1.045 km, nous procédons à la détermination de tous les éléments du profil

➤ Largeur de la chaussée

La largeur de la voie est définie comme la largeur roulable de la route.

Pour le tronçon **Mali Béro-Niamey Nyala**, nous optons pour une chaussée Bidirectionnelle de 2*1voies nous avons une largeur de chaussée de $2*1*3.50 = 7.00$ m.

➤ Accotement

L'accotements est défini comme étant l'espace situé entre le bord de la chaussée et la limite de la plate-forme. Il est essentiellement composé des trottoirs de services et des caniveaux. La largeur d'un trottoir est fonction des différents équipements qui lui seront destinés et de sa fonction qui est celle de cheminement piétonnier. Pour notre cas nous avons opté pour une largeur de 1,5 m

➤ Le devers

Les devers ou pentes transversales ils contribuent à l'équilibre dynamique des véhicules dans les rayons de courbure faible et l'évacuation des eaux de ruissellement sur la chaussée, Dans notre cas conformément à notre choix de type la valeur de devers choisi est 2,5 %.

4.2 Etude géotechnique et dimensionnement structural de chaussée

4.2.1 Etude géotechnique

L'étude géotechnique a pour objet de connaître la nature des sols en place et d'étudier leurs structures physico-mécaniques. Elle permet aussi de déterminer les matériaux de corps de chaussée et d'identifier les carrières et emprunts qui pourraient être utilisés. Les résultats de cette étude sont des paramètres importants parce qu'ils nous permettront de connaître les différentes classes de portance des matériaux en place et celles de la carrière. Ainsi avec notre classe de portance et le trafic nous pouvons connaître l'épaisseur des différentes couches de la structure de notre chaussée.

a. Caractérisation des matériaux de la plateforme

Pour ce faire deux sondages ont été réalisés sur le tronçon à une profondeur de 1,80 m

L'ensemble des résultats de ce sondage sont résumés dans le Tableau 3 ci-dessous

Tableau 3: Résultats géotechnique du sol support

PK		Nature de matériau x	Proctor modifié		CBR		Granulométrie à 80 µm	Limite		Profondeur (m)
			Densité à OPM Kn/m³	W %	95 %	90 %	< 80 µm	WL	IP	
00+500	00+500	Sable rouge fin	1.86	8.4	8	6	11.63	-	-	1,80
00+500	1+45	Argile rouge	1.91	10.3	7	3	40.10	23.00		1,80

NB : Les résultats des essais CBR faits au BELT ont montré la présence d'un sol de classe S2 (CBR à 95 % OPM varie entre 8 et 6), pour l'axe de notre tronçon. Ces sols que nous jugeons

de mauvaise portance seront substitués. Par une couche de forme constituée d'un matériau de classe S4 (CBR à 95 % > 15)

b. Spécifications techniques des matériaux

➤ Couche de fondation

Les matériaux pour couche de fondation et de remblai contigus aux ouvrages devront répondre aux spécifications générales suivantes :

D max	< 50 mm
Pourcentage de fines 80 µm	< 35%
Limite de liquidité	< 40
Indice de plasticité	< 30
CBR à 95% de la densité sèche	≥ 15
Teneur en matière organique	< 0,5 %
Gonflement linéaire	< 0,5 %
Densité sèche	> 20Kn /m ³

➤ Couche de base

Selon le CPT (Cahier des prescriptions techniques) dudit projet, les matériaux pour couche de base doivent avoir les spécifications suivantes.

Tamis µm	Passant (%)
50	100
20	60-100
5	20-75
2	12-50
0,08	4-20
Limite de liquidité	< 40
Indice de plasticité	< 30
CBR à 95% de la densité sèche	≥ 15
Teneur en matière organique	< 0,5 %
Gonflement linéaire	< 0,5 %
Densité sèche	> 20Kn /m ³

Matériaux de viabilité

➤ Emprunts en matériaux graveleux latéritique pour le remblai et corps de chaussée

Les recherches ont été faites de façon symétrique dans les zones de projet à une distance raisonnable de l'itinéraire du projet

Trois (03) sites d'emprunt sont couramment utilisés pour les travaux routiers à Niamey.

Nous avons décidé d'utiliser l'emprunt de **Rive Droite** de par sa proximité avec notre zone de projet.

➤ Emprunt - Rive Droite

Située sur la rive du fleuve Niger à 11 km de notre **PK0,00** elle est l'extension d'une ancienne carrière et a un volume d'exploitable de plus 200000 m³

Les caractéristiques géotechniques des matériaux ainsi prélevés à partir du site se présentent comme suit :

- ✓ Passant (%) au tamis 0,08 µm est égale à 13,91
- ✓ IP est égale à 9,35
- ✓ CBR à 98 % de l'OPM est égal à 120
- ✓ CBR à 95% de l'OPM est égal à 80

➤ Carrière de roche massives pour le revêtement :

La carrière de Lossa, située à environ 80 km sur la route de Tillabéry, sera utilisée dans ce cadre de projet. Elle présente des caractéristiques satisfaisantes (le matériau provenant de cette carrière a un coefficient Los Angeles variant de 24,48% à 27,25% et a pour coefficient Micro Deval Humide variant de 9,90% à 12,33%) (Laboratoire national des travaux publics du Niger)

4.2.2 Dimensionnement de la chaussée

Le dimensionnement de la chaussée sera fait par la méthode semi-empirique CEBTP utilisée dans les pays tropicaux mettant en évidence deux facteurs essentiels qui sont la classe de portance du sol et le trafic. La vérification des résultats de CEBTP sera faite avec le logiciel ALIZE LCPC.

a. Etude du trafic

➤ Données du trafic et hypothèses de calcul :

On appelle trafic, le nombre de véhicules circulant en un point choisi d'un tronçon, par unité de temps. Pour une route projetée, le trafic est un facteur très important car il conditionne son dimensionnement.

Dans le cadre ce projet, le trafic qui a été pris en compte est le résultat de la campagne de recensement réalisé en 2019 et qui fait état d'un trafic de 65 véhicules poids lourd jours sur l'avenue de kawar.

Le Tableau 4 nous donne de façon cumulé le résultat sur le comptage de trafic moyen journalier observé sur l'itinéraire projeté:

Tableau 4: Résultats de comptage du trafic

Types de véhicule	Véhicule Particulier	Pick up	Muni-bus	Bus	Camion	Ensemble articles	Citerne	TMJA/PL	TMJA
Nombre	5235	267	18	12	34	11	9	65	5545

Au Niger les taux de croissance géométrique est considère à 5% (Ministre des infrastructures).

b. Hypothèses à considérer pour le dimensionnement :

- ✓ Essieu de référence de 13 tonnes (essieu simple),
- ✓ Durée de vie (n) de 15 ans ;
- ✓ Trafic poids lourds /jour/sens = 65 PL ;
- ✓ Coefficients de répartition transversale et de balayage transversal : 1 ;
- ✓ Taux géométrique de croissance annuelle du trafic : 5%
- ✓ Années de mise en service : 2021
- ✓ Coefficient d'Agressivité moyen CAM : 1,00
- ✓ Trafic de l'année de mis en service

En considérant une croissance exponentielle du trafic, le trafic moyen journalier annuel attendu à l'année de mise en service soit en 2021 est donné par :

$$T_0 = TMJA = T_{pl} \times (1 + i)^{n'}$$

- ✓ i: taux de croissance géométrique ;
- ✓ T₀ : trafic moyen journalier à l'année de mise en service des véhicules poids lourds de la route ;
- ✓ T_{pl} : trafic moyen journalier à l'année de comptage
- ✓ n': intervalle de temps entre l'année de comptage et l'année de mise en service ;

Ainsi après calcul, nous avons obtenu ce qui suit :

$$T_0 = 72 \text{ PL/jr/sens}$$

➤ Détermination du trafic cumule poids lourd

Pour la détermination de la structure de chaussée, le trafic qui sera pris en compte sera exprimé en nombre cumulé de poids lourd. Ainsi on a :

$$365 \sum_{1}^n t_n = 365 t_0 \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

- ✓ i : taux de croissance géométrique ;
- ✓ T₀ : trafic moyen journalier de la première année (année de mise en service) ;
- ✓ T_n : trafic moyen journalier de l'année n ;
- ✓ n : nombre d'année de projet

$$T_n = 5,74960 \times 10^5 \text{ PL}$$

Le trafic cumulé d'essieux équivalents de 13 tonnes noté NE est égal à :

$$NE = T_n \times CAM$$

$$NE = 5,74960 \times 10^5 \times 1$$

$$NE = 5,74960 \times 10^5 \text{ PL}$$

T_n : Trafic poids lourd cumule attendu

NE : trafic équivalent poids lourd

- ✓ Classes du trafic

La classe du trafic est donnée par le CEBTP qui est fonction du nombre équivalent de poids lourd et est présente dans le Tableau 5 suivant

Tableau 5: Classes du trafic

Classes du Trafic	Trafics cumules
T1	$T_1 < 5 \times 10^5$
T2	$5 \times 10^5 \leq T_2 < 1,5 \times 10^6$
T3	$1,5 \times 10^6 \leq T_3 < 4 \times 10^6$
T4	$4 \times 10^6 \leq T_4 < 1 \times 10^7$
T5	$1 \times 10^7 \leq T_5 < 2 \times 10^7$

D'après notre NE calculé nous avons un trafic de type T2.

c. Classe de portance du sol support

Cinq classes de portance fonction du CBR sont définies dans le guide de dimensionnement **CEBTP** et illustrées dans le Tableau 6 ci-dessous

Tableau 6: Classes de portance

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

D'après les études géotechniques précédemment réalisées, notre sol est de classe **S4**.

d. Choix de la structure de chaussée selon la méthode CEBTP

A partir des données obtenues et en considérant les résultats géotechniques des matériaux de la carrière la plus proche, « le guide de dimensionnement de chaussée des pays tropicaux » du CEBTP nous a permis de proposer quelques combinaisons. Ces combinaisons seront présentes dans le Tableau 7

Tableau 7: variantes proposes

CHOIX	Couche	Matériaux	Epaisseur (cm)
Variante 1	Revêtement	4 cm d'enrobe dense ou de sand-asphalt	
	Base	Graveleux latéritique naturel	15
	Fondation	Graveleux latéritique naturel	20
Variante 2	Revêtement	4 cm d'enrobe dense ou de sand-asphalt	
	Base	Grave naturelle améliorés	15
	Fondation	Graveleux latéritique naturel	20
Variante 3	Revêtement	4 cm d'enrobe dense ou de sand-asphalt	
	Base	Concasse o /d	15
	Fondation	GNT ou o/d	20
Variante 4	Revêtement	4 cm d'enrobe dense ou de sand-asphalt	
	Base	GNT OU O/D	20
	Fondation	Sable argileuse	20
	Revêtement	4 cm d'enrobe dense ou de sand-asphalt	

Variante 5	Base	Sable argileux amélioré au ciment	20
	Fondation	Sable argileux	20

Après une analyse multi critères et en tenant compte des aspects tels que la disponibilité des matériaux, l'optimisation des coûts de la réalisation, la durabilité de la structure, le degré de confort offert aux usagers, la maîtrise de technique de mise en œuvre des couches, et l'adoption des matériaux au climat nous retenons alors la variante N 1 parce qu'elle répond au mieux à notre zone de projet.

e. Vérification de la variante choisie avec alize

Il est important de rappeler que nous avons utilisé la méthode CEBTP pour le dimensionnement de la structure, qui est une méthode semi empirique. Il y a lieu d'effectuer, une vérification des déformations de la structure retenue pour mieux s'assurer de la fiabilité du dimensionnement. D'où l'utilisation du logiciel Alizé LCPC.

Le principe consiste à calculer les contraintes et les déformations qu'engendre le trafic dans les différentes couches et le sol support et par la suite, procéder à la comparaison de ces valeurs aux valeurs limites dites valeurs admissibles. La note de vérification des déformations avec Alizé est donnée en annexe 3.

➤ Choix du type de structure

La structure de la chaussée peut être de type souple, bitumineuse épaisse, semi-rigide, rigide, mixte ou inverse. Pour ce projet le choix est fait suite aux recommandations du laboratoire central de pont et chaussée de Paris (LCPC) qui propose une chaussée souple pour un trafic moyen journalier inférieur à 150 poids lourds. Son comportement mécanique sous l'effet des roues est présenté par la Figure 4 ci- dessous :

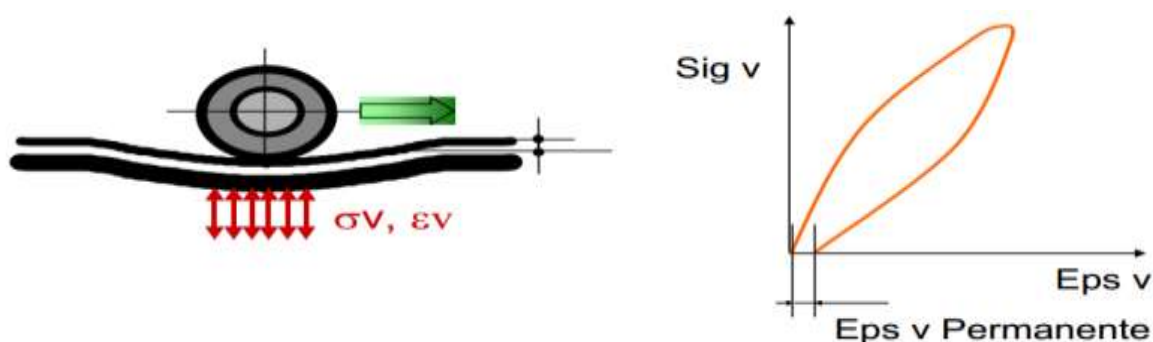


Figure 4: Comportement d'une chaussée souple

Avec :

- σ_V : les efforts verticaux transmis au sol support
- ε_V : la déformation

➤ **Paramètres et hypothèses de dimensionnement**

- Le revêtement ne sera pas modélisé du fait de sa particularité. Nous avons obtenu avec la méthode CEBTP, un revêtement constitué d'un enduit superficiel. Cette couche joue un rôle de protection de couches sous-jacentes et ne participe pas au fonctionnement structural de la chaussée.

- Toutes les interfaces seront collées.

Trafic cumule $T_2 = 5,74960 \times 10^5$ PL

La température équivalente prise en compte pour le dimensionnement des chaussées au NIGER est de 40°C ;

Le risque de calcul est de 5 % pour toutes les sections indépendamment du trafic ;

Conformément au Guide Technique du SETRA/LCPC de 1994 ;

Le coefficient de poisson de la plate-forme et pris égal à 0,35 ;

Sol en place : CAM = 1 ;

Le coefficient $A = 12\,000$;

La pente $b = -0.222$

➤ **Détermination du module de Young :**

La classe de plateforme étant de S4, nous considérons un CBR minimal de 28. Son module de Young E est : $E = 5 \times \text{CBR}$

AN : $E = 5 \times 28 = 140$ MPa

Pour la couche de Base le module de Young sera : $E = 5 \times \text{CBR}$

AN : $E = 5 \times 120 = 600$ MPa

Pour la couche de Fondation le module de Young sera : $E = 5 \times \text{CBR}$

AN : $E = 5 \times 80 = 400$ MPa

Les résultats sont résumés dans le Tableau 8 qui va suivre

Tableau 8: Module de Young des couches de chaussée

Couches de chaussée	Module de Young (MPa)
Couche de Base	600
Couche de Fondation	400
Plate-forme support	140

➤ Calculs des contraintes admissibles des sols supports

Pour la détermination de la contrainte au niveau supérieur de la plateforme, nous appliquons la formule semi-empirique de Kerkhoven et Dormons donnée par CEBTP. Deux paramètres essentiels sont utilisés, la charge (NE) et le CBR, dont l'expression est la suivante :

NE = $1,265 \times 10^5$ pour l'axe principal

La contrainte admissible est donnée par

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

$$\sigma_{z, adm} = 0,98 \text{ Mpa}$$

Nous prenons un CBR de 15 comme notre sol est de classe **S4**

➤ Calcul de la déformation admissible

La déformation admissible est calculée par la relation suivante donnée par SETRA :

$$\epsilon_{adm, sol} = A \times NE^{-222}$$

$$\epsilon_{adm, sol} = 1206,86 \mu\text{def}$$

A : est pris égal à 16000 comme on prend les plus de favorable

La manipulation sur LCPC voir annexe

Les résultats des déformations et contraintes calculées sont répertoriés dans le Tableau 9 ci-dessous.

Tableau 9: Résultats des contraintes et déformations admissible

Sollicitations admissibles	Résultats
$\epsilon_{z, sol} (\mu\text{def})$	631,7
$\sigma_z \text{ sol MPa}$	0,98

➤ Vérification des sollicitations des structures retenues

La modélisation de la variante retenue sur Alize a permis d'aboutir aux résultats consignés dans (ANNEXE 4) dont le récapitulatif est présenté dans le Tableau 10 tableau ci-dessous.

Tableau 10: Résultats de vérification des sollicitations Alize

Sollicitations	Valeurs admissible	Valeurs calculées	Vérification
$\epsilon_{z, sol} (\mu\text{def})$	631,7	646,2	Non Vérifié
$\sigma_z \text{ sol MPa}$	0,98	0,047	Vérifié

ϵ_z sol (μ def)	631,7	631,7	Vérifié
σ_z sol MPa	0,98	0,035	Vérifié

En variant la couche de base de 5 cm toutes les déformations et contraintes sont vérifiés
Ainsi notre chaussée est de configuration suivante comme l'indique le Tableau 11 ci-après

Tableau 11: Récapitulatif de la structure retenue.

Revêtement	4 cm d'enrobe dense
Couche de Base	20 cm Graveleux latéritique naturel
Couche de Fondation	20 cm Graveleux latéritique naturel

VI. ASSAINISSEMENT ROUTIER ET DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES.

5.1 Étude hydrologique et hydraulique

L'eau bien qu'il représente une véritable source de vie pour l'homme, il constitue cependant un véritable ennemi pour la route. De par sa définition une route est un ouvrage linéaire qui s'implante sur un relief qu'elle modifie par ses remblais ou déblais et qui perturbe donc l'écoulement naturel de l'eau. D'où la nécessité de faire une étude hydrologique et hydraulique afin de protéger la route contre les dégradations dues aux eaux et ce particulièrement durant les périodes des crues importantes.

5.1.1 Etude hydrologique

Elle permet de déterminer les débits maximums pouvant être observés au lieu d'implantation des ouvrages qui servira au dimensionnement de ces ouvrages. Dans le cadre de ce projet nous avons considéré une période de retour de 10 ans (débits décennaux) pour tous les ouvrages

5.1.2 Délimitation du bassin versant

Le bassin versant se définit comme l'aire de collecte considérée à partir d'un exutoire, limitée par le contour à l'intérieur duquel se rassemblent les eaux précipitées qui s'écoulent en surface et en souterrain vers cette sortie. La délimitation de ce dernier s'est faite à l'aide des logiciels **Google Earth** et **Global Mapper** comme le montre la Figure 5 ci-dessous.

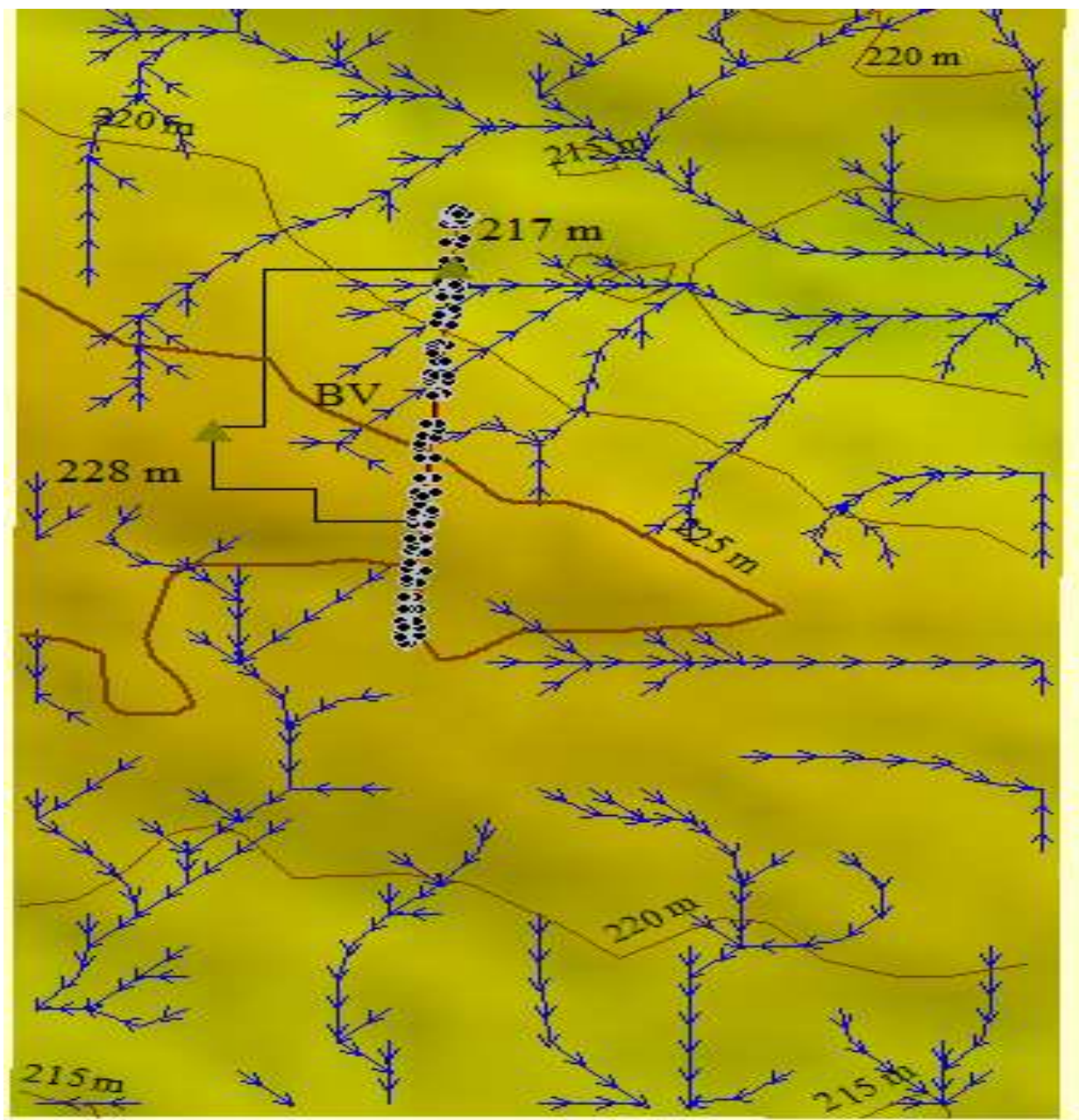


Figure 5: Délimitation du bassin versant

Ce logiciel a servi des relever les caractéristiques du bassin versant consignées dans le Tableau 12 suivant :

Tableau 12: Caractéristiques du bassin versant

Bassins	Surface (km ²)	Périmètre (km)	Zmax (m)	Zmin (m)	Δh (m)	Pente(%)	L'écoulement (m)
BV	0.463	3,267	228	225	3	0.035	854

5.1.2. Étude de la pluviométrie

Elle se rapporte au bassin versant général. Les données hydrométriques qui ont servi de base pour cette étude sont celles de la station de la ville de Niamey (Voir ANNEXE 5) en l'occurrence :

La série des pluies journalières maximales annuelles sur une période de trente ans (30ans) à partir de l'année pluviométrique 1986 (de 1986 à 2015);

5.1.3. Analyse fréquentielle

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés et les caractéristiques d'un processus donné (hydrologique ou autre), afin d'en définir les probabilités d'apparition future.

