



**ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE  
BUTUMAGE DE LA BRETELLE DE DANDADJI AU NIGER SUR UN TRONÇON DE  
17 KM**

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

---

**Présenté et soutenu publiquement le 11/01/2019 par :**

**ELH ARI BOUCAR Waziri (sous n° d'inscription : 2014-0998)**

**Encadrant 2IE :** Dr. David Latifou BELLO (Enseignant Chercheur en Génie Civil à 2iE)

**Maitre de stage :** Abdoulaye Daouda MAHAMANE NOURI, Ingénieur Génie Civil à  
Germes Consulting

**Président :** Pr. Adamah MESSAN

**Membres et correcteurs :** Mr. Issa MADOUGOU

Mr. Ousmane ZOUGRANA

Mme Marie Thérèse GOMIS

Promotion [2018-2019]

## Citation

---

---

« Un bon Ingénieur pense dans le sens inverse et se pose des questions sur les conséquences stylistiques des composants et des systèmes qu'il propose »

**Léonard de Vinci**

(Ingénieur, Architecte, philosophe, scientifique)

DEDICACE

---

---

Je dédie ce travail de mémoire à mes très chers parents.

## REMERCIEMENTS

---

---

Tout d'abord nous remercions DIEU le tout puissant, qui par sa grâce et son infini bonté nous a permis d'accomplir notre stage.

Mes loyaux et sincères remerciements vont également à l'endroit de :

- Dr. David Latifou BELLO, encadreur interne du mémoire ;
- Monsieur Abdoulaye Daouda MAHAMANE NOURI, maître de stage au niveau de la structure d'accueil, pour son encadrement, ses conseils, sa collaboration et sa disponibilité ;
- M. le Directeur Général du Bureau d'Etude G.E.R.M.S Consulting, Elh Mahamane Ousmane DOUTCHI et Mr Kassoum MAMAN BAOUA, Directeur Technique au Bureau GERMS ;
- M. Elh Ousmane ABDOU directeur général de la Société d'aménagement de territoire urbaine (SATU-SA) pour son soutien et encouragement.
- Mes sincères remerciements vont également à l'endroit du corps enseignant de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2IE) et l'ensemble du personnel du cabinet GERMS-Consulting

Ainsi que toute personne ayant contribué à la réalisation de ce modeste document.

## RESUME

---

---

Le travail de notre mémoire a porté sur l'étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage de la bretelle de Dandaji sur un tronçon de 17 Km. Le projet a pour but de désenclaver en partie le département d'Illéla au Niger dans la région de Tahoua localisée au centre ouest du Niger.

L'étude est axée sur le dimensionnement du corps de la chaussée et l'assainissement de la zone du projet. Le dimensionnement de la chaussée basée sur approche multi-variantes a permis d'adopter une structure de chaussée constituée d'enduit superficiel bicouche, d'une couche de fondation de 30 cm et d'une couche de base de 20 cm.

Le diagnostic des ouvrages d'assainissement existants a révélé des débits d'évacuations faibles, ce qui a conduit à leurs redimensionnement sur la base de l'étude des bassins versants à partir de Global mapper et Google Earth. Par la suite, trois types de dalot ont été adopté dont quatre (4) de dimensions 1x1x1 m, trois (3) de dimensions 1x3x1.50 m et deux (2) de dimensions 2x3x1.50 m.

Le coût du projet hors taxes issu de l'étude d'avant métré et du devis quantitatif est estimé à **quatre milliards huit cent quatre-vingt-treize millions deux cent cinquante mille neuf cent cinquante-sept (4 893 250 957 FCFA)**

---

### Mots clés :

- 1- Aménagement
- 2- Assainissement
- 3- Chaussée
- 4- Dimensionnement
- 5- Route

## ABSTRAIT

---

---

The investigation of our dissertation focused on the detailed technical study of the development and paving of the Dandaji ramp on a stretch of 17 km. The project aims to open up part of the Illéla department in the region of Tahoua located in central Niger.

The study focuses on the design of the pavement body and the remediation of the project area. Pavement design based on a multi-variant approach resulted in a pavement structure consisting of two-layer topcoat, a 30-cm foundation layer and a 20-cm base course.

The diagnosis of existing sanitation facilities revealed low evacuation rates, which led to their resizing based on the study of watersheds from Global mapper and Google Earth. Subsequently, three types of culverts were adopted including four (4) of dimensions 1x1x1 m, three (3) of size up 1x3x1.50 m and two (2) of size up 2x3x1.50 m.