Un ajustement statistique des données pluviométriques de notre zone de projet a été opéré afin de déterminer les valeurs des pluies journalières à différentes périodes de retour. Pour ce faire les principales lois les plus communément employées sont les suivantes

- ✓ Loi de GIBRAT-GALTON,
- ✓ Loi de GOODRICH,
- ✓ Loi de PEARSON III,
- ✓ Loi de GUMBEL,
- ✓ Loi de FRECHET.

La loi utilisée pour cette analyse est celle de GUMBEL. Appelée doublement exponentielle ou loi de valeurs extrêmes, elle n'utilise que les fréquences au non dépassement et se présente sous la forme :

$F(x) = e^{-e^{-u}}$ Avec $u = -\ln[-\ln(F(x))]$ la variable réduite de GUMBEL.

Cette loi a pour paramètres :

$$\frac{1}{a} = 0.780\sigma \quad (\sigma \text{ l'écart type})$$

$$x_0 = \bar{x} - \frac{0.577}{a} \quad (\bar{x} \text{ La moyenne})$$

Ces paramètres ont permis la détermination des intervalles de confiance qui sont définis par la relation suivante :

$$ICxp = xp \pm U_{\frac{1-\alpha}{2}} \frac{s}{\sqrt{N-1}} \sqrt{1 + 1.4K + 1.1K^2}$$

$$\text{Où } K = 0.780(U_p - 0.577)$$

NB : Nous choisissons un seuil de confiance de $\alpha = 95\%$

Loi de GUMBEL donne une distribution statistique des pluies parfaitement acceptables, réparties de façon homogène le long de la droite linéaire., comme illustrés par la Figure 6 ci-après

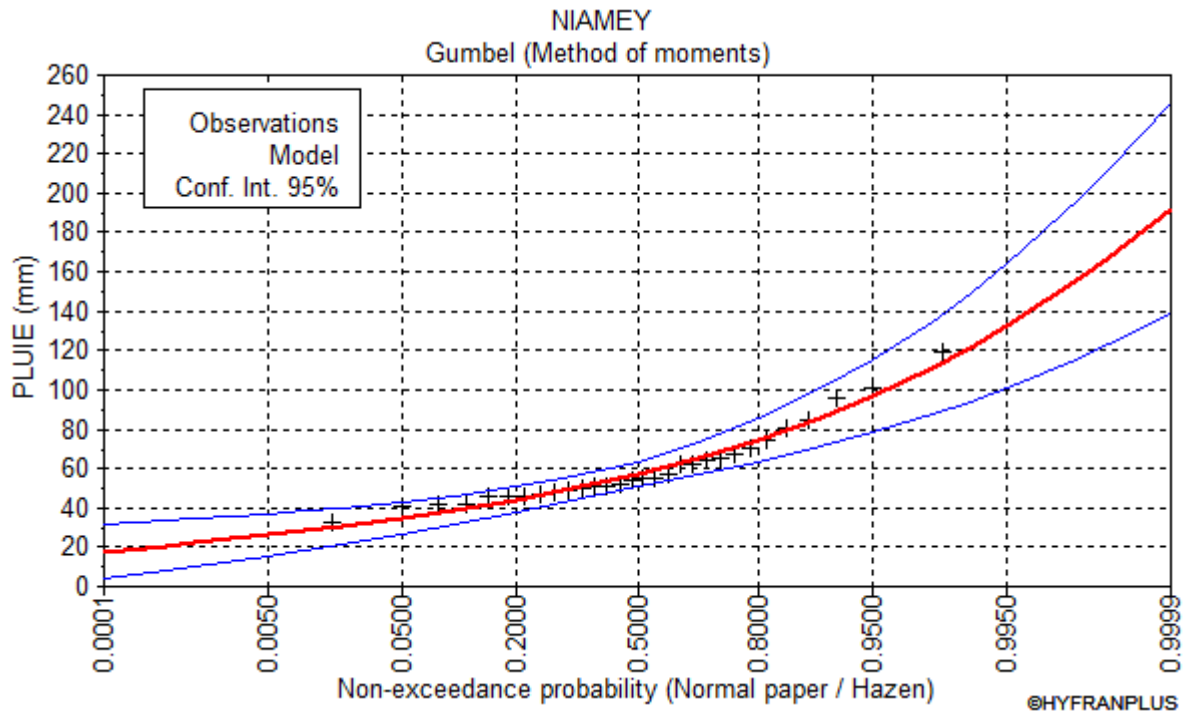


Figure 6: Ajustement de la loi de GUMBEL

Les résultats de l'analyse sont donnés dans le Tableau 13 suivant (voir détail de calcul en ANNEXE 5)

Tableau 13: Pluie de retour 10 ans et 100 ans

Intervalles de confiance à 95%					
Temps de retour	Probabilité au non dépassement	Up	Xp	K	P (mm)
10	0,9	2,25	85,93	1,31	85,90
100	0,99	4,60	121,43	3,14	122

Pour le débit de dimensionnement des caniveaux la méthode de Caquot a été utilisé, et pour le dalot la méthode rationnelle, a été utilisée parce qu'elle est la plus adaptée pour notre bassin versant (inferieur $< 4 \text{ km}^2$)

a. Calcul du débit par la méthode de Caquot

➤ Calcul du débit de caniveaux. :

Les ouvrages choisis pour l'assainissement de la chaussée sont des caniveaux de forme rectangulaire en béton armé. Ces caniveaux sont conçus sur la base d'une bande de 40 m à partir de l'axe de la route pour recueillir les eaux de pluies tombées sur la demi-chaussée, sur le talus et celles provenant des quartiers.

Nous choisissons comme méthode de calcul la méthode superficielle ou méthode de Caquot qui est une évolution de la méthode Rationnelle, méthode à laquelle elle intègre deux autres phénomènes qui interviennent dans le ruissellement urbain :

- ✓ Un stockage temporaire de l'eau dans le réseau
- ✓ Le fait que le temps de concentration du bassin versant dépende du débit, donc de la période de retour choisie.

Elle est la plus utilisée dans ce cas, car elle fournit des bons résultats pour des bassins de superficie inférieure à 200 ha de pente maximale n'excédant pas 5 % et un coefficient de ruissellement compris entre 0,2 et 1.

Le calcul du débit par cette méthode est donné par la formule suivante :

$$Q_{brut} = K^{\frac{1}{u}} \cdot I^{\frac{v}{u}} \cdot C^{\frac{1}{u}} \cdot A^{\frac{w}{u}} ;$$

$$\text{Avec } K = \frac{0,5^b \cdot a}{6,6} ; u = 1 + 0,287b ; v = -0,41b ; w = 0,95 + 0,507b$$

La morphologie du bassin étant assez variée, nous allons appliquer un coefficient correctif

M. Défini par, $M = \frac{L}{\sqrt{A}} \neq 2$ et on obtient alors un débit corrigé.

$$Q_{cor} = m \cdot Q_{brut} \text{ où } m = \left(\frac{M}{2}\right)^U \text{ et } U = \frac{0,84 \cdot b}{1 + 0,287 \cdot b}$$

Avec :

Q_{brut} : Débit brut en m³/s ;

I : la pente des caniveaux en m/m ;

C : le coefficient de ruissellement ;

A : la superficie des bassins-versants en ha ;

a et b sont les coefficients de Montana issus des observations des chroniques de pluie en fonction de la période de retour

La longueur de la voirie totale (1045 m)

Le Tableau 14 ci-après présente le débit obtenu pour les caniveaux

Tableau 14: Le débit de dimensionnement caniveaux

Tronçons	S (ha)	C	L _{hydrau} (km)	I (%)	M	M _{ret}	m	Q (m ³ /s)	Tc (mn)
Caniveau	4.1836	0.75	0.854	3.50%	4.18	4.18	0.631	1.20	4.19

Coefficient de ruissellement (C)

Ce paramètre exprime la portion d'eau qui arrive à l'exutoire par rapport à celle qui est tombée. Le coefficient de ruissellement caractérise le degré de perméabilité à l'état naturel (jardin, zone boisée etc....) ou artificiel (terrasse, toiture, chaussée, pavage) d'un sol. Ce coefficient est prié égal à 0,9 pour les surfaces totalement revêtues, et 0.5 pour les sols boisés nous retenons la valeur de 0.75 comme valeur du coefficient de ruissellement en considérant l'hypothèse que notre chaussée est imperméable. La Figure 7 présent des coefficients de ruissellement

Nature de la couverture végétale	Valeur de C							
	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 %	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.....	0,80	0,85	0,90	0,95	0,70	0,75	0,80	0,85
Terrains déjà attaqués par l'érosion.....								
Labours frais.....								
Cultures couvrantes, céréales hautes.....	0,75	0,80	0,85	0,90	0,52	0,60	0,72	0,80
Terrains de parcours, chiendent ras.....								
Petite brousse clairsemée.....								
Prairies.....	0,70	0,75	0,80	0,85	0,30	0,36	0,12	0,50
Brousse dense. Savane à sous-bois.....								
Forêt ordinaire en futaie. Sous-bois touffus.....	0,30	0,50	0,60	0,70	0,13	0,20	0,25	0,30
Grande forêt primaire.....	0,20	0,25	0,30	0,40	0,15	0,18	0,22	0,25

Figure 7: coefficient de ruissellement

Après calcul nous obtiendrons :

$$Q = 1,20 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ce débit est donc retenu pour le dimensionnement des caniveaux. Calcul du débit

b. Calcul du débit de dalot

➤ Méthode rationnelle

Cette méthode est applicable à des petits bassins versants dont la superficie ne dépasse pas 4 km², Q10 est atteint si la durée de l'averse est au moins égale au temps de concentration Tc du

bassin. L'intensité I de l'averse étant exprimée en mm/h, la superficie A du bassin en km² et le débit Q en m³/s, la formule s'écrit :

$$Q = 0.278 * CIA$$

C : Coefficient de ruissellement ;

I : Intensité de la pluie ;

A : Superficie du bassin versant.

➤ Coefficient de ruissellement

C'est le rapport de volume d'eau qui ruisselle (arrive à l'exutoire) sur la surface du bassin versant au volume d'eau reçu sur cette même surface. Le coefficient de ruissellement C dépend essentiellement du type de sol, de sa couverture végétale et de la pente du bassin versant,

Le Tableau 15 suivant indique des valeurs expérimentales

Tableau 15 : Tableau coefficient de ruissellement

Type de Surface	Coefficient de ruissellement unitaire
Surface bâtie	0,95
Couche non revêtue	0,83
Route bitumée	0,88
Route en terre	0,83
Terre couverte de végétation	0,35
Terrain nu sans végétation	0,65

➤ Temps de concentration

Le temps de concentration est le temps que met une goutte d'eau provenant du point le plus éloigné de l'exutoire pour parvenir à celui-ci. Il est donné par la formule empirique KIRPICH

$$T_c = \frac{1}{52} \times \frac{L^{1.15}}{H^{0.38}}$$

Avec :

T_c = Temps de concentration en minutes ;

L = Distance en mètres entre l'exutoire et le point le plus éloigné du bassin ;

H = Dénivelée en mètres entre l'exutoire et le point le plus éloigné du bassin.

Ces paramètres se retrouvent dans le Tableau 12 qui regroupe les caractéristiques du bassin versant.

- Intensité I de l'averse.

La détermination de l'intensité de l'averse décennale I passe d'abord par celle de temps de concentration T_c du bassin versant. L'intensité de l'averse I peut être déterminée à partir de la relation suivante :

$$I = aT_c^{-b}$$

Où a et b sont les coefficients de Montana qui dépendent de la région d'étude et de la période de retour. Ainsi les coefficients de Montana pour les pays de l'Afrique de l'ouest sont les suivants : $a = 7.5$ et $b = 0.5$ (pour une période de retour de 10ans)

Le résultat sont consigne dans le Tableau 16 ci-dessous

Tableau 16: Résultat du débit calculé par la méthode rationnelle

Bassin	Surface (km ²)	T _c (mn)	I (mm/h)	C	Q ₁₀ (m ³ /s)
BV	0.48	28,39	84,455	0,83	8,93

➤ Choix des débits du projet

Le débit projet est présenté dans le ci-dessous

Tableau 17: Choix du débit de projet

Bassins	Débit décennal	
	Méthode Rationnelle	Q projet (m ³ /s)
BV1	8,93	8,93

5.2. Étude hydraulique

L'étude hydraulique a été effectuée en vue de dimensionner les sections des ouvrages capables de transiter les débits calculés dans l'étude hydrologique. Les écoulements dans les ouvrages de drainage des eaux pluviales se font à surface libre

a. Dimensionnement Hydraulique de l'ouvrage longitudinal (caniveau)

L'écoulement est supposé comme uniforme et non permanent, le débit, la section transversale (rectangulaire) ainsi que la pente sont constants. Ces conditions font de la formule de MANNING STRICKLER satisfaisante pour la détermination de la section du caniveau. Notre caniveau sera sur toute la longueur de la voie du PK0+000 au PK1+45. Ainsi on fixe la valeur de b et on calcule le tirant d'eau y_n par itérations successives en respectant une vitesse moyenne de 3,5 m/s sans dépasser 5 m/s elle est donnée par :

$$Q = S \times K_s \times R_h^{2/3} \times I^{1/2}$$

Q : débit en m³/s ;

S : section d'écoulement (en m²)

Avec

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

R_h : rayon hydraulique (en m);

I : pente du caniveau 0.5%

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

$$p = b + 2y_n$$

$$s = b \times y_n$$

Le débit Q devient alors

y_n : la profondeur d'eau normale du caniveau ;

b : la largeur au fond du caniveau

Détermination de la profondeur normale (y_n) :

Il existe plusieurs méthodes pour le calcul de **y_n** mais pour la présente étude, nous avons utilisé la méthode de la débitante qui est une méthode itérative, dont les variable d'entrée sont consignées dans le Tableau 18 ci-dessous.

Tableau 18: variable d'entrée de dimensionnement

Données	Q projet	I	K_s	M	B
d'entrée	1,20	0,005	67	0	0,80

Ainsi le Tableau 19 ci-dessous nous donne les section calculés et choisies (voir ANNEXE pour la détermination de y_n)

Tableau 19: Récapitulatifs des sections

Section calculé		Section choisie	
y_n	B	y_n	B
0,8	0,8	1	1

Nous retenons pour tous les caniveaux les section 100cm*100cm

b. Dimensionnement Hydraulique dalot

Pour le dimensionnement de dalot, nous avons considéré une sortie dénoyée qui est celui qui est le plus fréquent.

La condition de l'écoulement d'eau dans l'ouvrage à surface libre pour la sortie dénoyée est la suivante : la hauteur amont (H_1) doit être inférieure ou égale à 1,25 fois la hauteur (D) de l'ouvrage (la condition $H_1/D < 1,25$).

La Figure 8 ci-dessous résume les 4 étapes dimensionnement. Les étapes voir ANNEXE

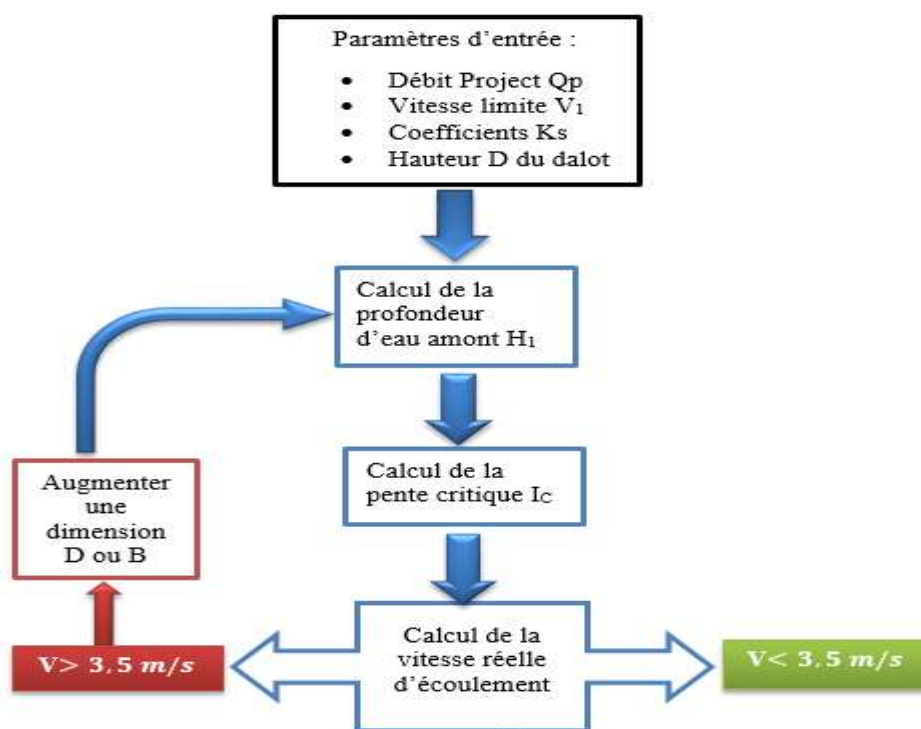


Figure 8: résumé des étapes de dimensionnement de dalot

5.2.1 Dimensionnement structurale des ouvrages Hydrauliques :

➤ Caniveau

- Pré dimensionnement

Dans le cas du caniveau le pré dimensionnement se résume à la détermination de l'épaisseur e . elle est déterminé par la relation suivante :

$$e = \frac{b}{32} + 0,125 \text{ avec } b \text{ la largeur hydraulique}$$

$$e = \frac{1}{32} + 0.125 = 0.156m$$

Avec $e \geq 15.6\text{cm}$ nous retiendrons une épaisseur $e = 20\text{cm}$

- Ferraillage du caniveau

Le ferraillage obtenu après le dimensionnement (voir la note de calcul en ANNEXE) se présente dans le Tableau 20 suivant :

Tableau 20: Aciers théoriques calculés et choix des armatures du caniveau

FERRAILLAGE DU CANIVEAU 1x1						
Types d'armature		DALLETTE	PIEDS DROITS		RADIER	
			ce intérieure	ce extérieure	Face supérieure	ce inférieur
Armature principales	Section calculées	7,45 cm ²	1,45 cm ²	5,51 cm ²	5,51 cm ²	1,45 cm ²
	Choix des armatures	7 cadres HA 12	5 HA8	5 HA12	5 HA12	5 HA8
	sections totalisées	7,92 cm ²	2,51 cm ²	5,65 cm ²	5,65 cm ²	2,51 cm ²
	Espacement	7 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm
Armatures de répartition	Section calculées	1,835 cm ²	1,45 cm ²	1,45 cm ²	1,45 cm ²	1,45 cm ²
	Choix des armatures	5cadres HA8	6 HA8	6 HA8	6 HA8	6 HA8
	sections totalisées	2,2 cm ²	3,02 cm ²	3,02 cm ²	3,02 cm ²	3,02 cm ²
	Espacement	20 cm	17 cm	17 cm	20 cm	20 cm

➤ Dalot

Le Tableau 21 suivant nous résume les dimensions du dalot ainsi que ces coordonnées et le PK

Tableau 21: Dimension du dalot

DALOT	Coordonne.		Dimension
	N 13.56259 ⁰	PK0+900	
	E 2.16540 ⁰		
			2×1,5×1

- Pré dimensionnement

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

$$e = \frac{b}{32} + 0,125 \text{ avec } b \text{ la largeur hydraulique}$$

$$e = \frac{1,5}{32} + 0,125 = 0,17m$$

Avec $e \geq 17\text{cm}$ nous retiendrons une épaisseur $e = 20\text{cm}$

- Ferrailage du dalot

Le ferrailage obtenu après le dimensionnement (voir la note de calcul en ANNEXE) se présente dans le Tableau 22 suivant :

Tableau 22: Aciers théorique calculés et choix des armatures du dalot

Sollicitations considérées			Aciers principaux			Aciers de répartition		
			Section théorique (cm ²)	Choix des armatures	Section Totalise (cm ²)	Section théorique (cm ²)	Choix des armatures	Section Totalise (cm ²)
Tablier	Moment Fléchissant	A mi-travée AB et BC (lit inférieur)	10,8 cm ²	8 HA 14	12,03 cm ²	3,7 cm ²	8 HA 8	4,02 cm ²
		sur appui B (lit supérieur)	13,9 cm ²	7 HA 16	14,07 cm ²	3,7 cm ²	8 HA 8	4,02 cm ²
		Aux bouts A et C (lit supérieur)	6,9 cm ²	5 HA 14	7,7 cm ²	3,7 cm ²	8 HA 8	4,02 cm ²
Radier	Moment Fléchissant	mi- travée AB et BC (lit inférieur)	6 cm ²	4 HA 14	6,16 cm ²	3,7 cm ²	8 HA 8	4,02 cm ²
		appui B (lit inférieur)	8,2 cm ²	6 HA 14	9,2 cm ²	3,7 cm ²	8 HA 8	4,02 cm ²
Pieds droits central B	Effort Normal		4,8 cm ² /face	5 HA12 / face	5,65 cm ²	2,8 cm ²	6 HA 8	3,02 cm ²

Piédroit extérieur s A et C	Flexion composée	5,61 cm ² /face	4 HA 14	6,61 cm ²	2,8 cm ²	6 HA 8	3,02 cm ²
-----------------------------------	------------------	-------------------------------	---------	----------------------	---------------------	--------	-------------------------

VII. SECURITE ROUTIER ET ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

Ils apporteront des réponses sur les questions de signalisation et sécurité routière en premier temps, et après faire la lumière sur les impacts environnementaux que va générer le projet afin de faire promouvoir les mesures d'atténuations et des corrections.

6.1 Signalisation et sécurité routière

Les signalisations routières ont pour objectifs.:

- De rendre plus sure la circulation routière,
- De faciliter cette circulation,
- D'indiquer ou de rappeler diverses prescriptions particulières,
- De donner des informations relatives à l'usage de la route.

Bien conçue et réalisée, elle réduit les causes d'accident et facilite la circulation. Insuffisante, trop abondante ou impropre, elle est facteur de gêne et d'insécurité.

Les principaux critères d'efficacité sont :

L'uniformité implique l'interdiction d'utiliser, sur toutes les voiries, des signaux non réglementaires ; L'uniformité implique l'interdiction d'utiliser, sur toutes les voiries, des signaux non réglementaires ;

- L'homogénéité exige que, dans des conditions identiques, l'usager rencontre des Signaux de même valeur et de même portée, implantés suivant les mêmes règles.
- A simplicité s'obtient en évitant une surabondance de signaux qui fatigue l'attention de l'usager, lequel tend alors à négliger les indications données ou même ne peut les lire, les comprendre ou les enregistrer.
- En considérant les fonctions assurées par la signalisation, on distingue :
- La signalisation permanente : Elle a trait aux conditions courantes de circulation : dangers, intersections et priorité
- La signalisation temporaire : Elle a trait aux modifications momentanées des conditions de circulation.

6.1.1 Signalisation temporaire

Pour sauvegarder la sécurité de l'utilisateur et celle des agents travaillant sur la chaussée ou ses abords immédiats, tout en maintenant la fluidité du trafic, il est nécessaire : De le convaincre de modifier son comportement pour l'adapter à une situation qui lui est inhabituelle. La signalisation temporaire se subdivise en trois catégories :

- La signalisation d'approche (danger, indication, prescriptions),
- La signalisation de position,
- La signalisation de fin de prescription (généralement placée en aval du chantier).

Sur notre chantier, vu la quantité de travail à effectuer, des déviations sont proposées le long du tronçon pour permettre d'écouler le trafic existant. Ces itinéraires de détournement sont obligatoires pour notamment éviter le passage des véhicules sur la chaussée en cours de réalisation. Passages qui peuvent conduire à l'apparition de flaches par exemple sur la couche d'imprégnation entre autres. La signalisation d'un détournement est composée :

- Signalisation du site d'entrée (position, pré signalisation...),
- D'une signalisation de jalonnement (changements de direction, ...),
- Signalisation de limite de vitesse.
- Une distance de 100 m entre les panneaux est préconisée pour permettre leur mémorisation par les usagers.

6.1.2 Signalisation permanente

La signalisation permanente est installée de manière définitive dans l'optique d'assurer la sécurité des usagers pendant toute la période d'exploitation de la route. Elle comprend :

- Les signalisations horizontales,
- Les signalisations verticales

6.1.3 Les signalisations horizontales

La signalisation horizontale est constituée des marques sur chaussées qui ont pour but d'indiquer sans ambiguïté les parties de la chaussée réservées aux différents sens de la circulation ou à certaines catégories d'usagers, ainsi que, dans certains cas, la conduite que doivent observer les usagers. Aussi la couleur blanche est la couleur utilisée par défaut pour les marquages sur chaussées. On distingue

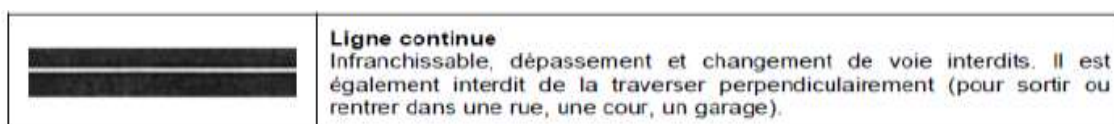
On distingue Pour les routes en rase campagne, en section courante, hors points singuliers, la ligne discontinue de guidage est de type T1 et de largeur 2u. Il est à noter que quand la largeur de la chaussée est inférieure à 5.2 m, il est déconseillé de réaliser un marquage axial.

- Lignes discontinues axiales ou de délimitation des voies (type T1 et T'1 à forte prédominance des vides sur les pleins)



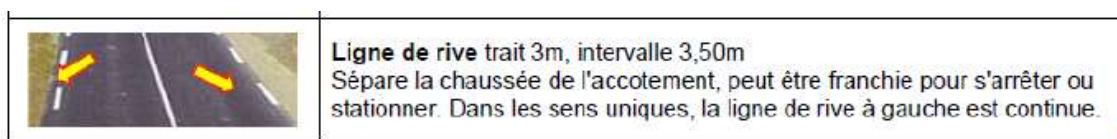
- Lignes continues

Elles sont utilisées à des endroits spécifiques de l'axe de la chaussée ou des parties de chaussée très dangereuses tels les virages ou autres zones de non dépassement.



- Lignes de rive

Elles séparent la chaussée de l'accotement, et sont utilisées lorsque la chaussée ne comporte pas de bordures. Sur route et en section courante, la ligne de rive est de type T2 avec une largeur 3u. NB : La largeur des lignes est définie par rapport à une largeur unité « u » différente selon le type de route. On adopte la valeur $u = 5 \text{ cm}$, dans notre cas.



6.2 Les signalisations verticales

La signalisation verticale regroupe les panneaux et les balises. Ces panneaux se distinguent par la variété de leur formes, couleurs, emplacement...etc ; ils transmettent plusieurs sortes d'informations indispensable à la sécurité de l'utilisateur. Les panneaux suivants utilisent dans notre projet.

- Les panneaux de danger (type A),
- Les panneaux d'intersection et de priorité (type AB),
- Les panneaux de prescription (panneaux d'interdiction, d'obligation, de fin de prescription)

Vu que l'enduit superficiel résiduel en place sera complètement recyclé avec les couches existantes, on procèdera donc à la mise en œuvre de nouvelles marques de chaussée sur le nouvel enduit bicouche. Quant aux panneaux de signalisation, la route existante datant de 1983, la presque totalité est absente à part quelques très rare exceptions. Les rares panneaux encore

existants seront remis à neuf pour être réemployés sur le tronçon avec évidemment un apport de nouveaux panneaux pour offrir une sécurité optimale aux usagers.

Pour les schémas des différentes signalisations, voir ANNEXE

6.3 Eclairage public

L'éclairage public fait partie des importants équipements qui garantissent la sécurité de la circulation routière et contribue au confort et à l'esthétique de la route. L'éclairage public est consigné en agglomération dont notre projet étant en ville donc il est nécessaire. Le choix est porté sur des candélabres simples alimentés par des panneaux solaires en acier galvanisé et seront bilatéral.

6.3.1 Hauteur des candélabres

Il existe plusieurs types d'implantations et avec leurs hauteurs respectives :

- Unilatéral, Axial, et Bilatéral ils ont comme hauteurs candélabres : $H \geq L$
- Bilatéral vis-à-vis avec pour hauteur candélabre : $H \geq L/2$

Dont L désigne la largeur de la voie

$H \geq 10$ nous proposons alors une hauteur $H = 10$ m

6.3.2 Espacement candélabres

Il existe plusieurs types d'implantations et avec leurs espacements respectifs :

- Unilatéral, Axial, et Bilatéral ils ont comme espacement candélabres $e = 3H$
- Bilatéral vis-à-vis avec leur espacements candélabre $e = 2,7H$

Dans notre cas l'espacement est de 30 m.

7.1 ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

7.1.1 Cadre politique, juridique et institutionnel

a. Cadre politique

AU Niger, la protection de l'environnement est une priorité de l'environnement qui l'a exprimé dans plusieurs de ses textes de lois, mais aussi à travers les politiques et programmes indispensables pour assurer les objectifs du développement.

b. Cadre juridique

Pour asseoir le cadre politique de mise en œuvre de la politique environnementale du Niger, il est fondamental de l'accompagner d'un cadre juridique et institutionnel chargé de définir et d'exécuter les grandes orientations stratégiques et politiques du Niger en matière de protection de l'environnement. Il s'agit des conventions internationales, des traités, et règlements signés ou ratifiés par le Niger, mais également du cadre juridique national qui s'appuie sur la loi

fondamentale qui est la constitution du 25 novembre 2010. En son article 35, elle consacre le droit à chaque citoyen, à un environnement sain et son devoir, ainsi que celui de l'Etat d'œuvrer pour assurer la protection de l'environnement. Voir ANNEXE cadre juridique

7.1.2 Cadre institutionnel

L'exécution de la politique nationale de protection de l'environnement pour un développement durable est sous la responsabilité d'une multitude d'acteurs, dont le ministère chargé de l'environnement est le chef de file, à travers sa Direction Générale de l'Environnement et des Eaux et Forêts (DGE/EF) et ses directions nationales. Outre le ministère chargé de l'environnement, d'autres ministères dont les avis sont pertinents entre dans la mise en œuvre des activités relevant de ce projet :

- Le ministère de l'équipement, le ministère du plan, de l'aménagement du territoire et du développement communautaire,
- Le ministère de l'agriculture,
- Le ministère de l'élevage.

7.1.3. Identification des impacts

La méthode utilisée pour l'identification des impacts (positifs et négatifs) attribuables à la réalisation de ce projet s'est basée sur l'analyse des effets qui résulteront des différentes interactions entre le milieu récepteur et les activités rentrant dans le cadre de réalisation du projet. Cette démarche permet de mettre en liaison les activités sources d'impact associées au projet et les éléments de l'environnement biophysique et humain des différents milieux susceptibles d'être affectés. Les composantes de l'environnement susceptibles d'être affectées sont :

- **Le milieu biophysique** : les sols, les ressources en eau, la faune, la végétation, le paysage, l'air;
- **Le milieu humain** : emploi et économie, santé et sécurité de la population, activité sociale et culturelle;

7.2 Description des impacts

Le Tableau 23 suivant donne une description des différents impacts que va causer ce projet lors de la phase de construction et aussi la phase d'exploitation,

Tableau 23:Description des impacts

description des impacts			
	Composante affectées	Sources d'impact	Impacts causés
Milieu Biophysique	Végétation	- Défrichement et abattage des arbres - Dénudation du sol	- Destruction de la végétation et de champs de culture - destruction du couvert végétal
	Sol	- Terrassements et préparation de l'assiette de la route - Construction et revêtement de la route - Exploitation Emprunts, carrières	- Diminution du coefficient d'infiltration - Dégradation des terres - Risques d'érosion
	Ressources en eau	- Terrassements et préparation de l'assiette de la route - Mise en place d'une base vie - Construction des ouvrages d'art et des ouvrages hydrauliques - Exploitation Emprunts, carrières - Prélèvement d'eau	- Changement local du régime hydrologique - Risques d'affectation de la qualité de l'eau - Stagnation des eaux dans les emprunts et dans les carrières - Rabattement des nappes par pompage
	Faune	- Bruit - Défrichement et abattage des arbres - Mise en place d'une base vie	- Bruits permanents dus aux passages des camions et engins perturbera l'avifaune, - Destruction des arbustes provoquera une perte d'habitat pour certains oiseaux et pour la microfaune
	Paysage et air	- Défrichement et abattage des arbres - Transports de matériel vers le chantier - Circulation et transport - Terrassements et préparation de l'assiette de la route	- Destruction du paysage - Augmentation de la nuisance sonore - Pollution de l'air par la poussière - réduction substantielle de poussières
		- Travaux de construction	

description des impacts			
	Composante affectées	Sources d'impact	Impacts causés
Milieu Humain	Emploi et économie	- Mise en place d'une base vie - Présence de la route améliorée	- Création d'emplois directs et indirects - Desserte permanente des villages - meilleur accès aux centres de production, de commercialisation
	Santé et sécurité	- Travaux de construction - Mise en place d'une base vie - Présence de la route améliorée	- Accident de travail - Naissance des nouvelles maladies (IST, SIDA) - Amélioration des conditions sanitaires et sécuritaires par la facilitation d'accès aux services sociaux de bases (Centres de santé, Ecoles.) - Réduction des accidents - Facilité d'accès aux forces de sécurité
	Social et culturel	- Travaux de construction - Mise en place d'une base vie - Présence de la route améliorée - Exploitation des carrières et emprunts	- Développement des échanges - Facilitation d'accès aux centres sociaux de base - Amélioration de la qualité de l'éducation et de la culture générale des populations - Risque de conflits dû à Exploitation des carrières et emprunts

7.2.1 Bilan des impacts positifs et négatifs

Après l'analyse des effets qui résulteront des différentes interactions entre le milieu récepteur et les activités rentrant dans le cadre de réalisation du projet nous avons dressé un bilan des impacts dans un tableau appelé matrice d'identification. Sa légende se présente comme suit

Impacts négatifs

Impacts négatifs

(-): Impact négatif de faible intensité.

(+) : Impact positif de faible intensité.

(- -): Impact négatif de moyenne intensité.

(++): Impact positif de moyenne intensité.

(- - -) : Impact négatif de forte intensité.

(+++): Impact positif de forte intensité

Voir

7.2.2 Mesure d'atténuation

Afin d'obtenir nos objectifs du développement socio-économique et environnemental, des nombreuses mesures doivent être prises :

- ✓ Mettre en place des barrières et système de sécurité au niveau des écoles, l'aménagement des marchés et des points d'eaux le long de la route ;
- ✓ Sensibiliser les populations sur les enjeux environnementaux liés à la protection de l'environnement, sur la sécurité routière, IST/VIH.
- ✓ La ré-végétalisation des talus a forte pente pour lutter contre l'érosion.
- ✓ La réhabilitation effective des zones d'emprunt et des carrières.
- ✓ Éviter les travaux sonores pendant les heures nocturnes ;
- ✓ Mettre en place des aires de stockage pour l'isolement des hydrocarbures et tous produits dangereux sur site ;
- ✓ Respecter le Plan de Gestion Environnemental et Social (PGES) élaboré pour le projet.

Si ces mesures sont rigoureusement respectées, elles peuvent réduire de manière significative les impacts du projet.

Elles sont présentées dans le tableau suivant

VIII. ETUDE FINANCIER DU PROJET

La réalisation de tout projet nécessite la disposition d'un budget nécessaire. Pour cela une étude d'avant-mètre doit être réalisée au préalable afin d'estime le cout de projet prévisionnel.

8.1. Etude d'avant métré

L'avant métré permet de quantifier les parties des ouvrages du projet.

Ainsi les quantifications faites par différents corps d'état.

- Avant métré pour terrassement

TRAVAUX DE TERRASSEMENT	
Désignations	Quantités (m ³)
Remblais	1012
Déblais	7039

- Avant métré de la chaussée

CHAUSSEES	
Désignations	Quantités (m ³)
Scarification et comptage de chaussée	34500
Couche de base en GNT	1997
Couche de fondation en GNT	1359

- Avant métré revêtement

Revêtement		
Désignations	Unités	Quantités (m ³)
Fourniture et mise en œuvre imprégnation	m ²	731 5
Fourniture et mise en œuvre monocouche	m ²	731 5
Fourniture et mise en œuvre couche d'accrochage	m ²	731 5
Fourniture et paves autobloquants	m ²	624 0

- Avant métré ouvrages

Assainissement, ouvrage		
Désignations	Unités	Quantités (m ³)
Caniveau en béton 1*1 m	m ²	731 5
Dalle de portée 1 m	m ²	731 5
Bordures	m ²	731 5
Fourniture et mise en œuvre perré maçonnerie	m ²	624 0

8.1.1. Devis estimatif et quantitatif

L'estimation du devis est basée sur les prix unitaires des projets récents réalisés ou en cours de réalisation au Niger ou dans les zones les plus proches du projet.

8.1.2. Définition des postes

Les différents postes sont :

- Installation chantier
- Dégagement des emprises et terrassement
- Chaussées
- Revêtements
- Assainissement, ouvrage

- Eclairage public
- Mesures environnements

Pour ce qui est de devis voir ANNEXE

8.1.3 estimation du cout de projet

Le cout global prévisionnel de ce projet est récapitulé dans le Tableau 1 ci-dessous ;

Tableau 24: Récapitulatif du cout global

Réf	Désignation	Prix total	%
1	Installation de chantier	85 000 000	16.14
2	Dégagement des emprises et terrassements	44 882 500	8.52
3	Chaussée	187 910 000	35.68
4	Revêtement	66 540 000	12.63
5	Ouvrage de protection	96 360 000	18.30
6	Sécurité et signalisation routière	9 060 000	1.72
7	Eclairage public	31 000 000	5.89
8	Mesure environnementales et sociales	5 900 000	1.12
9	TOTAL GENERAL	526 652 500	100

Le présent projet est arrêté à une somme de cinq cent vingt-six millions sept cent quatre-vingt-quinze mille trois cents Franc CFA HT

IX. CONCLUSION GENERALE

L'étude technique détaillée de l'aménagement et du bitumage de la rue reliant l'avenue du Kawar Recasement a permis d'aboutir à la proposition d'infrastructures répondant aux normes techniques, et d'éléments nécessaires pour la réalisation tout en tenant compte du facteur économique.

Cette étude a consisté principalement à un dimensionnement de la structure de la chaussée, une conception géométrique, la proposition d'infrastructures d'assainissement, une proposition de la signalisation routière, et à une étude d'impact sur l'environnement et une estimation du coût de construction évalué à hauteur

Le présent projet est arrêté à une somme de **cinq cent vingt-six millions six cent cinquante-deux mille cinq cents Franc CFA HT (526 652 500 FCFA HT).**

Dans la démarche d'études nous avons essayé de respecter toutes les contraintes et les normes requises qui ne peuvent être négligées et nous avons pris en considération le confort, la sécurité des usagers ainsi que l'économie et l'environnement.

Une fois ce projet réalisé il entrainera l'amélioration des conditions de circulation dans la zone, et causera un impact certain sur le développement économique de la localité. Il sera donc important que les autorités veillent à une utilisation civique des ouvrages et surtout à leur entretien régulier.