The cost of the project excluding taxes stemming from the pre-metered study and the quantitative bill is estimated at **four billion eight hundred and ninety-three million two hundred and fifty thousand nine hundred and fifty-seven (4,893,250,957 FCFA)**

---

### **Keywords:**

- 1- Development
- 2- Sanitation
- 3- Floor
- 4- Sizing
- 5- Road

## LISTES DES SIGLES ET ABREVIATIONS

**ARP** : Aménagement des Routes Principal

**BA** : Béton Armé

**BEAL** : Béton Armé aux Etats Limites

**BV**: Bassin Versant

**CAM** : Coefficient d'Agressivité Moyen

**CBR**: Californian Bearing Ratio

**CEBTP** : Centre Expérimental de recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics

**CIEH** : Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques

**EIES** : Etudes d'Impact Environnemental et Social

**ELS** : Etat Limite de Service

**ELU** : Etat Limite Ultime

**GERMS** : Groupement D'Etudes et de Réalisations Multiservices

**ICTAVRU** : Instructions sur les Conditions Techniques pour l'Aménagement des Voies Rapides Urbaines

**LCPC** : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

**NE** : Trafic Equivalent

**ORSTOM** : Office de Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer

**PDES** : Plan de Développement Economique et Social

**PK** : Point Kilométrique

**PL** : véhicule Poids Lourds

**SETRA** : Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes

**TMJ** : Trafic Journalier Moyen

**TN** : Terrain Naturel

## Table des matières

Citation .....	i
DEDICACE.....	ii
Je dédie ce travail de mémoire à mes très chers parents. ....	ii
REMERCIEMENTS .....	iii
RESUME.....	iv
ABSTRAIT .....	v
LISTES DES SIGLES ET ABREVIATIONS .....	vi
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE DU PROJET</b> .....	<b>2</b>
I.1. Structure d'accueil.....	2
I.1.1. Domaine d'intervention et activités .....	2
I.1.2. Moyenne Humaine .....	2
I.1.3. Moyens Matériels .....	2
<b>I.1.4. L'organigramme</b> .....	<b>3</b>
I.2. Présentation de la zone du projet.....	3
I.2.1. Description de la zone du projet.....	3
I.2.2. Climat et pluviométrie.....	5
I.2.3. Faune et végétation.....	5
I.2.4. Hydrologie et ressources en eau .....	6
I.2.5. Géomorphologie et sols.....	6
I.3. CONTEXTE DU PROJET .....	6
I.4. Objectifs .....	7
I.4.1. Objectif global .....	7
I.4.2. Objectifs spécifiques .....	8
I.4.3. Méthodologie.....	8
<b>CHAPITRE II : ETUDE GEOMETRIQUE DE LA ROUTE</b> .....	<b>10</b>
II.1.1. Normes et type de la route.....	10
II.1.2. Le tracé en plan .....	11
II.1.3. Le profil en long .....	12
II.1.4. Le profil en travers .....	13
a. Profil en travers type 1 .....	13
b. Profil en travers Type 2 .....	14

**CHAPITRE III : ETUDE GEOTECHNIQUE ET DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL DE LA  
CHAUSSEE 16**

III.1.	Etude géotechnique .....	16
III.1.1.	Sondage à l'axe .....	16
III.1.2.	Analyses et interprétation des résultats .....	17
III.1.3.	Etudes de prospection des carrières.....	18
III.1.3.1.	Spécification technique et sélection des emprunts .....	19
III.1.3.2.	Analyse des résultats des essais sur les emprunts et sélection des emprunts .....	20
III.1.4.	Carrière des roches massives.....	20
III.2.	Dimensionnement structural de la chaussée.....	21
III.2.1.	Etude de trafic .....	21
1.	Trafic de l'année de mise en service .....	22
2.	Trafic cumulé .....	22
3.	Classe de trafic .....	23
III.2.2.	Couches de la chaussée .....	23
1.	Choix de la variante de projet.....	24
III.2.3.	Vérification des épaisseurs de couches par ALIZE.....	24
1.	Calcul des contraintes et déformation admissibles .....	25
-	Contrainte admissible .....	25
-	Déformation admissible.....	25
	<b>Vérification.....</b>	<b>26</b>
	<b>CHAPITRE IV : ETUDE D'ASSAINISSEMENT DE LA ROUTE.....</b>	<b>27</b>
IV.1.	Etude hydrologique .....	27
IV.1.1.	Inventaire et relevés des ouvrages existants .....	27
IV.1.2.	Détermination des bassins versants .....	29
IV.1.3.	Données pluviométriques de la zone du projet.....	30
IV.1.4.	Débit de crue du projet .....	30
a.	La méthode rationnelle.....	31
b.	La méthode CIEH.....	32
c.	La méthode ORSTOM .....	33
IV.2.	Etude hydraulique.....	37
IV.2.1.	Pré-dimensionnement et étude structurale de dalot.....	37
IV.2.1.1.	Pré-dimensionnement .....	37
b.	Détermination de l'épaisseur des dalots .....	39
IV.2.1.2.	Dimensionnement Structural de dalot .....	39