Cette étude nous a permis de renforcer nos connaissances autant théoriques que pratiques acquises durant notre formation à la fondation 2iE. Elle nous a permis de nous confronter à un cas pratique d'une étude complète sur le terrain et de bien comprendre les difficultés, les étapes et les hypothèses à prendre en compte dans une étude technique détaillée d'une route tout en tenant compte de l'aspect économique

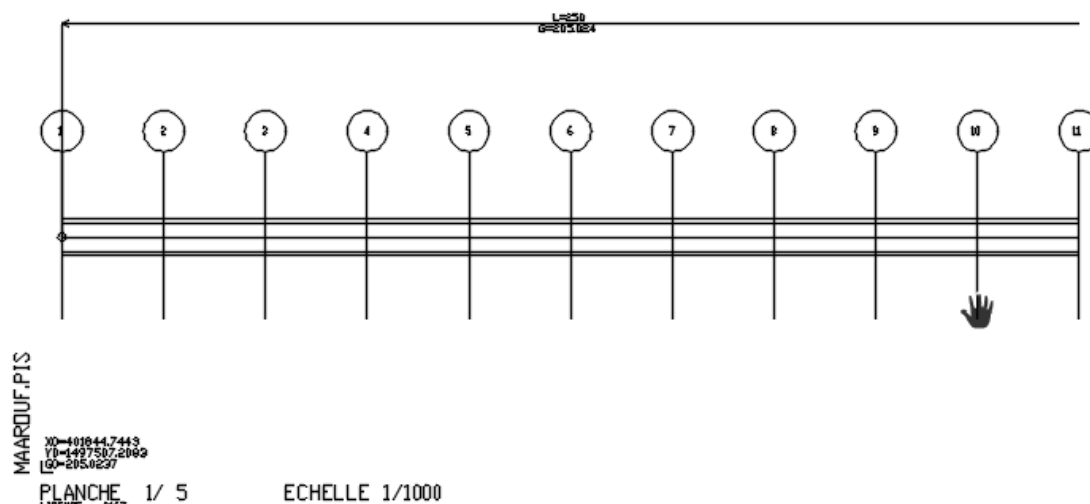
BIBLIOGRAPHIE

- L. NICOLLET, «La signalisation horizontale».
- INS-NIGER, «Annuaire statistique régional de la ville de Niamey,» 2015.
- SETRA, «Instructions sur les conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines,» Mars 2009.
- Nguyen VAN TUU, «hydraulique routière», janvier 1979.
- SETRA-LPCP , «Conception et dimensionnement des structures de chaussée,» Décembre 1994.
- Les signaux routiers,» France, Novembre 2002.
- SETRA, «Comprendre les principaux paramètres de conception géométrique de la route,» Janvier 2006.
- SETRA, «Catalogue des types de route en milieux interurbain,» Décembre 1991.
- SETRA, «Apport de drainage dans la conception des plates-formes support de chaussées,» Mai 2009.
- C. N. Centre/SETRA-CSTR, «Drainage des chaussées,» Octobre 1992.
- SETRA-LCPC, «Conception et dimensionnement des structures de chaussées».
- FAO, «manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche,» 1996.
- Ministère de l'équipement, des transport et du logement, « Fascicule n°62-Titre I Section I du CCTG : Règles de conception et de calcul des ouvrages et construction en béton armé suivant la méthode des états limite-BAEL 91 et révisé 99,» 1999.
- BANAOU Djibo Kader, 2ie, «Étude technique détaillée des travaux de réhabilitation de la route BALEYARA-FILINGUE : Tronçon PK45+00 au PK55+00,» Mémoire de fin de cycle Master, 2017.
- SETRA, «Instructions sur les conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines,» Mars 2009.
- CEBTP, «Guide pratique de dimensionnement des chaussées dans les pays tropicaux,» 1980.

ANNEXES

ANNEXE 1:Tracé en plan	49
ANNEXE 2: Profil en long	49
ANNEXE 3: Profil en travers	51
ANNEXE 4: Pérification ALIZE Non vérifié et vérifié	51
ANNEXE 5: Analyse Fréquentielle	52
ANNEXE 8: Méthode itérative pour la détermination des section caniveau.....	53
ANNEXE 9: Les 4 étapes de destination débit dalot	54
ANNEXE 10: ABAQUE DE DETERMINATION DE LA PROFONDEUR AMONT.....	56
ANNEXE 11: ABAQUE DE LA DETERMINATION DE LA PENTE CRITIQUE DU DALOT	57
ANNEXE 12: ABAQUE DE DETERMINATION DE VITESSE DANS UN DALOT	59
ANNEXE 13: NOTE DE CALCUL DU CANIVEAU 1X1	60
ANNEXE 14: NOTE DE CALCUL DALOT 2X1,5X1	69
ANNEXE 15:Les signalisations routières.....	90
ANNEXE 16: Carder juridique	90
ANNEXE 17: Tableau bilan impact et mesure d'atténuation.....	92
ANNEXE 18: CANIVEAU COUPE	96
ANNEXE 19: Coupe dalot.....	96
ANNEXE 20: Devis quantitatif	96

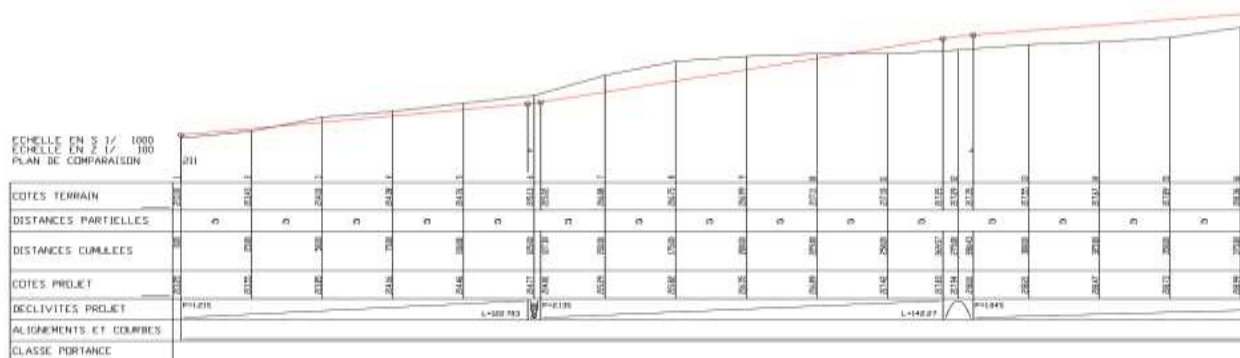
ANNEXE 1: Tracé en plan



PROJET DE BITUMAGE L'AVENUE DE KAWAR DANS LA VILLE DE NIAMEY		
	TRACE EN PLAN	
	Date: 30 / 11 / 2019	
	Dessiné par : MAMAN ISSA M MAAROUF	E: 1/1000

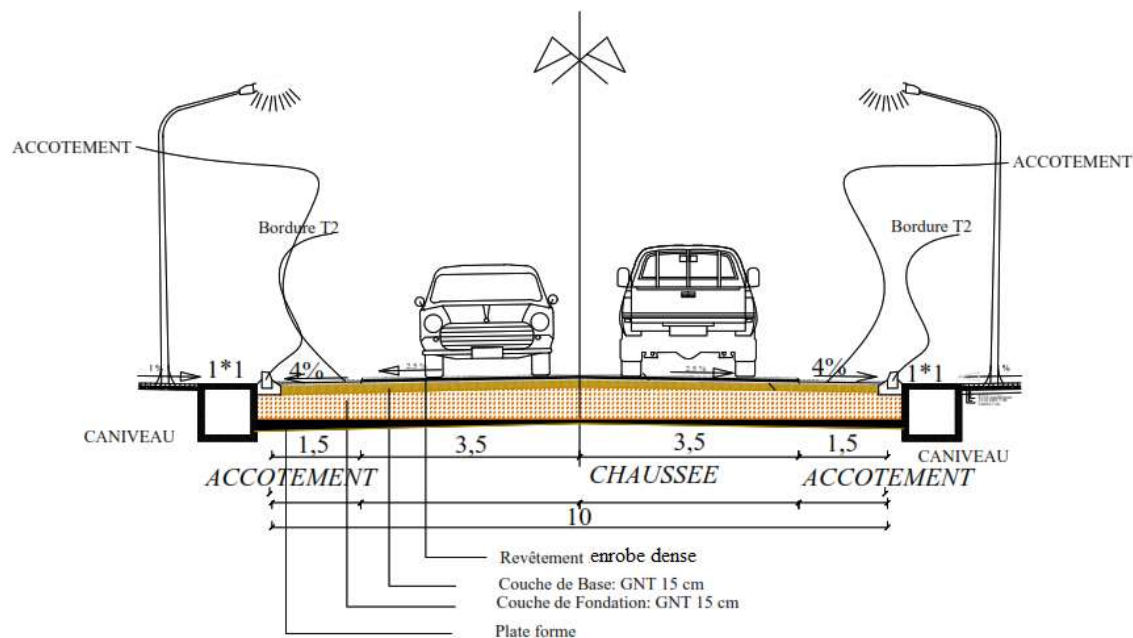


ANNEXE 2: Profil en long

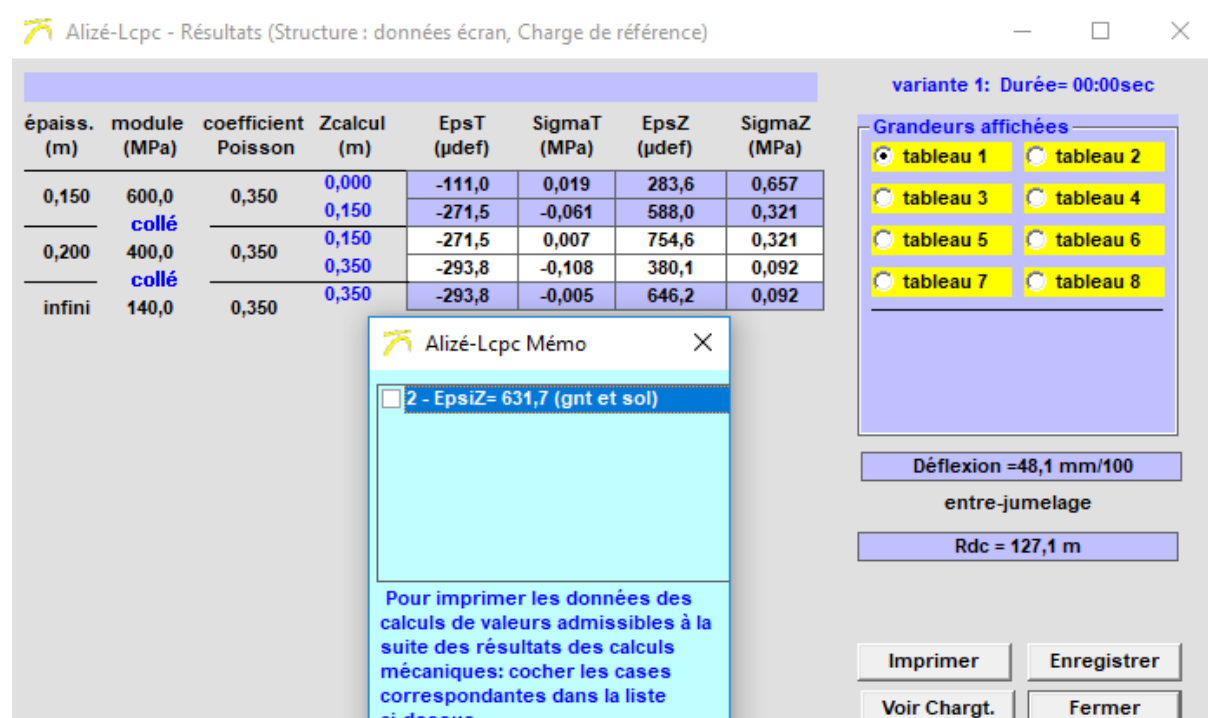


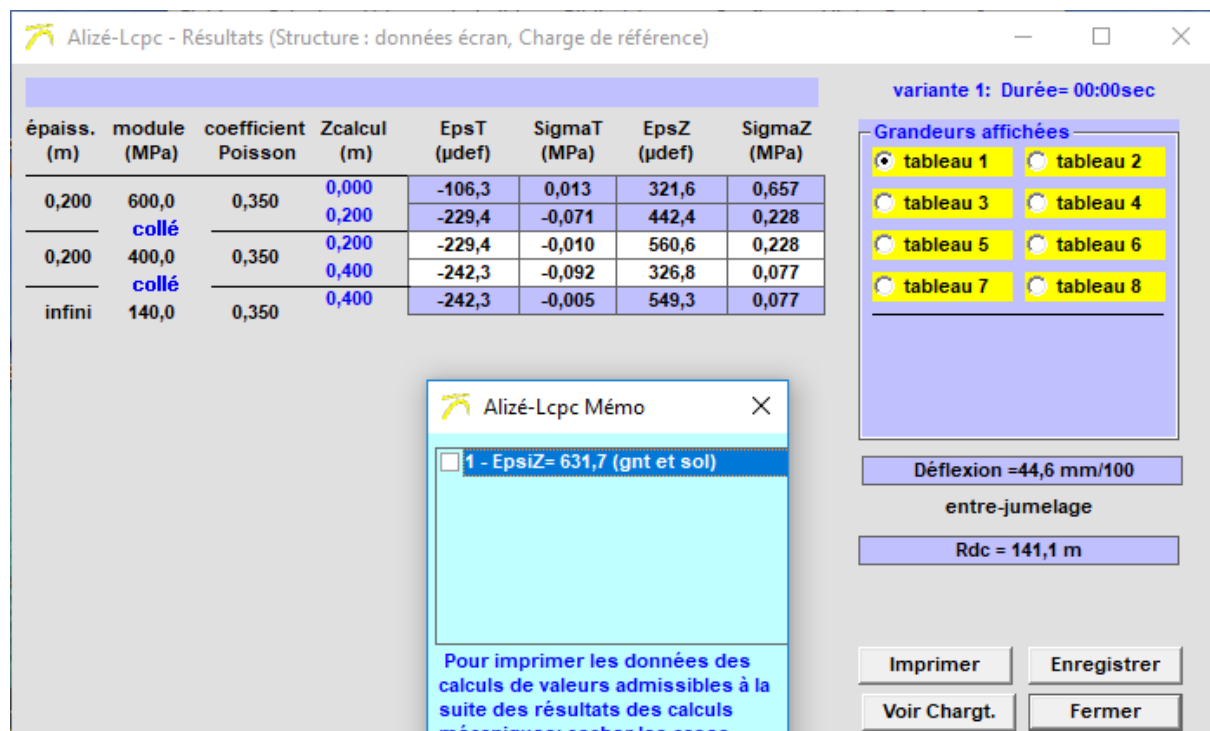
ANNEXE 3: Profil en travers

PROFIL EN TRAVERS TYPE



ANNEXE 4: Vérification ALIZE Non vérifié et vérifié





ANNEXE 5: Analyse Fréquentielle

Caractéristique de l'échantillon

Tableau 25: caractéristiques de l'échantillon

Nombre de l'échantillon	Max (xi)	Min (xi)	Médiane	Moyenne	Variance	Ecart type
30	119,9	33,2	54,8	60,7	375,1	19,4

Fréquence et variable réduite par la loi de GUMBEL

Tableau 26:Fréquence et variable réduite par la loi de GUMBEL

Cumul	Record (classé)	Rang	Fréquences F(x)	Variables réduites U
423,1	33,2	1	0,02	-1,41
677,1	41,8	2	0,05	-1,10
669,1	42	3	0,08	-0,91
613,8	42,2	4	0,12	-0,76
869,7	46	5	0,15	-0,64
543,9	46,2	6	0,18	-0,53
714,5	46,5	7	0,22	-0,42
453,6	47	8	0,25	-0,33
560,8	48	9	0,28	-0,23
358,3	49	10	0,32	-0,14
460	50	11	0,35	-0,05

489,4	51,2	12	0,38	0,04
458,9	51,3	13	0,42	0,13
527,7	52,2	14	0,45	0,23
497,6	54,3	15	0,48	0,32
520,3	55,3	16	0,52	0,41
492,4	55,3	17	0,55	0,51
563,4	57,1	18	0,58	0,62
592,3	62	19	0,62	0,73
639,8	62,7	20	0,65	0,84
551,2	64,1	21	0,68	0,97
603,5	65,8	22	0,72	1,10
427,6	67,5	23	0,75	1,25
660,9	70	24	0,78	1,41
603,9	74,1	25	0,82	1,60
703,2	81	26	0,85	1,82
394,4	85,7	27	0,88	2,09
579,3	96,9	28	0,92	2,44
687,2	101,3	29	0,95	2,97
759,3	119,9	30	0,98	4,09

ANNEXE 6: Méthode itérative pour la détermination des section caniveau.

Tableau 27: la détermination des section caniveau

Données	Q.Proj	I	Ks	m	B
d'entre	1,30	0,005	67	0	0,80
Formules	P = b + 2yn			RH = $\frac{S}{P}$	
	S = b × yn		Q.itter = Ks × S × RH ^{2/3}		

Yn	S	P	RH	$Q. itter$	$\frac{Q. Proj}{\sqrt{I}}$
0.5	0.4	1.8	0.222222222	9.832405586	16.9705627
0.6	0.48	2	0.24	12.42005544	
0.65	0.52	2.1	0.247619048	13.73833743	
0.68	0.544	2.16	0.251851852	14.53573962	
0.7	0.56	2.2	0.254545455	15.06976201	
0.75	0.6	2.3	0.260869565	16.41250971	
0.8	0.64	2.4	0.266666667	17.76508398	

ANNEXE 7: les 4 étapes de destination du débit du dalot

Etape 1 : Calcul de la profondeur en amont H_1

Il s'agit de calculer la profondeur amont et de vérifier si celle-ci est conforme à la situation topographique de l'ouvrage. Tout d'abord il faudra estimer une valeur approchée de D et B (hauteur et largeur du dalot) la formule utilisée est la suivante :

$$Q = V \times S, S = Q/V$$

S est la section mouillée (Q connu et V la vitesse limite étant fixée à $3m/s$) alors on déduit B tout en fixant la valeur de D .

Ensuite on utilise la formule suivante pour le calculer du débit réduit q^*

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

La valeur réduite H_1^* est obtenu avec l'abaque joints

H_1 est calculée par la relation : $H_1^* = H_1/D$.

La valeur H_1 ainsi trouvée est comparée avec la situation topographique de l'emplacement du projet.

Etape 2 : Calcul de la pente critique I_c

L'ouvrage doit être capable d'évacuer le débit critique correspondant à la profondeur H_1 amont. Pour cela, il faut que la pente longitudinale de l'ouvrage soit au moins égale à la pente critique (I supérieure ou égale à I_c). Dans cette étape on calcule la pente critique de l'ouvrage (notée I_c) qui guidera le choix de la pente longitudinale de l'ouvrage (notée I). On calcule, connaissant la largeur B du dalot et q le débit à évacuer, le débit réduit pour la pente critique en fonction de la formule suivante :

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

Connaissant K le coefficient de rugosité, après le calcul de Q^* on lit sur l'abaque joint en la

valeur de la pente I_c^* qui permet d'avoir I_c pente critique par la formule suivante :

$$I_c = \left(\frac{g \times I_c^*}{K^2 \times B^{\frac{1}{3}}} \right)$$

On retient I la pente longitudinale de l'ouvrage supérieure ou égale à I_c la pente critique.

Etape 3 : Calcul de la vitesse dans l'ouvrage

Au niveau de cette étape il s'agit de calculer la vitesse de l'eau dans l'ouvrage et de vérifier si celle-ci ne dépasse pas la vitesse limite (qu'on retiendra égale à 3 m/s).

L'on calcule ensuite le débit réduit q^* à partir des formules dérivées de Manning et en fonction de la pente longitudinale retenue :

$$q^* = \left(\frac{q}{K \times I^{1/2} \times B^{2/3}} \right)$$

Cette valeur réduite q^* donne, grâce à l'abaque la valeur de V^* de laquelle l'on déduit la valeur de la vitesse V recherchée grâce à la formule

$$V = (V^* \times I^{1/2} \times K \times B^{2/3})$$

Etape 4 : Itération

Si la vitesse est acceptable le calcul est terminé, sinon il faut changer les paramètres d'ouvertures B et D et reprendre totalement tout le cheminement.

Après avoir suivi minutieusement ces étapes nous nous sommes retrouvés avec un dalot à deux (2) ouvertures avec une largeur $B = 1.5m$ par ouverture et une hauteur $D = 1m$ (voir pour les résultats de calcul).

Dimensionnement hydraulique du dalot

Détermination de la profondeur amont

Tableau 28: Détermination de la profondeur amont du dalot

Ouvertures	Q projet (m ³ /s)	D Hauteur (m)	B largeur (m)	Ks	q (m ³ /s)	V vitesse (m/s)	q*	H ₁ * (m)	H ₁ (m)	Observations
1	4,1	1	1,5	67	4,1	2,73	0,62	1,5	1,5	H ₁ >D Hauteur non acceptable
2	4,1	1	1,5	67	2,05	1,37	0,31	0,8	0,8	H ₁ <D Hauteur acceptable

Nous continuons le calcul avec le cas d'un dalot à deux ouvertures.

Détermination de la pente critique du dalot

Tableau 29: Détermination de la pente critique du dalot

Ouverture	D Hauteur (m)	B largeur (m)	Q*	Ic*	Ic
2	1	1,5	0,24	3,1	0,006

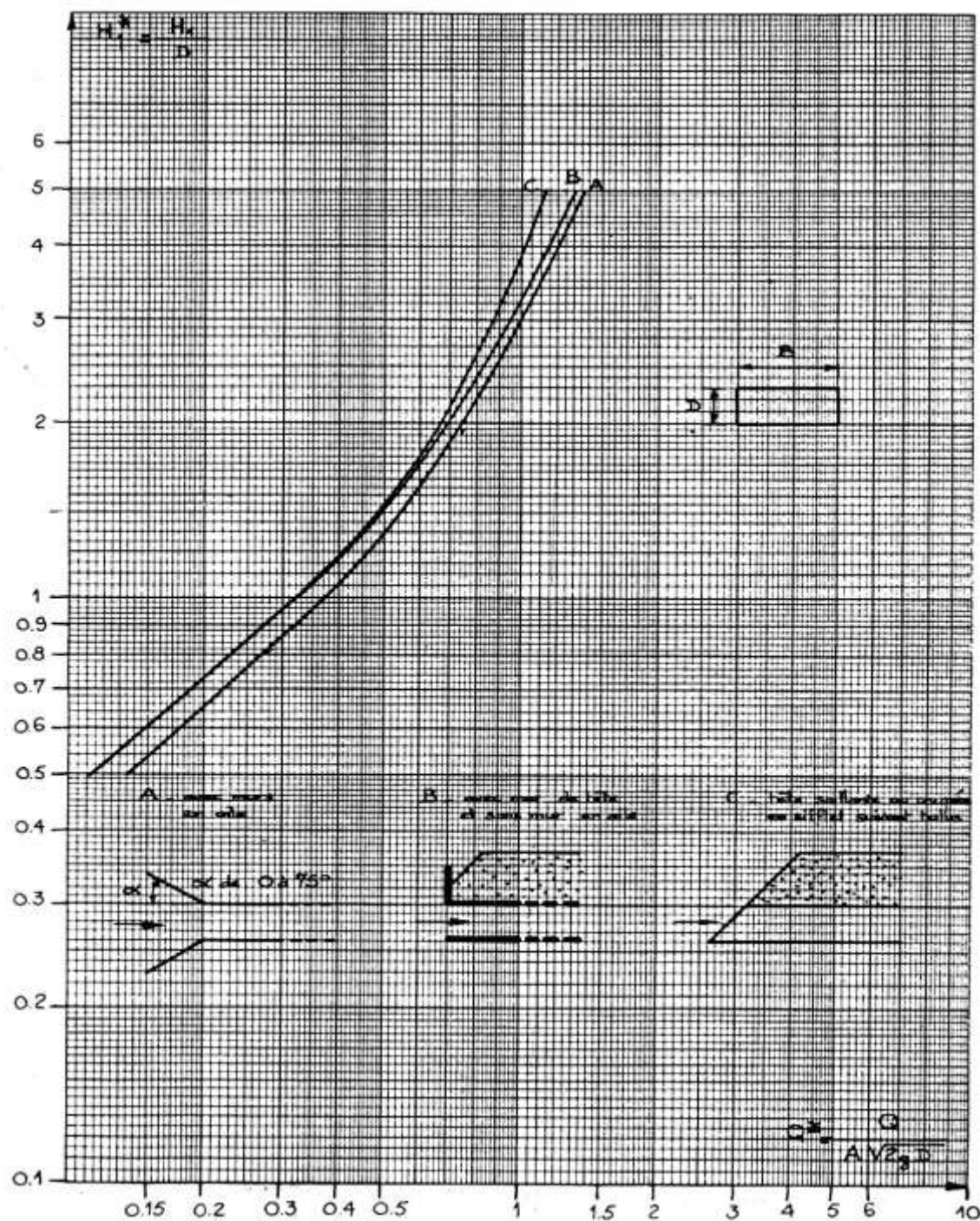
Vérification de la vitesse

Tableau 30: vérification de la vitesse:

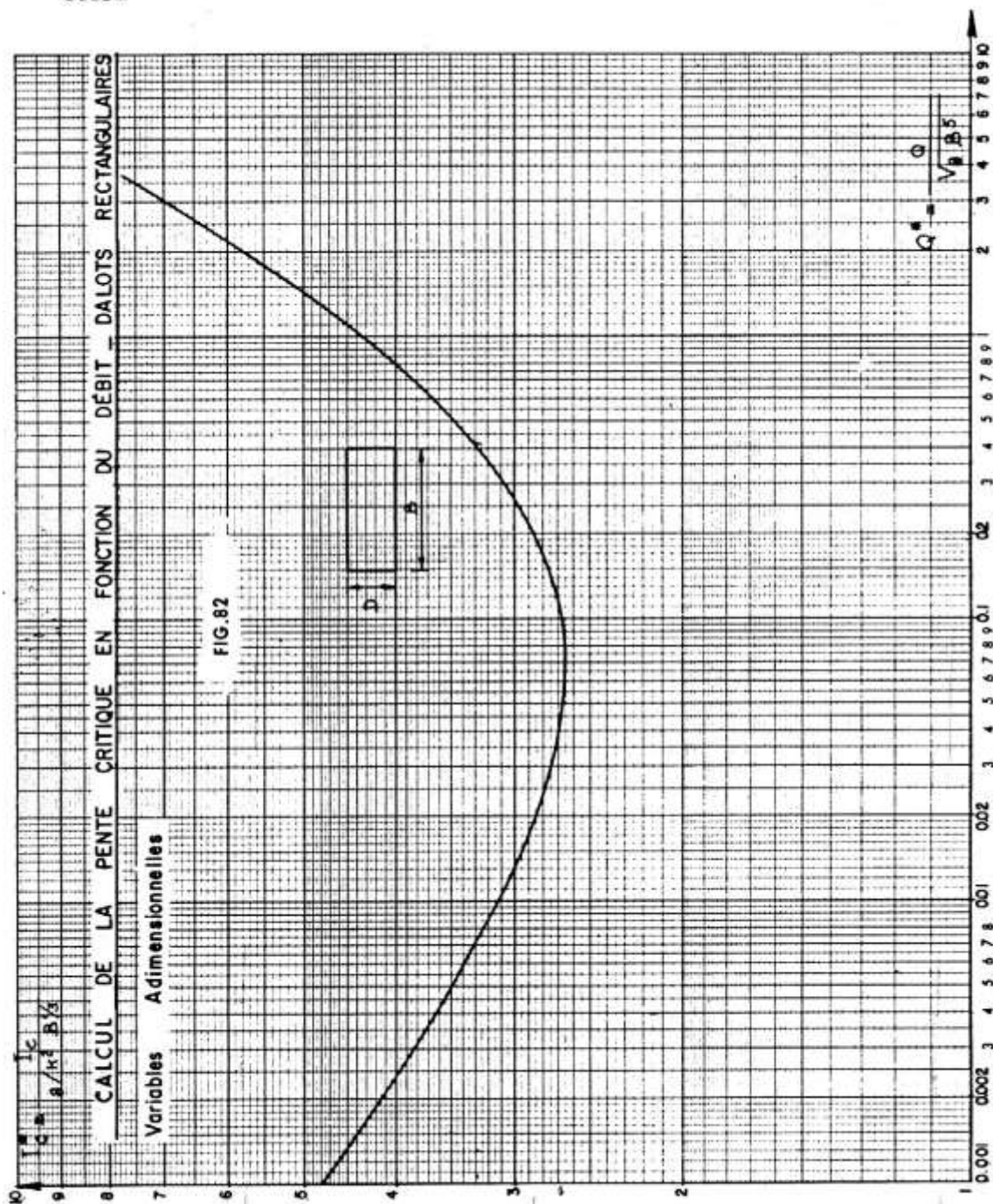
q*	V*	V (m/s)	Observations
0,13	0,35	2,36	V > 3m/s la condition de la vitesse est vérifiée

Au regard des calcul et vérification si dessus nous adaptons un dalot de dimension 2x1,5x1

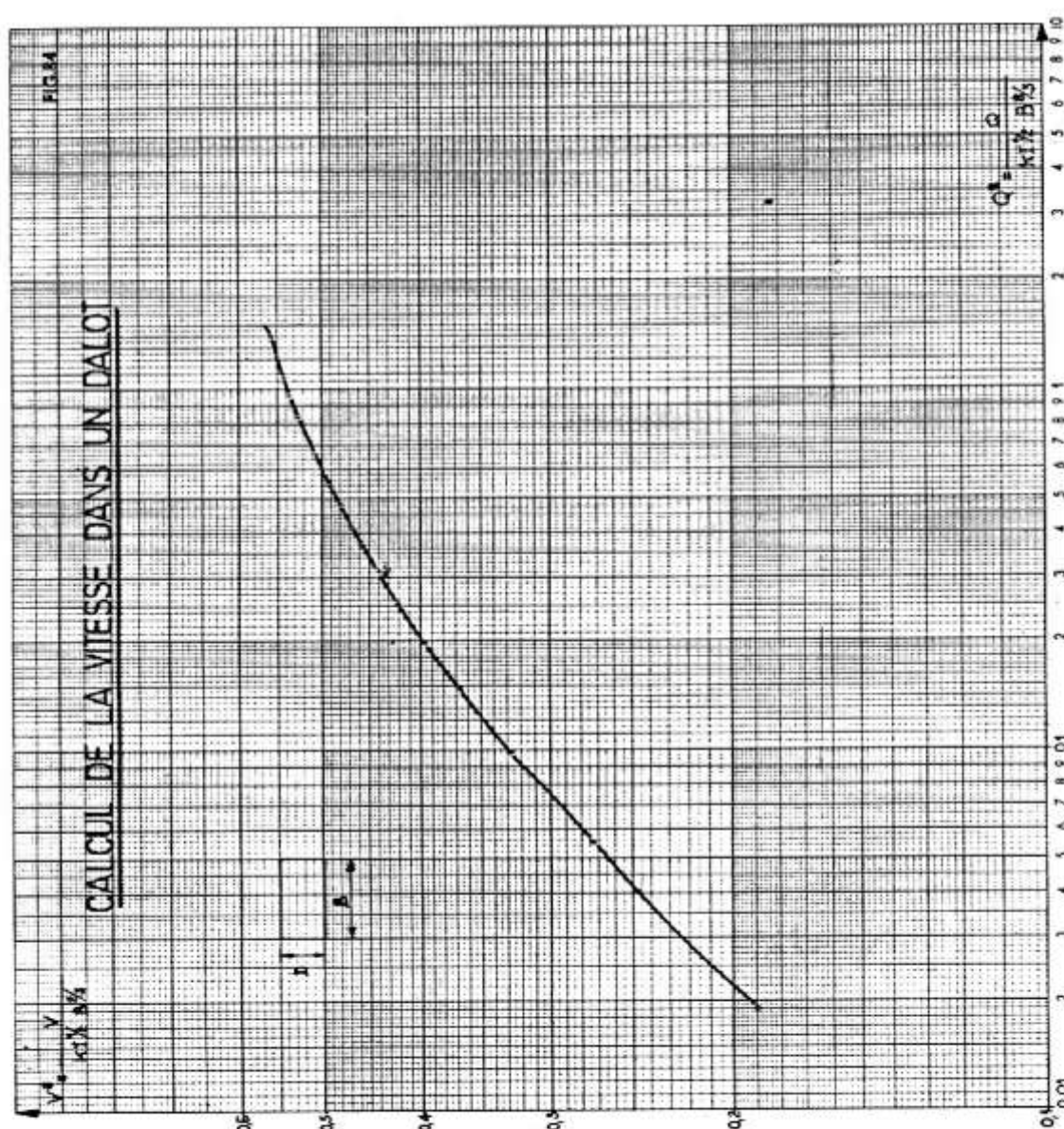
ANNEXE 8: ABAQUE DE DETERMINATION DE LA PROFONDEUR AMONT



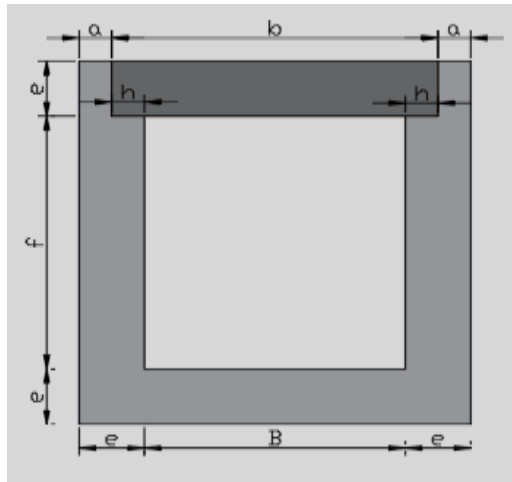
ANNEXE 9: ABAQUE DE LA DETERMINATION DE LA PENTE CRITIQUE DU DALOT



ANNEXE 10: ABAQUE DE DETERMINATION DE VITESSE DANS UN DALOT



ANNEXE 11: NOTE DE CALCUL DU CANIVEAU 1X1



12.1. Pré-dimensionnement

$$e = \frac{b}{32} + 0,125 = \frac{1}{32} + 0.125$$

$$e = 0.156m$$

Avec $e \geq 15.6cm$ nous retiendrons une épaisseur **$e = 20cm$**

Epaisseur de la lèvre de feuillure : $a \cong e/2 = 10 \text{ Cm}$

Redent de la feuillure : $h = e - a = 10 \text{ Cm}$

Portée de la dalle : $b = B + 2(h - 0,01) = 120 \text{ Cm}$

Epaisseur du piedroit : $e = 20 \text{ Cm}$

Epaisseur de la dalle : $e = 20 \text{ Cm}$

Epaisseur du radier : $e = 20 \text{ Cm}$

Hauteur libre du caniveau : $f = 100 \text{ Cm}$

Ouverture du caniveau : $B = 100 \text{ Cm}$

Largeur de dalle : $g = 50 \text{ Cm}$

12.1 Détermination des armatures de la dalle

Calcul des sollicitations

- Poids propre de la dalle :

$$Pd = b \times e \times \rho_b = 1.2 \times 0.2 \times 25$$

$$Pd = 6kN/ml$$

Pour la surcharge sur la dalle nous allons considérer **$Br = 100 \text{ kN}$** comme le recommande le Fascicule 61, Titre II.

- Moment dû au poids propre

$$M_{pd} = Pd \times \frac{(b - 2 \times h)^2}{8} = 6 \times \frac{(1.2 - 2 \times 0.1)^2}{8}$$

$$\mathbf{M_{pd} = 0.75 \text{ kN.m}}$$

- Moment dû à la surcharge Br

$$M_{br} = Br \times \left(\frac{b - 2 \times h}{4} \right) = 100 \times \left(\frac{1.2 - 2 \times 0.1}{4} \right)$$

$$\mathbf{M_{br} = 25 \text{ kN.m}}$$

- Effort tranchant dû au poids propre

$$T_{pd} = Pd \times \frac{(b - 2 \times h)}{4} = 6 \times \frac{(1.2 - 2 \times 0.1)}{4}$$

$$\mathbf{T_{pd} = 0.25 \text{ kN}}$$

- Effort tranchant dû à la surcharge Br

$$T_{br} = \frac{Br}{2} = \frac{100}{2}$$

$$\mathbf{T_{br} = 50 \text{ kN}}$$

✓ Combinaison d'action

✓ A l'ELU

$$M_u = 1.35 M_{pd} + 1.6 M_{br}$$

$$\mathbf{M_u = 41.01 \text{ kN}}$$

$$T_u = 1.35 T_{pd} + 1.6 T_{br}$$

$$\mathbf{T_u = 80.33 \text{ kN}}$$

✓ A l'ELS

$$M_{ser} = M_{pd} + M_{br}$$

$$\mathbf{M_{ser} = 25.75 \text{ kN}}$$

$$T_{ser} = T_{pd} + T_{br}$$

$$\mathbf{T_{ser} = 50.25 \text{ kN}}$$

✓ Calcul des aciers de flexion à l'ELU

- Moment :

$$M_u = 41.01 \text{ kN.M}$$

- Largeur de la section :

$$g = 50 \text{ cm}$$

- Moment réduit :

$$\mu_s = 0.39$$

- Hauteur utile des aciers :

$$d_1 = e - \text{enrobage} = 20 - 3$$

$$d_1 = 17 \text{ cm}$$

- Moment réduit du béton

$$\mu_u = \frac{M_u \times 10^{-3}}{b_0 \times d_1^2 \times f_{bu}} = \frac{41.07 \times 10^{-3}}{0.5 \times 0.17^2 \times 14.17}$$

$$\mu_u = 0.200$$

$\mu_u < \mu_s$ Il n'y a donc pas de présence d'acier comprimé

$$\alpha_u = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1.25(1 - \sqrt{1 - (2 \times 0.20)})$$

$$\alpha_u = 0.28$$

- Bras du levier

$$Z_u = d_1(1 - 0.4 \times \alpha_u) = 0.17 \times (1 - 0.4 \times 0.28)$$

$$Z_u = 0.165$$

- Acier tendu

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_{st}} = \frac{41.01 \times 10^{-3}}{(0.165 \times 347.83)}$$

$$A_{st} = 7.8 \text{ cm}^2$$

✓ Calcul des aciers dû à l'effort tranchant à l'ELU

- Contrainte tangentielle :

$$\sigma_{t0} = \frac{T_u}{b \times d_1} = \frac{80.33 \times 10^{-3}}{(0.50 \times 0.17)}$$

$$\sigma_{t0} = 0.94 \text{ Mpa}$$

- Contrainte limite :

$\sigma_{t\text{limite}} = \min(0.13 \times f_{c28} ; 3)$, puisque nous avons opté pour des FeE 400

$$\sigma_{t\text{limite}} = \min(3.25 ; 3)$$

$$\sigma_{t\text{limite}} = 3 \text{ MPa}$$

- Aciers transversaux (A_{st}) et espacement (esp)

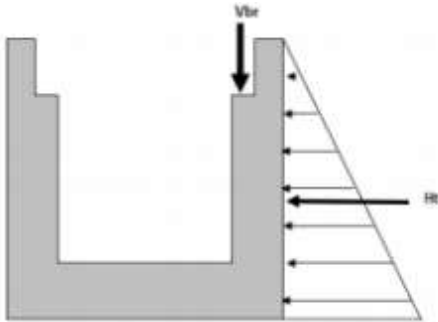
$$\frac{Ast}{esp} = \frac{\sigma_{t0} - 0,3 \times ft_{28}}{(0,8 \times Fe \times b)} = \frac{0,94 - 0,3 \times 2,1}{(0,8 \times 400 \times 0,50)}$$

$$\frac{Ast}{esp} = 0.001m$$

Avec un espacement de 20 cm $Ast = 2 \text{ cm}^2$

12.3. Calcul des armatures du piédroit

12.3.1 1er cas : Pieds droit soumis à la charge de la roue Br et la poussée des terres



✓ Calcul des efforts de sollicitation :

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

$$V_{Br} = \frac{T_{Br}}{g} = \frac{50}{0.5}$$

$$V_{Br} = 100 \text{ kN/ml}$$

- Effort dû au poids propre de la dalle.

$$V_{pd} = \frac{T_{pd}}{g} = \frac{0.25}{0,5}$$

$$V_{pd} = 0.5 \text{ kN/m}$$

- Effort dû au poids propre du pied droit.

$$V_{pp} = e \times \gamma_{\text{béton}} \times (e + f)$$

$$V_{pp} = 0,2 \times 25 \times (1 + 0.2)$$

$$V_{pp} = 6 \text{ kN/ml}$$

- Poussées des terres transmises

$$H_t = Ka \times \gamma_{sol} \times \frac{(f + e)^2}{2} = 0.33 \times 18 \times \frac{(1 + 0,2)^2}{2}$$

$$H_t = 4.31 \text{ k/ml}$$

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

$$V_{bru} = 1.35(V_{pp} + V_{pd}) + 1.5V_{Br}$$

$$V_{bru} = 1.35(6 + 0.5) + 1.5 \times 100$$

$$V_{bru} = 158.77 \text{ kN/ml}$$

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

$$H_{tu} = 1.35 \times H_t$$

$$H_{tu} = 1.35 \times 4.31$$

$$H_{tu} = 5.81 \text{ kN/ml}$$

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

$$M_{Htu} = \frac{H_{tu} \times (f + e)}{3}$$

$$M_{Htu} = \frac{5.81 \times (1 + 0.2)}{3}$$

$$M_{Htu} = 2,34 \text{ kN.ml}$$

✓ *Calcul en flexion*

- Calcul de l'excentricité

$$e = \frac{M_{Htu} + \left(\frac{e}{2} - \frac{h}{2}\right) \times V_{bru}}{V_{bru}}$$

$$e = \frac{M_{Htu} + \left(\frac{e}{2} - \frac{h}{2}\right) \times V_{bru}}{V_{bru}}$$

$$e = \frac{2,34 + \left(\frac{0.2}{2} - \frac{0.1}{2}\right) \times 158.77}{158.77}$$

$$e1 = 0.064 \text{ m}$$

- Calcul du noyau central (be) :

$$be = \frac{e}{6} = \frac{0,2}{6}$$

$$be = 0.033$$

$e > be$ La section est partiellement comprimée

- Moment au centre de gravité des aciers tendus

$$M_{u.c} = e1 \times V_{bru} + V_{bru} \times \left(\frac{e}{6} - enrob\right)$$

$$M_{u.c} = 0.064 \times 150.4 + 150.4 \times \left(\frac{0.2}{6} - 0.03 \right)$$

$$M_{u.c} = 10,12 \text{ kN.m}$$

✓ **Calcul des aciers**

- Hauteur utile des aciers

$$d1 = e - \text{enrobage} = 0,17$$

$$d1 = 0,17$$

- Moment réduit du béton

$$\mu_u = \frac{M_{uc} \times 10^{-3}}{b_0 \times d_1^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{10,12 \times 10^{-3}}{1 \times 0,17^2 \times 14,17}$$

$$\mu_u = 0,0247$$

$\mu_u < \mu_s$ Il n'y a donc pas de présence d'acier comprimé

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - (2 \times 0,0247)})$$

$$\alpha_u = 0,031$$

- Bras du levier

$$Z_u = d1(1 - 0,4 \times \alpha_u) = 0,17 \times (1 - 0,4 \times 0,031)$$

$$Z_u = 0,167$$

- Calcul des aciers tendus

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s} = \frac{10,12 \times 10^{-3}}{0,167 \times 347,83}$$

$$A_{st} = 0,00017 \text{ m}^2$$

- Acier réelle

$$A_{st \text{ réel}} = A_{st} - \frac{V_{bru}}{\sigma_s} = 0,00017 - \frac{158,37 \times 10^{-3}}{347,83}$$

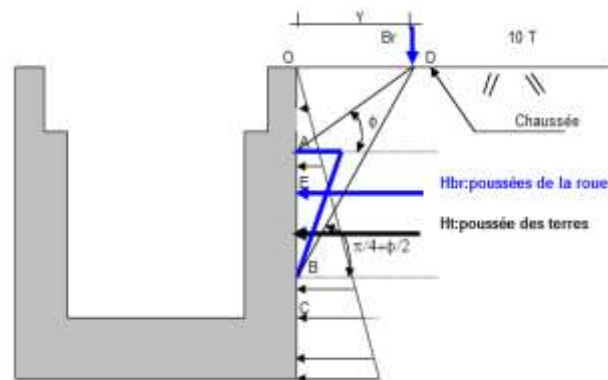
$$A_{st \text{ réel}} = -4,5 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité

$$A_{t \text{ min}} = 0,23 \times b_0 \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0,23 \times 1 \times 0,17 \times \frac{2,1}{400}$$

$$A_{t \text{ min}} = 2 \text{ cm}^2$$

2iem cas : Pied droit soumis à son poids propre, à l'effort de la dallette, aux poussées de terre et de la roue Br