<b>CHAPITRE V : ETUDES TRANSVERSALES.....</b>	<b>45</b>
V.1. Etude de signalisation et sécurité routière .....	45
V.1.1. Signalisation temporaire.....	45
V.1.2. Signalisation permanente.....	45
V.1.3. La signalisation horizontale.....	46
V.1.4. Signalisation verticale .....	46
V.1.5. Eclairage public.....	46
V.2. Etude d'impact environnementale.....	47
V.2.1. Méthodologie.....	47
V.2.2. Identification des impacts du projet .....	47
V.2.3. Évaluation des des impacts du projet .....	48
<b>V.2.4. Bilan des impacts positifs et négatifs .....</b>	<b>51</b>
V.2.5. Mesures d'atténuation et/ou de compensation : .....	53
V.3. Etude d'avant métré et estimation du coût du projet.....	56
V.3.1. Avant métré.....	56
V.3.2. Estimation des coûts.....	58
Conclusion.....	60
BIBLIOGRAPHIE .....	61
Annexes.....	xii

## Liste des tableaux

Tableau 1: démarche d'étude .....	9
Tableau 2: Caractéristiques des routes (SETRA, ARP, Août 1994) .....	11
Tableau 4: Paramètres géométriques du profil en long (SETRA, ARP, Août 1994) .....	12
Tableau 5 : Résultats de sondage .....	17
Tableau 6: classification de sol .....	18
Tableau 7: Résultats des essais de prospection des carrières .....	19
Tableau 8: Situation des emprunts .....	20
Tableau 9: Données de comptage de la route (juin 2015) .....	21
Tableau 10: Classes de trafic (CEBTP, Guide Pratique de Dimensionnement des Chaussées, 1984) ...	23
Tableau 11: variantes de la structure de chaussée (CEBTP, 1984).....	24
Tableau 12: modules d'élasticités .....	25
Tableau 13: Vérification de la structure de chaussée .....	26
Tableau 14: Inventeur des ouvrages existants .....	28
Tableau 15: Caractéristiques des bassins versants .....	29
Tableau 16: débit décennale .....	31
Tableau 17: récapitulatif des débits par la méthode CIEH .....	33
Tableau 18: coefficient d'abattement .....	34
Tableau 19: Tableau récapitulatif d'Indice globale de pente .....	35
Tableau 20: récapitulatif des débits calculés par la méthode ORSTOM .....	36
Tableau 21: récapitulatif des débits du projet .....	38
Tableau 23: récapitulatif des sections d'armatures .....	44
Tableau 24: évaluation des impacts .....	48
Tableau 25:matrice de facteau.....	53
Tableau 26: Mesures d'atténuation et ou de compensation.....	56
Tableau 27: postes des travaux.....	57
Tableau 28 : Avant métré des matériaux de couche de roulement.....	<a href="#">57</a>
Tableau 29: Avant métré des équipements utilisés pour la sécurité et signalisation.....	<a href="#">58</a>
Tableau 30 : Répartition des coûts par poste des travaux .....	59

## Liste des figures

Figure 1 : Organigramme administrative de GERMS consulting .....	3
Figure 2: localisation de la zone du projet .....	4
Figure 3: localisation de la bretelle de Dandaji (Google EArth) .....	5
Figure 4: profil en travers type 1 .....	14
Figure 5: profil en travers type 2 .....	15
Figure 6: Bassin versant de la zone .....	30
Figure 7 : graphique de répartition des coûts .....	59

## INTRODUCTION

---

---

De nos jours la création d'un système de communication routière apparaît plus que fondamentale dans la réalisation du développement économique d'un pays. En effet la route assure de multiple fonction comme : le transport à distance, la collecte et diffusion, les liaisons humaines et sociales etc.

On distingue différents types de voies de communication : le sentier, la piste, la route en terre et la route revêtue et non revêtue. Cependant leur construction demande tant d'effort aussi politiquement que technique.