OD : distance de l'axe de la surface d'impact de la roue au piédroit ;

OA : Zone du piédroit soumis à aucune poussée de roue ;

AB : Zone soumise à la poussée de la roue Br

OD = 0,3m

✓ **Calcul des distances définies précédemment**

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

$$OA = 0,173 \text{ m}$$

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

$$OB = 0,520 \text{ m}$$

$$AB = OD - OA = 0,3 - 0,173$$

$$AB = 0,347 \text{ m}$$

$$AE = \frac{AB}{3} = \frac{0,347}{3}$$

$$AE = 0,116 \text{ m}$$

- Point d'application de la résultante Hbr /encastrement

$$EC = OA - AE + (e + f) = 0,347 - 0,116 + (1 + 0,2)$$

$$EC = 1,431 \text{ m}$$

- Longueur de la paroi influencé avec l'angle de diffusion longitudinale de la charge $\theta = 27^\circ$

$$L_{pi} = 0,3 + 2 \times (AB + AO) \times \operatorname{tg} \left(\frac{22}{7} \times \frac{27}{180} \right)$$

$$L_{pi} = 0,308 \text{ m}$$

✓ **Calcul des sollicitations**

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

$$RHbr = \frac{1}{3} \times Br \times tg \left(\frac{22}{7} \times \left(\frac{1}{4} - 0,5 \times \frac{\phi}{180} \right) \right) = 19,25 \text{ KN/ml}$$

$$RHbr = 19,25 \text{ KN/ml}$$

- Résultante Ht des poussées de terres latérales:

$$RHt = Ka \times \gamma_{sol} \times \left(\frac{(d+f)^2}{2} \right) = 0,33 \times 18 \times \left(\frac{(0,2+1)^2}{2} \right)$$

$$RHt = 4.27 \text{ KN/ml}$$

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

$$MHt = RHt \times \left(\frac{f+e}{3} \right) = 4.27 \times \left(\frac{(0,2+1)}{3} \right)$$

$$MHt = 1.708 \text{ KN.m/ml}$$

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

$$MHB r = RHBr \times (EC + e) = 19,25 \times (0,561 + 0,2)$$

$$MHB r = 14,64 \text{ KN.m/ml}$$

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

$$Mu = 1,35 \times 1.708 + 1,5 \times 14,64$$

$$\mathbf{Mu = 24,26 \text{ KN.m /ml}}$$

✓ **Calcul des armatures :**

- Moment réduit du béton :

$$\mu_b = \frac{Mu}{b_0 \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{24,6 \times 10^{-3}}{1 \times 0,17^2 \times 14,167}$$

$$\mu_b = 0,059$$

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

$$\alpha_u = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_b}) = 1.25(1 - \sqrt{1 - (2 \times 0,059)})$$

$$\alpha_u = 0.076$$

$$Z_u = d(1 - 0.4 \times \alpha_u) = 0,17 \times (1 - (0,4 \times 0,076))$$

$$Z_u = 0,165$$

- Calcul des armatures tendues (Ast)

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s} = \frac{24,6 \times 10^{-3}}{0,165 \times 347,83}$$

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

- Condition de non fragilité :

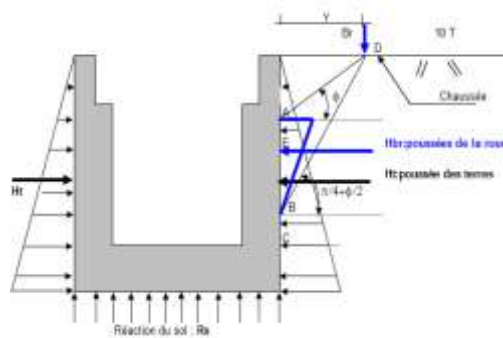
$$A_{st \min} = 0,23 \times b_0 \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$A_{st \min} = 0,23 \times 1 \times 0,2 \times \frac{2,1}{400} = 0,0002415 \text{ m}^2$$

$$A_{st \min} = 2 \text{ cm}^2/\text{ml} \text{ Condition vérifiée !}$$

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

Calcul des armatures du radier



- **La réaction du sol (Rs)**

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

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

$$\mathbf{R_s = -6,02 \text{ KN/ml}}$$

- La réaction du sol (Rs) à l'ELU :

$$R_{su} = 1,35 \times R_s = 1,35 \times (-6,02)$$

$$\mathbf{R_{su} = -8.31 \text{ KN/ml}}$$

- Moment d'encastrement droit:

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

$$\mathbf{M_{du} = 22.83 \text{ KN.m/ml}}$$

- Moment d'encastrement gauche:

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

$$M_{gu} = 2,34 \text{ KN.m/ml}$$

- Moment maximal sollicitant le radier :

$$M_{max} = \max \{M_{gu} ; M_{du}\} = M_{max} = \max \{10,54 ; 22,83\}$$

$$M_{max} = M_{du} = 22,83 \text{ KN.m/ml}$$

De ce fait, nous adopterons le même ferrailage que précédemment (au 2è cas).

ANNEXE 12: NOTE DE CALCUL DALOT 2X1,5X1

1. HYPOTHESES DE CALCUL

Les calculs de ferrailage seront menés suivant les règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et construction en béton armé suivant la méthode des états limites dites règles B.A.E.L 91. Les structures routières seront définies conformément aux prescriptions du titre II du fascicule 61 du cahier des prescriptions communes (C.P.C) français en la matière. Les ouvrages seront calculés par rapport aux systèmes de charges A(L) et B (Bc, Bt et Br). Toutefois pour les dalots et ponts de longueur supérieure à 10 m, A(L) n'est pas envisagé (fascicule 61 chap. 1er).

On fera les calculs par bande de 1.00 m linéaire.

➤ Acier :

- Nuance : Acier à haute adhérence Fe 400
- Limite d'élasticité garantie Fe = 400 MPa
- Contrainte de calcul de l'acier à l'ELU $\sigma_s = \frac{F_e}{1.15} = \frac{400}{1.15} = 347.83 \text{ MPa}$
- Contrainte de calcul de l'acier à l'ELS :

$$\bar{\sigma}_s = \min \left\{ \frac{2}{3} f_e ; \max(0.5 f_e ; 110 \sqrt{1.6 \times f_{c28}}) \right\} = 200 \text{ MPa}$$

- Enrobage = 3 cm

➤ Béton :

- Poids volumique : 25 kN/m³
- Fissuration préjudiciable
- Résistance nominale à 28 j :
 - A la compression $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$
 - A la traction $f_{tj} = 0.6 + 0.06 f_{c28}$
- Contrainte limite du béton : $\bar{\sigma}_{bc} = 0.6 \times f_{c28} = 0.6 \times 25 = 15 \text{ MPa}$

➤ Remblai :

- Vu la présence de remblai sur le tablier, on prend comme densité de terre $\approx 20 \text{ kN/m}^3$
- Le coefficient de poussée des terres sera $K_a = 0.33$

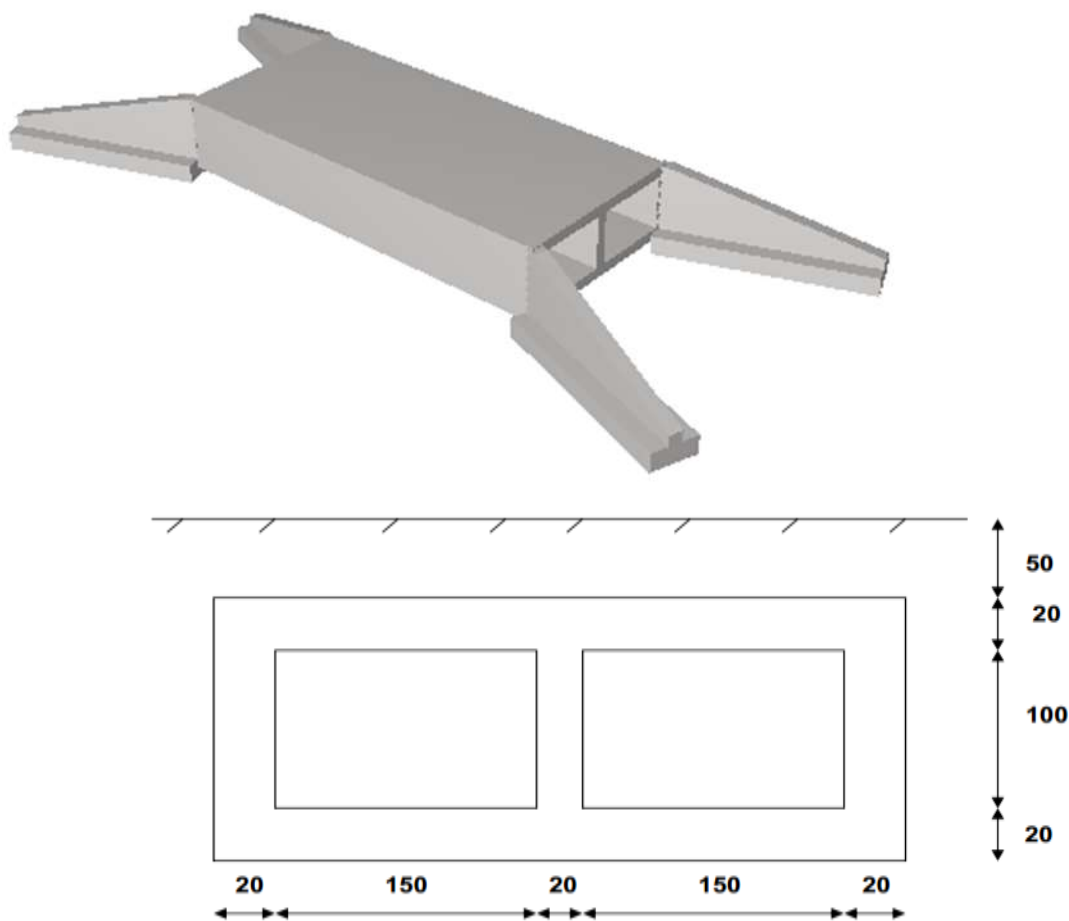


Schéma équivalent

12.1. Évaluation des charges permanentes

Au niveau du tablier

Gt = Poids mort tablier du tablier + Poids mort remblais

$$Gt = (1 \times 0.2 \times 25) + (1 \times 0.1 \times 20) = 8.25 \text{ kN}$$

Au niveau du radier

Gr = Poids mort du radier + Poids mort table + Poids mort remblai + Poids mort Pieds droits

$$P. \text{ mort radier} = (1 \times 0.20 \times 25) = 6.25 \text{ KN/ml}$$

$$P. \text{ mort tablier} = (1 \times 0.20 \times 25) = 6.25 \text{ KN/ml}$$

$$P. \text{ mort remblais} = (1 \times 0.1 \times 20) = 2 \text{ KN/ml}$$

$$P. \text{ mort pieds droit} = 3 \times (1 \times 0.2 \times 25/3.6) = 4.16 \text{ KN/ml}$$

$$Gr = 16.15 \text{ KN/ml}$$

Évaluation de la surcharge routière

Pour notre seul le système de charge B sera utilisé

Il comprend trois systèmes distincts dont il y a lieu d'examiner indépendamment afin de choisir le cas le plus défavorable

- Le système Bc se compose de camion de types ;
- Le système Br se compose d'une roue isolée ;
- Le système Bt se compose de groupe de deux essieux dénommés essieux tandems

Le système Bt ne s'applique qu'aux ponts de première ou de deuxième classe. Dans notre cas ce dernier système est exclu.

A. Le système Bc

Le sous-système Bc compose de camions de poids individuel égal à 300 kN. On dispose autant de files de deux camions au maximum que de voies de circulation, il est affecté un coefficient de pondération bc (dégressivité transversale). La Figure 9 ci-dessous nous montre la disposition de deux camion (sous-système Bc)

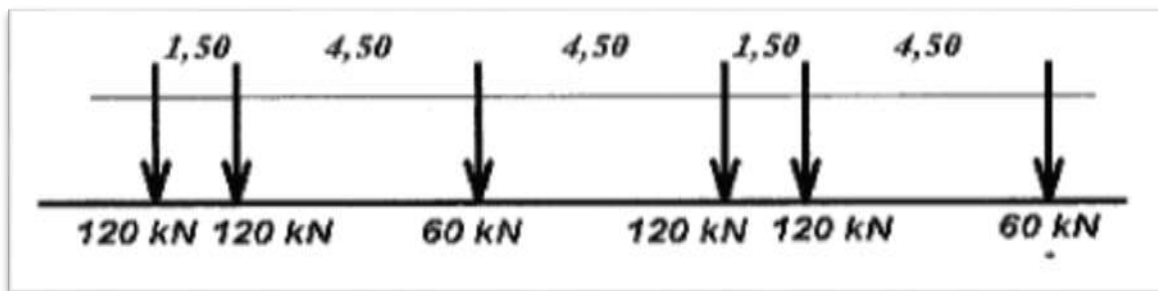


Figure 9: disposition de deux camions dans le sens transversal (sous-système Bc)

La déduction de coefficient bc est en fonction de la classe du pont et du nombre de voies chargées, les différentes valeurs du coefficient bc sont consignés dans le Tableau 31 ci-dessous.

Tableau 31: valeur du coefficient bc

Classe du pont	Nombre de voies chargées				
	1	2	3	4	5
I	1.20	1.10	0.95	0.80	0.70
II	1.00	1.00	-	-	-
III	1.00	0.80	-	-	-

Pour le cas de notre étude, le pont est de première classe avec deux files, le coefficient bc est respectivement égal à 1.20 pour une file et 1.10 pour deux (2) files. Nous avons deux camions transversalement et deux files de deux essieux de 120 kN. Le

Tableau 32 présente le calcul de la charge engendrée par le sous-système Bc.

Tableau 32: calcul des charges sous système bc

Nombre de voies chargées	bc	Charge par Essieu (kN)		
1 voie	1.20	E. AV	1 X 60 X 1.20	70
		E.AR	1 X 120 X 1.20	144
2 voies	1.10	E. AV	2 X 60 X 1.10	132
		E.AR	2 X 120 X 1.10	264

On a: $S = 2 \times 120 \times 2 \times 1.1 = 528 \text{ kN}$

B. Le système Br

Le sous-système Br se compose d'une roue isolée transmettent un effort de 100 KN à travers une surface d'impact rectangulaire de 0.60 x 0.30 m (la dimension 0.60 perpendiculaire à l'axe de déplacements des véhicules, représente la surface au sol de roues jumelées), il est représenté par Figure 10 qui suit :20 (Ministère de l'équipement et du logement, et Ministère de l'économie des finances)

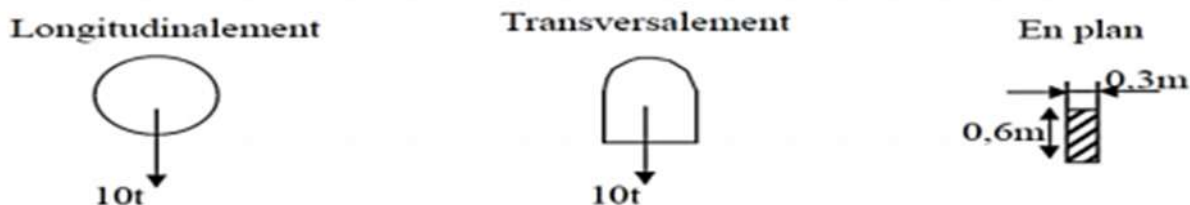


Figure 10: configuration sous-système Br

Le système Br se calcul suit :

Deux voies chargées donc $Br = 10t = 100 \text{ KN}$

Le système Bc- Niger

Le sous-système Bc- Niger dispose sur une travée de deux essieux de 12t soit et correspond un coefficient de majoration $bc = 1.1$.

$$S_{bc-Niger} = 2 \times 260 \times bc$$

$$S_{bc-Niger} = 2 \times 260 \times 1.1 = 572 \text{ kN}$$

$$S = \max\{S_{Bc}; S_{Br}; S_{bc-Niger}\} = \max\{528; 100; 572\} = 572 \text{ kN}$$

Pour la suite de dimensionnement, nous prendrons la valeur de la surcharge Bt comme surcharge routière $q_L = 572 \text{ kN}$.

✓ **Charge repartie au niveau du tablier**

La charge repartie

$$q_1 = \frac{572 \times 1}{1.7 \times 5}$$

$$q_1 = 85,33 \text{ kN/m}^2$$

Coefficient de majoration dynamique

$$\delta = 1 + \frac{0.40}{1 + 0.2 \times l} + \frac{0.60}{1 + 4 \times \frac{G}{S}}$$

$$G = 8.25 \times 1.5 = 12.3 \text{ kN}$$

$$S = 62.12 \times 1.5 = 93.18 \text{ kN}$$

$$\delta = 1 + \frac{0.40}{1 + 0.2 \times 1.5} + \frac{0.60}{1 + 4 \times \frac{12.3}{93.18}}$$

$$\delta = 1.42$$

D'où une charge repartie $q_t = q_1 \times \delta = 1.42 \times 62.12$

$$q_t = 88.49 \text{ kN/ml}$$

✓ **Charge repartie au niveau Radier**

- Disposition de deux fil des deux essieux 120 kN du système Bc soit 480 kN

$$q_1 = \frac{572 \times 1.1}{3.6 \times 5}$$

$$q_1 = 29.42 \text{ kN/m}^2$$

$$\delta = 1 + \frac{0.40}{1 + 0.2 \times l} + \frac{0.60}{1 + 4 \times \frac{G}{S}}$$

$$G = 16.15 \times 1.5 = 24.22 \text{ kN}$$

$$S = 29.42 \times 1.5 = 44.13 \text{ kN}$$

$$\delta = 1 + \frac{0.40}{1 + 0.2 \times 1.5} + \frac{0.60}{1 + 4 \times \frac{24.22}{44.13}}$$

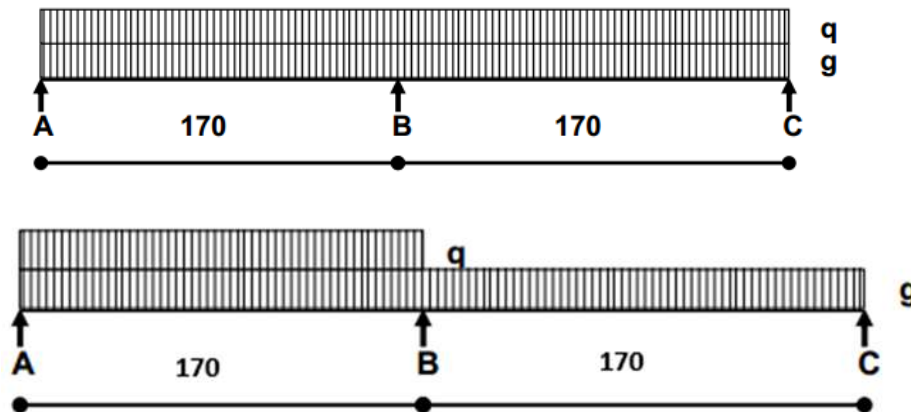
$$\delta = 1.5$$

D'où une charge répartie $qr = q_1 \times \delta = 1.5 \times 29.42$

$$qr = 43.99 \text{ kN/ml}$$

Détermination des efforts de sollicitation

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



Evaluation de la surcharge routière.