Le Niger, pays en voie de développement, a entrepris dans sa politique de développement la réalisation des plusieurs axes routiers aussi dans les grandes villes que dans la zone de culture pour permettre les échanges.

C'est dans ce contexte pour désenclaver le département d'Illéla que repose notre mémoire de fin d'étude, afin de faire l'étude complète de la bretelle de Dandaji d'une longueur de 17 Km.

Le thème s'intitule : « Etudes techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de la bretelle de Dandaji 17Km.»

Le plan du document est structuré comme suit :

- **Présentation de la structure d'accueil et de la zone du projet.**
- **Conception géométrique de la route**
- **Etude géotechnique et dimensionnement structural de la chaussée**
- **Etude d'assainissement et Dimensionnement des ouvrages en Béton Armé**
- **Etude de la signalisation de la route**
- **Etude d'impact environnementale et social**
- **Avant métré et estimation du coût du projet**

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

### **I.1. Structure d'accueil**

GERMS-consulting (groupe d'Etudes et de Réalisation Multi-Services) est un Bureau d'Ingénieurs Conseils créé en mai 2001 par des cadres Nigériens dans le domaine des études techniques d'exécution, du suivi et contrôle des travaux d'hydraulique et de génie civil.

#### **I.1.1. Domaine d'intervention et activités**

Le Bureau d'étude GERMS consulting est spécialisé dans plusieurs domaines d'intervention qui sont entre autre :

- Barrages,
- Aménagements hydro-agricoles,
- Bâtiments, voiries et réseaux divers (VRD),
- Routes et autoroutes, aéroports, ouvrages d'art et études de transport,
- Hydraulique urbaine,
- environnement, études économiques et générales.

#### **I.1.2. Moyenne Humaine**

GERMS dispose d'un staff administratif et technique très varié composé d'environ 150 personnes dont 40 ingénieurs cadres issus de grandes écoles et ayant acquis une grande expérience dans différents domaines d'activité, et ainsi que des techniciens expérimentés et hautement qualifiés.

Le tout géré par une administration bien structurée possédant des qualités managériales, dirigé par son Directeur général : ELHADJI MAHAMANE Ousmane

#### **I.1.3. Moyens Matériels**

GERMS-consulting dispose d'un environnement de travail agréable et bien aménagé. Il est composé de (15 bureaux et salles de dessins pourvus d'un câblage informatique, un centre de documentation contenant des ouvrages et revues spécialisées, un fonds d'archives muni de moyens informatiques de classement et de recherche géré par des personnels bien qualifiés et une salle de réunion.

### I.1.4. L'organigramme

L'organigramme de GERMS consulting est donné par le schéma suivant :