Au niveau du tablier

✓ *Sous charge permanente*

$$Gt = 8.25 \text{ kN}$$

- Moment à mi- travée A-B et BC

$$M_{AB} = M_{BC} = 0.07 \times g \times l^2 = 0.07 \times 8.25 \times 1.7^2$$

$$M_{AB} = M_{BC} = 1.6 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment sur appui B

$$M_B = -0.125 \times g \times l^2 = -0.1250 \times 8.25 \times 1.7^2$$

$$M_B = -2.97 \text{ kN.m/ml}$$

- Réaction d'appuis

$$R_A = R_C = 0.375 \times g \times l = 0.375 \times 8.25 \times 1.7$$

$$R_A = R_C = 5.25 \text{ kN}$$

$$R_B = 1.25 \times g \times l = 1.25 \times 8.5 \times 1.7$$

$$R_B = 18.06 \text{ kN}$$

✓ **Sous charge Routière**

$$qt = 88.49 \text{ kN/ml}$$

- Moment à mi- travée A-B et BC

$$M_{AB} = M_{BC} = 0.1 \times qt \times l^2 = 0.1 \times 88.49 \times 1.7^2$$

$$M_{AB} = M_{BC} = 25.57 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment sur appui B

$$M_B = -0.125 \times qt \times l^2 = -0.1250 \times 88.49 \times 1.7^2$$

$$M_B = -31.96 \text{ kN.m/ml}$$

- Réaction d'appuis

$$R_A = R_C = 0.437 \times qt \times l = 0.437 \times 88.49 \times 1.7$$

$$R_A = R_C = 65.73 \text{ kN}$$

$$R_B = 0.625 \times qt \times l = 0.625 \times 88.49 \times 1.7$$

$$R_B = 94.02 \text{ kN}$$

Au niveau du radier

✓ **Sous charge permanente**

$$Gr = 16.15 \text{ kN}$$

- Moment à mi- travée A-B et BC

$$M_{AB} = M_{BC} = 0.07 \times g \times l^2 = 0.07 \times 16.15 \times 1.7^2$$

$$M_{AB} = M_{BC} = 3.31 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment sur appui B

$$M_B = -0.125 \times g \times l^2 = -0.1250 \times 16.15 \times 1.7^2$$

$$M_B = -5.814 \text{ kN.m/ml}$$

- Réaction d'appuis

$$R_A = R_C = 0.375 \times g \times l = 0.375 \times 16.15 \times 1.7$$

$$R_A = R_C = 10.27 \text{ kN}$$

$$R_B = 1.25 \times g \times l = 1.25 \times 16.15 \times 1.7$$

$$R_B = 34.31 \text{ kN}$$

✓ **Sous charges Routière**

$$qr = 43.99 \text{ kN/ml}$$

- Moment à mi- travée A-B et BC

$$M_{AB} = M_{BC} = 0.1 \times qr \times l^2 = 0.1 \times 43.99 \times 1.7^2$$

$$M_{AB} = M_{BC} = 12.7 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment sur appui B

$$M_B = -0.125 \times qr \times l^2 = -0.1250 \times 43.99 \times 1.7^2$$

$$M_B = -15.88 \text{ kN.m/ml}$$

- Réaction d'appuis

$$R_A = R_C = 0.437 \times qr \times l = 0.437 \times 43.99 \times 1.7$$

$$R_A = R_C = 32.68 \text{ kN}$$

$$R_B = 0.625 \times qr \times l = 0.625 \times 43.99 \times 1.7$$

$$R_B = 46.75 \text{ kN}$$

Au niveau du point central

✓ **Sous charges permanentes**

- Réaction d'appui du radier

$$N = R_B = 34.31 \text{ kN/ml}$$

✓ **Sous charges Routières**

- Réaction d'appui du radier

$$N = R_B = 94.02 \text{ kN}$$

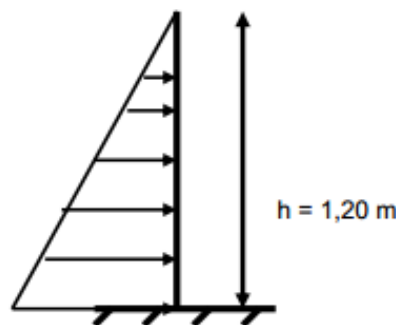
Au niveau des pieds droit extérieurs

✓ **Sous charges permanentes**

- Effort normal

$$N = R_A = R_C = 10.27 \text{ kN (réaction d'appuis du radier)}$$

- Moment dû à la poussée des terres



$$M = \frac{\gamma \times h^3 \times Kp}{6} = \frac{20 \times 1.2^3 \times 0.33}{6}$$

$$M = 1.92 \text{ kN.m/ml}$$

✓ **Sous charges Routières**

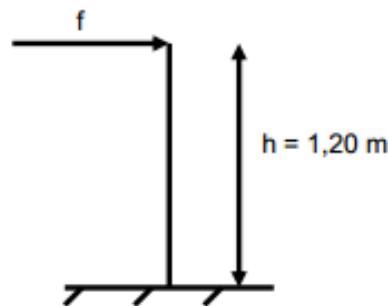
- Effort normal

$$N = R_A = R_C$$

$$= 65.73 \text{ kN (réaction d'appuis du tablier sous charge routière)}$$

- Moment dû à la force de freinage

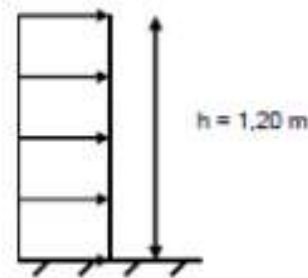
On répartit l'effort des deux essieux $F = 48 \text{ kN}$ (calculé précédemment) sur les deux pieds droits d'où $f = 24 \text{ kN}$



$$M = f \times h = 24 \times 1.2$$

$$M = 28.88 \text{ kN.m/ml}$$

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



$$M = \frac{\sigma \times h^2 \times Kp}{2} = \frac{10 \times 1.2^3 \times 0.33}{2}$$

$$M = 2.4 \text{ kN.m/ml}$$

Calcul des armatures

Calcul des armatures du tablier

A mi- travée AB et BC (lit inferieur)

✓ **A l'ELU**

$$Mu = 1.35 \times 1.61 + 1.6 \times 25.57$$

$$Mu = 43.07 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment réduit du béton

$$\mu_u = \frac{Mu \times 10^{-3}}{b_0 \times d_1^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{43.07 \times 10^{-3}}{1 \times 0.18^2 \times 14.17}$$

$$\mu_u = 0.1$$

$\mu_u < \mu_s$ Il n'y a donc pas de présence d'acier comprimé

$$\alpha_u = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1.25(1 - \sqrt{1 - (2 \times 0.1)})$$

$$\alpha_u = 0.13$$

- Bras du levier

$$Z_u = d_1(1 - 0.4 \times \alpha_u) = 0.18 \times (1 - 0.4 \times 0.1)$$

$$Z_u = 0.17$$

- Calcul des aciers tendus

$$Ast = \frac{Mu}{Z_u \times \sigma_s} = \frac{43.07 \times 10^{-3}}{0.165 \times 347.83}$$

$$Ast = 7.58 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité

$$Amin = \frac{0.23 \times b \times d \times Ft28}{Fe} = \frac{0.23 \times 1.5 \times 2.4 \times 0.18}{400}$$

$$Amin = 3.7 \text{ cm}^2$$

✓ A l'ELS

$$Mser = 1.61 + 1.2 \times 25.57$$

$$Mser = 32.24 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment résistant

$$M_{serb} = \frac{b \times d^2}{2} \times \bar{\sigma}_{bc} \times \bar{\alpha}_{ser} \times (1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3})$$

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

$$\bar{\alpha}_{ser} = 0.53$$

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

$$M_{serb} = 106 \text{ kN.m} > M_{ser} \text{ il n'ya donc pas d'aciers comprimés}$$

- Section d'aciers principaux

$$A_{pr} = \frac{M_{ser}}{d \times \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{st}} = \frac{32,24 \times 10^{-3}}{0,18 \times \left(1 - \frac{0,53}{3}\right) \times 200}$$

$$A_{pr} = 10,8 \text{ cm}^2$$

- Section d'aciers de répartition

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

$$A_{rep} = 2,7 \text{ cm}^2$$

Nous retiendrons alors

$$A_{pr} = 10,8 \text{ cm}^2$$

$$A_{rep} = 3,7 \text{ cm}^2$$

Calcul des aciers sur appui B (lit supérieur)

✓ *A l'ELU*

$$M_u = 1.35 \times 2.97 + 1.6 \times 31.96$$

$$M_u = 55.14 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment réduit du béton

$$\mu_u = \frac{M_u \times 10^{-3}}{b_0 \times d_1^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{55.14 \times 10^{-3}}{1 \times 0.18^2 \times 14.17}$$

$$\mu_u = 0.12$$

$\mu_u < \mu_s$ Il n'y a donc pas de présence d'acier comprimé

$$\alpha_u = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1.25(1 - \sqrt{1 - (2 \times 0,12)})$$

$$\alpha_u = 0.16$$

- Bras du levier

$$Z_u = d_1(1 - 0.4 \times \alpha_u) = 0.18 \times (1 - 0.4 \times 0.1)$$

$$Z_u = 0.168$$

- Calcul des aciers tendus

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s} = \frac{55.14 \times 10^{-3}}{0.168 \times 347.83}$$

$$A_{st} = 9.4 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité

$$A_{min} = \frac{0.23 \times b \times d \times F_{t28}}{F_e} = \frac{0.23 \times 1.5 \times 2.4 \times 0.18}{400}$$

$$A_{min} = 3.7 \text{ cm}^2$$

Nous retiendrons alors **$A_{st} = 9.4 \text{ cm}^2$**

✓ **A l'ELS**

$$M_{ser} = 2.97 + 1.2 \times 31.96$$

$$M_{ser} = 41.32 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment résistant

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

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

$$\bar{\alpha}_{ser} = 0.53$$

$$M_{serb} = \frac{1 \times 0.18^2}{2} \times 15 \times 0.53 \times \left(1 - \frac{0.53}{3}\right)$$

$$M_{serb} = 106 \text{ kN.m} > M_{ser} \text{ il n'ya donc pas d'aciers comprimés}$$

- Section d'aciers principaux

$$A_{pr} = \frac{M_{ser}}{d \times \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{st}} = \frac{41.32 \times 10^{-3}}{0.18 \times \left(1 - \frac{0.53}{3}\right) \times 200}$$

$$A_{pr} = 13.93 \text{ cm}^2$$

- Section d'aciers de répartition

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4} = \frac{13.93}{4}$$

$$A_{rep} = 3.4 \text{ cm}^2$$

Nous retiendrons alors

$$A_{pr} = 13,93 \text{ cm}^2$$

$$A_{rep} = 3,7 \text{ cm}^2$$

Aux bouts A et C (lit supérieur)

✓ *A l'ELU*

On estime forfaitairement $M_u = 0.5 \times M_{u_{AB}} = 43.07 \times 0.5$

$$M_u = 21.53 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment réduit du béton

$$\mu_u = \frac{M_u \times 10^{-3}}{b_0 \times d_1^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{21.53 \times 10^{-3}}{1 \times 0.18^2 \times 14.17}$$

$$\mu_u = 0.04$$

$\mu_u < \mu_s$ Il n'y a donc pas de présence d'acier comprimé

$$\alpha_u = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1.25(1 - \sqrt{1 - (2 \times 0.04)})$$

$$\alpha_u = 0.06$$

- Bras du levier

$$Z_u = d_1(1 - 0.4 \times \alpha_u) = 0.18 \times (1 - 0.4 \times 0.06)$$

$$Z_u = 0.17$$

- Calcul des aciers tendus

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s} = \frac{21.53 \times 10^{-3}}{0.17 \times 347.83}$$

$$A_{st} = 3.64 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité

$$A_{min} = \frac{0.23 \times b \times d \times f_{t28}}{F_e} = \frac{0.23 \times 1.5 \times 0.18 \times 2.4}{400}$$

$$A_{min} = 3,7 \text{ cm}^2$$

✓ *A l'ELS*

$$M_{ser} = 0.5 \times M_{ser}(A - B)$$

$$M_{ser} = 20,66 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment résistant

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

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

$$\bar{\alpha}_{ser} = 0,53$$

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

$$M_{serb} = 106 \text{ kN.m} > M_{ser} \text{ il n'ya donc pas d'aciers comprimés}$$

- Section d'aciers principaux

$$A_{pr} = \frac{M_{ser}}{d \times \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{st}} = \frac{20,66 \times 10^{-3}}{0,18 \times \left(1 - \frac{0,53}{3}\right) \times 200}$$

$$A_{pr} = 6,9 \text{ cm}^2$$

- Section d'aciers de répartition

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4} = \frac{6,9}{4}$$

$$A_{rep} = 1,7 \text{ cm}^2$$

Nous retiendrons alors

$$A_{pr} = 6,9 \text{ cm}^2$$

$$A_{rep} = 1,7 \text{ cm}^2$$

Calcul des armatures du radier

A mi- travée AB et BC (lit supérieur)

✓ *A l'ELU*

$$M_u = 1.35 \times 3.31 + 1.6 \times 12.17$$

$$M_u = 23.94 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment réduit du béton

$$\mu_u = \frac{M_u \times 10^{-3}}{b_0 \times d_1^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{23.94 \times 10^{-3}}{1 \times 0.18^2 \times 14.17}$$

$$\mu_u = 0.052$$

$\mu_u < \mu_s$ Il n'y a donc pas de présence d'acier comprimé

$$\alpha_u = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1.25(1 - \sqrt{1 - (2 \times 0,1)})$$

$$\alpha_u = 0.06$$

- Bras du levier

$$Z_u = d_1(1 - 0.4 \times \alpha_u) = 0.18 \times (1 - 0.4 \times 0.06)$$

$$Z_u = 0.17$$

- Calcul des aciers tendus

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s} = \frac{23.94 \times 10^{-3}}{0.165 \times 347.83}$$

$$A_{st} = 4.05 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité

$$A_{min} = \frac{0.23 \times b \times d \times Ft_{28}}{F_e} = \frac{0.23 \times 1 \times 0,18 \times 2.4}{400}$$

$$A_{min} = 3,7 \text{ cm}^2$$

A l'ELS

$$M_{ser} = M_u = 3.31 + 1.2 \times 12.17$$

$$M_{ser} = 17,914 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment résistant

$$M_{serb} = \frac{b \times d^2}{2} \times \bar{\sigma}_{bc} \times \bar{\alpha}_{ser} \times (1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3})$$

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

$$\bar{\alpha}_{ser} = 0,53$$

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

$$M_{serb} = 106 \text{ kN.m} > M_{ser} \text{ il n'ya donc pas d'aciers comprimés}$$

- Section d'aciers principaux

$$A_{pr} = \frac{M_{ser}}{d \times (1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}) \times \bar{\sigma}_{st}} = \frac{17,914 \times 10^{-3}}{0,18 \times (1 - \frac{0,53}{3}) \times 200}$$

$$A_{pr} = 6 \text{ cm}^2$$

- Section d'aciers de répartition

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4} = \frac{6}{4}$$

$$A_{rep} = 1,5 \text{ cm}^2$$

Nous retiendrons alors

$$A_{pr} = 6 \text{ cm}^2$$

$$A_{rep} = 3,7 \text{ cm}^2$$

Sur appuis B (lit inferieur)

A l'ELU

$$\checkmark Mu = 1.35 \times 5.814 + 1.6 \times 15.58$$

$$Mu = 33.22 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment réduit du béton

$$\mu_u = \frac{M_u \times 10^{-3}}{b_0 \times d_1^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{33.22 \times 10^{-3}}{1 \times 0.18^2 \times 14.17}$$

$$\mu_u = 0.07$$

$\mu_u < \mu_s$ Il n'y a donc pas de présence d'acier comprimé

$$\alpha_u = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1.25(1 - \sqrt{1 - (2 \times 0.07)})$$

$$\alpha_u = 0.09$$

- Bras du levier

$$Z_u = d_1(1 - 0.4 \times \alpha_u) = 0.18 \times (1 - 0.4 \times 0.09)$$

$$Z_u = 0.17$$

- Calcul des aciers tendus

$$A_{st} = \frac{Mu}{Z_u \times \sigma_s} = \frac{33.22 \times 10^{-3}}{0.17 \times 347.83}$$

$$A_{st} = 5.6 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité

$$A_{min} = \frac{0.23 \times b \times d \times Ft_{28}}{Fe} = \frac{0.23 \times 1.5 \times 0.18 \times 2.4}{400}$$

$$A_{min} = 3,7 \text{ cm}^2$$

A l'ELS

$$M_{ser} = 5.814 + 1.2 \times 15.58$$

$$M_{ser} = 24,51 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment résistant

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

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

$$\bar{\alpha}_{ser} = 0,53$$

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

$$M_{serb} = 106 \text{ kN.m} > M_{ser} \text{ il n'ya donc pas d'aciers comprimés}$$

- Section d'aciers principaux

$$A_{pr} = \frac{M_{ser}}{d \times \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{st}} = \frac{24,51 \times 10^{-3}}{0,18 \times \left(1 - \frac{0,53}{3}\right) \times 200}$$

$$A_{pr} = 8,2 \text{ cm}^2$$

- Section d'aciers de répartition

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4} = \frac{8,2}{4}$$

$$A_{rep} = 2 \text{ cm}^2$$

Nous retiendrons alors

$$A_{pr} = 8,2 \text{ cm}^2$$

$$A_{rep} = 3,7 \text{ cm}^2$$

Calcul des armatures du piédroit Central B

$$Nu = 1.35 \times 34.31 + 1.6 \times 94.02$$

$$Nu = 196.75 \text{ kN}$$

✓ *Evaluation de l'effort de compression repris par le béton seul du poteau*

- Section réduite du béton

$$Br = (1 - 0.02) \times (0.2 - 0.02)$$

$$Br = 0.17 \text{ m}^2$$

- Longueur de flambement

$$Lf = 0.7 \times H = 0.7 \times 1$$

$$L_f = 0.7m$$

- Elancement

$$\lambda = \frac{3.45 \times L_f}{b} = \lambda = \frac{3.45 \times 0.7}{0.2}$$

$$\lambda = 12.11$$

- Calcul de l'effort normal maximal

$$N_{max} = \frac{\alpha \times Br \times F_{c28}}{0.9 \times \gamma b}$$

Avec :

$$\alpha = \frac{0.85}{1 + 0.2 \times \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} = \frac{0.85}{1 + 0.2 \times \left(\frac{12.11}{35}\right)^2}$$

$$\alpha = 0.83$$

$$N_{max} = \frac{0.83 \times 0.17 \times 25 \times 10^3}{0.9 \times 1.5}$$

$$N_{max} = 2612 \text{ kN}$$

$N_{max} > N_u$ On adoptera alors les valeurs minimales des armatures

$$A = 4 \times 2 \times (1 + 0.2)$$

$$A = 9.6 \text{ cm}^2$$

Soit $A = 4.80 \text{ cm}^2$ sur chaque face

Calcul des armatures piédroits extérieurs A et C

✓ *A l'ELU*

$$M_u = 1.35G + 1.6Q$$

$$M_u = 1.35 \times 1,92 + 1.6(28,8 + 2,4)$$

$$M_u = 52,51 \text{ kN/ml}$$

$$N_u = 1.35 \times 10,27 + 1.6 \times 65,73$$

$$N_u = 119,0,3$$

- Détermination de l'excentricité

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{52,51}{119,03}$$

$$e = 0,44 \text{ m}$$

- Calcul de l'effort de compression maximal supportable par le béton

$$N_{bmax} = b \times h \times f_{bc} = 1 \times 0.20 \times 14.16 = 2832 \text{ kN}$$

$$Nb_{max} = 2832 \text{ kN}$$

- Le coefficient de remplissage

$$\psi_1 = \frac{Nu}{Nb_{max}} = \frac{119,03}{2832}$$

$$\psi_1 = 0,042$$

$\psi_1 < 0,81$ on détermine l'excentricité critique relative ζ

- Détermination de l'excentricité critique relative

$$\zeta = \frac{1 + \sqrt{9 - 12\psi_1}}{4(3 + \sqrt{9 - 12\psi_1})} = \frac{1 + \sqrt{9 - 12 \times 0,042}}{4(3 + \sqrt{9 - 12 \times 0,042})}$$

$$\zeta = 0,165$$

- Calcul de e_{Nc}

$$e_{Nc} = \zeta \times h = 0,165 \times 0,2$$

$$e_{Nc} = 0,032 \text{ m}$$

$e > e_{Nc}$ section partiellement comprimée

- Calcul du moment fictif

$$M_{fictif} = Nu \times e_A$$

$$e_A = e + (d - 0,5h) = 0,44 + (0,18 - 0,5 \times 0,2)$$

$$e_A = 0,52$$

$$M_{fictif} = 119,03 \times 0,52$$

$$M_{fictif} = 62 \text{ kN/ml}$$

- Moment réduit du béton

$$\mu_u = \frac{M_{fictif} \times 10^{-3}}{b_0 \times d_1^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{62 \times 10^{-3}}{1 \times 0,18^2 \times 14,17}$$

$$\mu_u = 0,135$$

$\mu_u < \mu_s$ Il n'y a donc pas de présence d'acier comprimé

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - (2 \times 0,135)})$$

$$\alpha_u = 0,18$$

- Bras du levier

$$Z_u = d_1(1 - 0.4 \times \alpha_u) = 0.18 \times (1 - 0.4 \times 0.18)$$

$$Z_u = 0.16$$

- Calcul des aciers tendus

$$A_{st,fictif} = \frac{M_{fictif}}{Z_u \times \sigma_s} = \frac{62 \times 10^{-3}}{0.16 \times 347.83}$$

$$A_{st,fictif} = 11,14 \text{ cm}^2$$

- Section réelle d'aciers tendus

$$A_{st,réel} = A_{st,fictif} - \frac{N_u}{\sigma_s} = 0,001114 - \frac{119,03 \times 10^{-3}}{347,48}$$

$$A_{st,réel} = 7,71 \text{ cm}^2$$

✓ A l'ELS

$$M_{ser} = G + 1.2Q$$

$$M_{ser} = 1,92 + 1.2(28,8 + 2,4)$$

$$M_{ser} = 39,96 \text{ kN/ml}$$

$$N_{ser} = 10,27 + 1.2 \times 65,73$$

$$N_{ser} = 89,146 \text{ kN}$$

- Détermination de l'excentricité

$$e = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} = \frac{39,96}{89,146}$$

$$e = 0,45 \text{ m}$$

- Calcul de l'effort de compression maximal supportable par le béton

$$N_{bmax} = b \times h \times f_{bc} = 1 \times 0.20 \times 14.16 = 2832 \text{ kN}$$

$$N_{bmax} = 2832 \text{ kN}$$

- Le coefficient de remplissage

$$\psi_1 = \frac{N_{ser}}{N_{bmax}} = \frac{89,146}{2832}$$

$$\psi_1 = 0,031$$

$\psi_1 < 0,81$ on détermine l'excentricité critique relative ζ

- Détermination de l'excentricité critique relative

$$\zeta = \frac{1 + \sqrt{9 - 12\psi_1}}{4(3 + \sqrt{9 - 12\psi_1})} = \frac{1 + \sqrt{9 - 12 \times 0,031}}{4(3 + \sqrt{9 - 12 \times 0,031})}$$

$$\zeta = 0,165$$

- Calcul de e_{Nc}

$$e_{Nc} = \zeta \times h = 0,165 \times 0,2$$

$$e_{Nc} = 0,032 \text{ m}$$

$$e > e_{Nc} \text{ section partiellement comprimée}$$

- Calcul du moment fictif

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

$$e_A = e + (d - 0,5h) = 0,44 + (0,18 - 0,5 \times 0,2)$$

$$e_A = 0,52$$

$$M_{ser,fictif} = 89,146 \times 0,52$$

$$M_{ser,fictif} = 46,35 \text{ kN/ml}$$

- Moment résistant

$$M_{serb} = \frac{b \times d^2}{2} \times \bar{\sigma}_{bc} \times \bar{\alpha}_{ser} \times (1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3})$$

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

$$\bar{\alpha}_{ser} = 0,53$$

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

$$M_{serb} = 106 \text{ kN.m} > M_{ser,fictif} \text{ il n'ya donc pas d'aciers comprimés}$$

- Section d'aciers principaux

$$A_{pr,fictif} = \frac{M_{ser,fictif}}{d \times (1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}) \times \bar{\sigma}_{st}} = \frac{46,35 \times 10^{-3}}{0,18 \times (1 - \frac{0,53}{3}) \times 200}$$

$$A_{pr,fictif} = 15,63 \text{ cm}^2$$

$$A_{st,réel} = A_{st,fictif} - \frac{N_{ser}}{\bar{\sigma}_{st}} = 0,001563 - \frac{89,146 \times 10^{-3}}{200}$$

$$A_{pr,réel} = 11,23 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité

$$A_{min} = \frac{0.23 \times b \times d \times Ft28}{Fe} = \frac{0.23 \times 1 \times 0,18 \times 2.4}{400}$$

$$A_{min} = 2,17cm^2$$

- Section d'aciers de répartition

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4} = \frac{11,23}{4}$$

$$A_{rep} = 2,8cm^2$$

Sections retenues pour le ferrailage des armatures des piédroits extérieurs :

$$A_{pr} = 11,23cm^2$$

Soit 5,61 cm² par face

$$A_{rep} = 2,8 cm^2$$

ANNEXE 13: Les signalisations routières



ANNEXE 14: Carder juridique

Tableau 33: Cadre juridique

Intitule du texte	Dates d'adoption	Références contextuelles
-------------------	------------------	--------------------------

Constitution de la 7 ^e république du Niger	25 novembre 2010	Article 35 « L'Etat a l'obligation de protéger l'environnement dans l'intérêt des générations présentes et futures. Chacun est tenu de contribuer à la sauvegarde et à l'amélioration de l'environnement dans lequel il vit [...]. L'Etat veille à l'évaluation et au contrôle des impacts de tout projet et programme de développement sur l'environnement ».
Loi n°98-56 portant loi-cadre sur la gestion de l'environnement	29 décembre 1998	Article 31 : « Les activités, projets et programmes de développement qui, par l'importance de leurs dimensions ou leurs incidences sur les milieux naturel et humain, peuvent porter atteinte à ces derniers sont soumis à une autorisation préalable du ministre chargé de l'environnement [...] ».
Loi n°2001-32 orientation de la politique d'aménagement du territoire	31 décembre 2011	Article premier « La présente loi a pour objet de fixer le cadre juridique de toute intervention ayant pour effet la structuration, l'occupation et l'utilisation du territoire national et de ses ressources ». Par ailleurs, il identifie et suscite la mise en valeur de toutes les potentialités susceptibles de favoriser l'ancrage des populations dans leurs zones. Article 34 : « l'État veille à la prise en compte de la dimension environnementale lors de la formulation des programmes et des projets en y incluant notamment des études d'impact environnemental intégrant les aspects biologiques, socioéconomiques et culturels. Il veille également, au respect des conventions internationales en la matière par tous les acteurs au développement ».
Loi 2004-040 portant sur le régime forestier au Niger	08 juin 2004	Article 28 « Les forêts domaniales sont gérées par l'administration chargée des forêts ou sous son contrôle, en associant les populations concernées, dans des conditions déterminées par la présente loi et ses textes d'application ». Certaines espèces forestières du fait de leur statut, ne doivent pas être coupées sans autorisation préalable délivrée par des services compétents en la matière.
Ordonnance n°93-13 instituant un code d'hygiène publique	2 mars 1993	Les articles 87, 91 et 92 traitent de l'hygiène du milieu naturel et prescrivent qu'en zone rurale, l'enfouissement et l'incinération des ordures ne doit pas être à l'origine de la pollution de la nappe souterraine. L'article 106 interdit « l'installation des ateliers bruyants ou toute autre source de bruit intense aux abords des établissements scolaires, formations sanitaires, lieux saints et autres services administratifs ».
Ordonnance n°97-001 portant institutionnalisation des EIE	10 janvier 1997	Article 4 : « Les activités, projets ou programmes de développement qui, par l'importance de leurs dimensions ou leurs incidences sur les milieux naturel et humain, peuvent porter atteinte à ces derniers, sont soumises à une autorisation préalable du Ministre chargé de l'Environnement. Cette autorisation est accordée sur la base d'une appréciation des conséquences des activités, du projet ou du programme mis à jour par une EIE élaborée par le Promoteur ».

Ordonnance n°2010-09 portant code de l'eau au Niger	1 ^{er} avril 2010	Article 6 : « la présente ordonnance reconnaît que l'eau est un bien écologique, social et économique dont la préservation est d'intérêt général [...] ». Article 12 : « Ceux qui de par leurs activités utilisent la ressource en eau, doivent contribuer au financement de la gestion de l'eau, selon leur usage, en vertu du principe Préleveur-payeur ».
Décret n°97-006/PRN/MAG/E portant sur la mise en valeur des ressources naturelles rurales	10 Janvier 1997	Il définit la mise en valeur comme « toute activité ou action matérielle engagée par l'homme sur une ressource naturelle en vue de son exploitation rationnelle et durable suivant des moyens propres à la protéger, la restaurer et en améliorer la qualité productive et le rendement ».
Décret 2000-272/PRN/PM du 4 Août 2000 modifié et complété par le Décret n°2011-057 portant sur la Coordination des actions gouvernementales en matière de convention post Rio	27 janvier 2011	Article 3 (nouveau) : « Le CNEDD est l'organe de coordination et de suivi des activités relatives aux conventions post-Rio [...]. De ce fait, il est le point focal politique national du suivi de la mise en œuvre desdites conventions »
Décret n°2000-397/PRN/ME/LCD portant sur la procédure administrative d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement	20 octobre 2000	Ce décret précise la démarche administrative à suivre pour une intégration des préoccupations environnementales dans la planification des programmes, projets et activités de développement socio-économique
Décret n°2000-398/PRN/ME/LCD déterminant la Liste des activités, travaux et documents de planification assujettis aux EIE	20 octobre 2000	Liste des Activités, Travaux et Documents de planification assujettis aux EIE
Décret n°2011-404 déterminant la Nomenclature des aménagements, installations, ouvrages [... concession d'utilisation d'eau	31 août 2011	Annexe 2 : Type d'aménagements, installations, ouvrages, travaux et activités pouvant être un « Réseau de canalisations ouvertes ou fermées de transport d'eau brute ou traitée » sont sous le régime d'une autorisation avec EIE
Décret n°2011-404 fixant les modalités et procédures de déclaration, d'autorisation et de concession d'utilisation d'eau	31 août 2011	Article 19 : « Dans le cas d'une opération soumise à une EIE, la demande est adressée au ministre en charge de l'environnement, qui l'instruit conformément aux dispositions du décret 2000-397/PRN/ME/LCD du 20 octobre »

ANNEXE 15: Tableau bilan impact et mesure d'atténuation

Tableau 34: Bilan des impacts positifs et négatifs

Activités sources d'impact	Milieux récepteurs							
	Milieu biophysique					Milieux humain		
	Végétation	sol	eaux	Faune	Paysage et air	Emploie et économie	Sécurité et santé	Social et culturel
Installation et repli du chantier	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+++)	(-)	(-)(+)
Terrassement	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)(-)	
Exploitation des emprunts et carrière	(--)	(---)	(-)	(-)	(--)	(+)	(--)	(-)(+)
Mise en place d'une base vie	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(++)	(--)	(-)(+)
Défrichement et abattage des arbres	(---)	(-)	(-)	(-)	(-)	(0)	(-)	(-)
Dénudation du sol	(---)	(-)	(0)	(-)	(-)	(0)	(0)	(0)
Travaux de construction des ouvrages d'art	(0)	(-)	(+)(-)	(0)	(0)	(+)	(0)	(0)
Circulation et transport	(0)	(0)	(0)	(-)	(-)	(+++)	(-)(+++)	(-)(+)



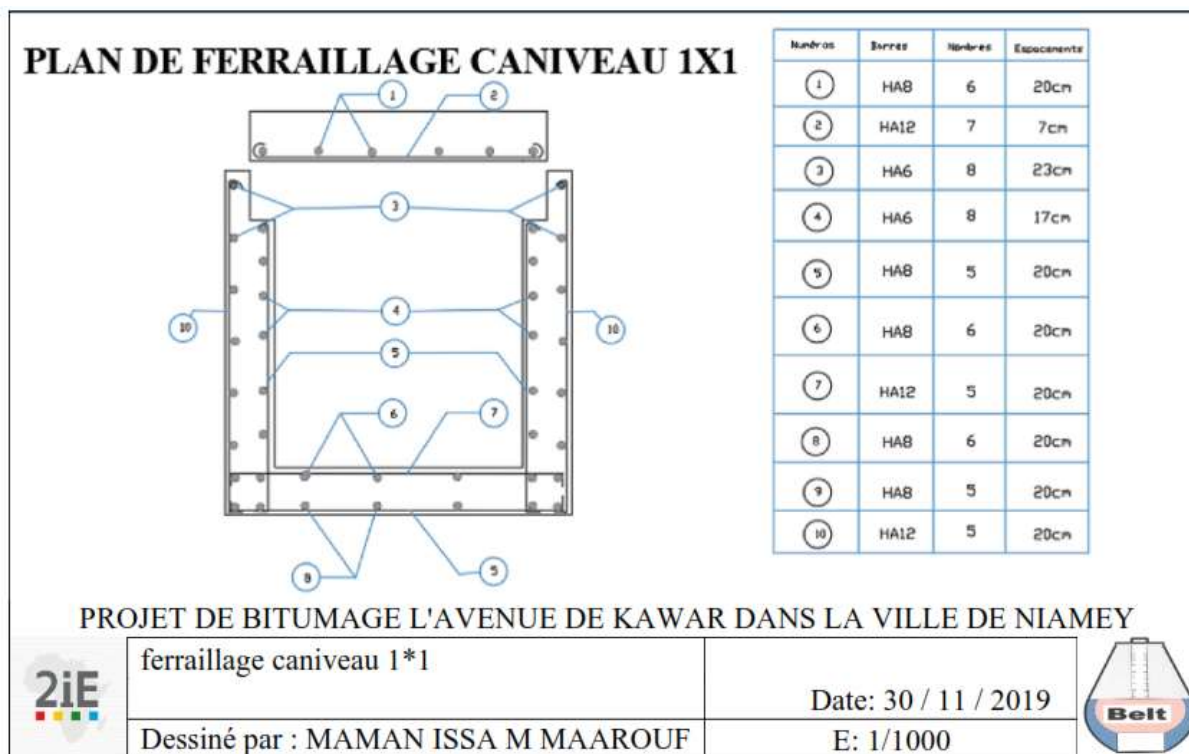
Tableau 35: mesure d'atténuation

Milieux	Récepteur	Activités sources d'impacts	Impacts potentiels	Mesures d'atténuation
Milieu biophysique	Eaux	- Travaux de terrassement, remblayage, rechargement, compactage, - Circulation des véhicules	- Répercussions sur la disponibilité en eau durant les travaux de chantier. - Érosion des sols/sédimentation - Eutrophisation des eaux des mares - Contamination des points d'eau par les dépôts des poussières - Intoxications du bétail - Pollution des eaux souterraines et de surface par les hydrocarbures	- Construction des forages routiers ; - Effectuer les vidanges à la base-vie de l'entreprise ou dans les espaces agréés ; - Étaler et compacter les matériaux foisonnés le long des routes ; - Mise en place d'un système de traitement des eaux usées ; - Entreposage adéquat des produits huileux et pétroliers.
	Sols	- Travaux préparatoires des emprises et installation connexes - Décapage des couches superficielles des sols au niveau de la carrière et zone d'emprunts	- Pollution par les hydrocarbures et autres déchets - Altération des propriétés Physicochimiques des sols par le stockage des matériaux de construction - Modification de la structure et texture des sols des sites de construction	- Installer un bac métallique pour les huiles de vidanges - Installer un collecteur des eaux usées provenant des garages - Installer un bac à ordures dans la base vie ;
	Air	Travaux de préparation des emprises.	- Dégradation de la qualité de l'air ambiant par les émissions de poussières.	- Information et sensibilisation des populations locales sur l'altération de la qualité de l'air ambiant. - Port d'EIP (Equipements Individuels de Protection) par le personnel ; - Arrosage régulier des pistes
	Paysage	- Préparation des emprises ; et ouverture des carrières et zones d'emprunts	- Dénaturation des paysages concernés durant les travaux de chantier	- Remise en état des lieux - Gestion appropriée des débris issus d'élague, des défrichements, Végétalisation des sites.
	Végétation	Travaux de préparation des emprises	- Destruction de la végétation	- Acquisition des autorisations préalables auprès des services techniques de l'environnement ;

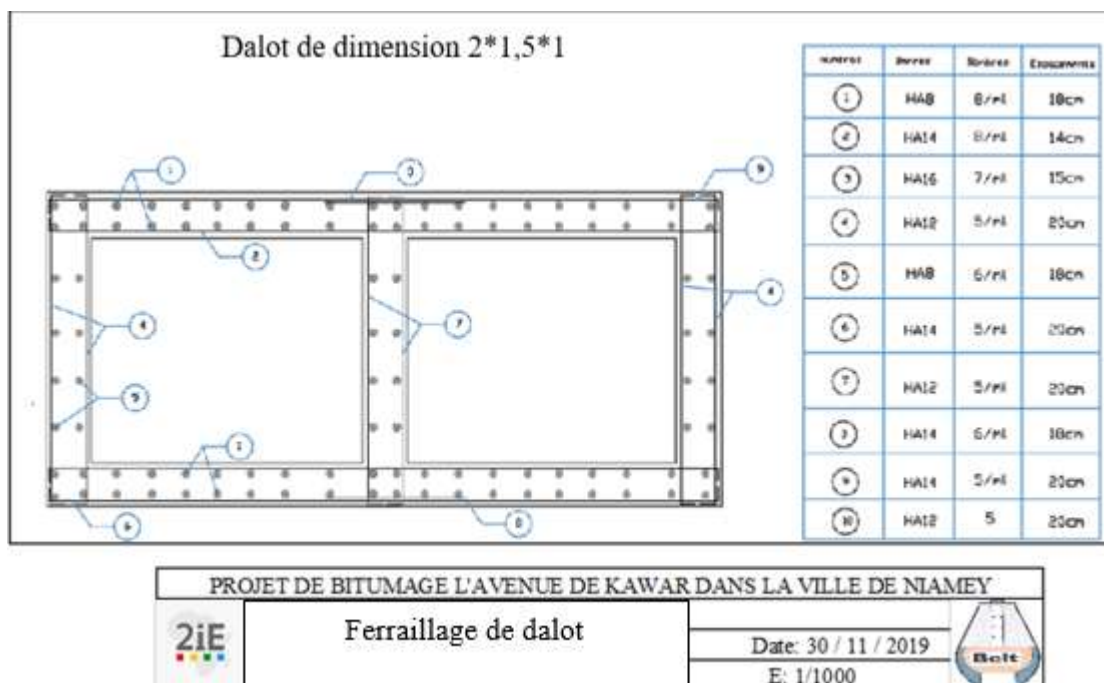


Milieux	Récepteur	Activités sources d'impacts	Impacts potentiels	Mesures d'atténuation
				- Plantation d'alignement de part et d'autre de la route à l'entrée et la sortie d'agglomération
Milieu humain	Santé – sécurité	Travaux de construction de la route	- Accidents - Apparition de certaines maladies liées aux émissions de poussières	- Mise en œuvre d'un plan d'urgence de sécurité et d'une équipe de sécurité ; - Sensibiliser les travailleurs sur le port des EIP à leur lieu de travail ; - Mise en place d'une boîte pharmaceutique des soins d'urgence sur chantier ; - Mise en place des ralentisseurs de vitesse à l'entrée et sortie des agglomérations proches de la route et au niveau des sorties de carrières, - Immatriculer les travailleurs à la caisse de sécurité sociale ; - la mise en place des installations sanitaires convenables, comprenant des douches et sanitaires dans la base-vie - Arrosage systématique des déviations - Contrôle régulier des émissions des gaz
	Activités socioéconomiques	Travaux de construction	- Création d'emplois directs et frein à l'exode rural ; - Développement du petit commerce	- Donner un quota important aux locaux lors du recrutement de la main d'œuvre ; - Valorisation de l'emploi en donnant aux travailleurs un revenu mensuel consistant
	Bruit	Travaux de préparation des emprises et travaux connexes	- Nuisances sonores pour les Travailleurs de chantier et Pour les populations locales	- Interdire de réaliser des travaux bruyants en dehors d'heures normales de travail - Respect des normes internationales d'émissions sonores ; - Entretien régulier des équipements

ANNEXE 16: CANIVEAU COUPE



ANNEXE 17: Plan de ferrailage de dalot t



ANNEXE 18: Devis quantitatif

Devis quantitatif et estimatif du projet

Réf	Désignation	Unité	Qté	Prix Unitaire	Prix total
0	Installation de chantier				
0.1	installation générales de chantier	FF	1	40 000 000	40 000 000
0.2	installation de la mission de contrôle	FF	1	15 000 000	15 000 000
0.3	Préparation des plans d'exécution	FF		-	-
0.4	Amenée et repli du matériel	FF	1	30 000 000	30 000 000
	SOUS TOTAL 0				85 000 000
1	Dégagement des emprises et terrassements				-
1.1	Décapage de terre végétale et sur une épaisseur moyenne de 100 cm	m ²	7039	1 500	10 558 500
	purges sur épaisseur moyenne de 1m	m ³	300	10 000	3 000 000
1.3	déblais de décaissement de la terre existante	m ³	297	3 000	891 000
1.4	Matériaux d'apport mis en remblai	m ³	1012	5 500	5 566 000
1.5	Exécution de remblais	m ³	1012	6 000	6 072 000
1.6	Abattage et dessouchage d'arbre de circonférence supérieure à 0,7	u	23	55 000	1 265 000
1.8	mise en dépôt des bordures et trottoir ou d'ilots	ml	2000	1 000	2 000 000
1.9	dépose et mise en dépôt des candélabres pour les lampadaire	u	299	40 000	11 960 000
1.1 0	dépose et mise en dépôt des panneaux de signalisation verticale	u	5	10 000	50 000
1.1 1	dépose et mise en dépôt des feux tricolores	u	2	10 000	20 000
1.1 2	Préparation de la plateforme	m ²	7000	500	3 500 000
	SOUS TOTAL 1				44 882 500
2	Chaussée				
2.1	Compactage de l'assise de la chaussée	m ²	9200	15 000	138 000 000
2.2	couche de fondation en graveleux latéritique naturel	m ³	1840	15 000	27 600 000
2.3	couche de base en graveleux latéritique naturel	m ³	1380	15 000	20 700 000
2.4	Plus-value de transport des matériaux pour les couches de chaussée	m ³ /k m	3220	500	1 610 000
	SOUS TOTAL 2				187 910 000
3	Revêtement				-
3.1	Fourniture et mise en œuvre impregnation	m ²	9200	1 200	11 040 000
3.2	Fourniture et mise en œuvre monocouche	m ²	7000	3 000	21 000 000
3.3	Fourniture et mise en œuvre de la couche d'accrochache	m ²	7000	1 500	10 500 000

3.4	Fourniture transport et mise en Œuvre d'un revêtement en bb	m3	0	150 000	-
3.5	Fourniture et pose des pavés autobloquants	m2	2400	10 000	24 000 000
SOUS TOTAL 3					66 540 000
4	Ouvrage de protection				-
4.1	Dalot 2*1,5*1	ml	24	1 400 000	33 600 000
4.2	Caniveau en beton arme avec rainures de pose des dallettes	ml	1045	2 160	2 257 200
4.2	Fourniture et mise en œuvre Perré maçonne	m2	824.4	37 000	30 502 800
4.3	Bordure type T2	ml	2000	15 000	30 000 000
SOUS TOTAL 4					96 360 000
5	Sécurité et signalisation routière				-
5.1	Marquage spéciaux et peinture blanche retro-réfléchissante	m2	1500	4 000	6 000 000
5.2	Bande continue ou discontinue de largeur 0,12 (2u)	ml	360	4 000	1 440 000
5.3	Bande continue ou discontinue de largeur 0,18 (3u)	ml	180	4 000	720 000
5.4	Panneaux de police et d'interdiction	u	3	300 000	900 000
SOUS TOTAL 5					9 060 000
6	ECLAIRAGE PUBLIC				-
6.1	Etude	ff	1	1 000 000	1 000 000
6.2	Fourniture et pose de candélabre simple pour l'éclairage de deux bretelle	u	100	300 000	30 000 000
SOUS TOTAL 6					31 000 000
7	Mesure environnementales et sociales				
7.1	Plantations d'alignement de palmiers	u	50	8 000	400 000
7.2	programme d'atténuation et limitation des impacts	ff	1	500 000	500 000
7.3	programme de suivi environnemental	ff	1	5 000 000	5 000 000
SOUS TOTAL 7					5 900 000
TOTAL GENERAL					526 652 500

Le présent projet est arrêté à une somme de cinq cent vingt-six millions six cent cinquante-deux mille cinq cents Franc CFA HT (526 652 500 FCFA HT).