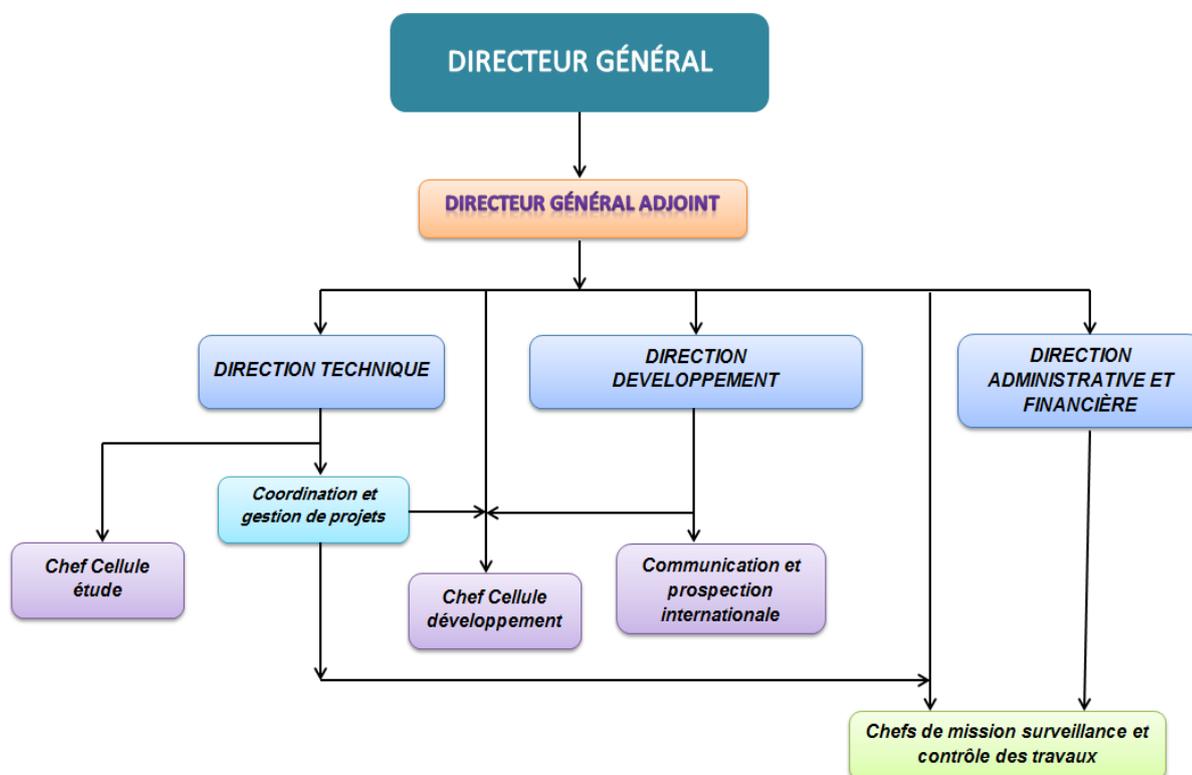
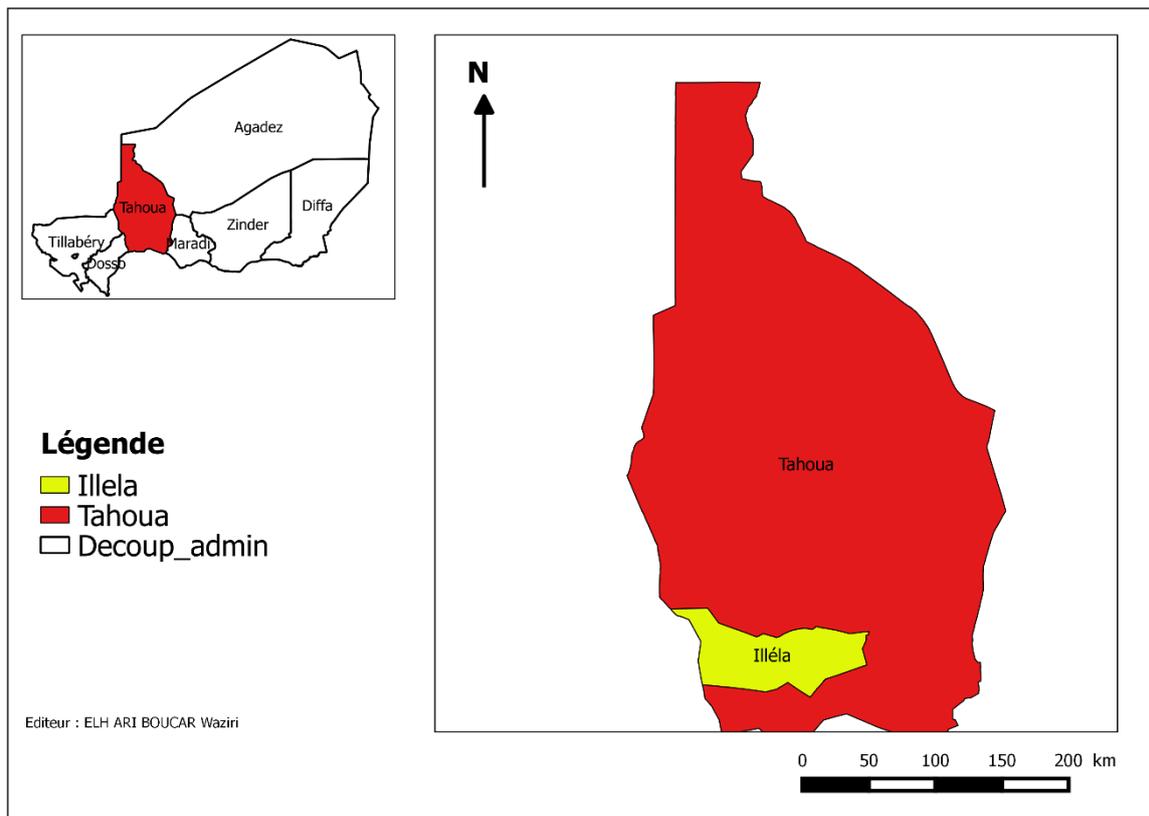


Figure 1 : Organigramme administrative de GERMS consulting

## I.2. Présentation de la zone du projet

### I.2.1. Description de la zone du projet

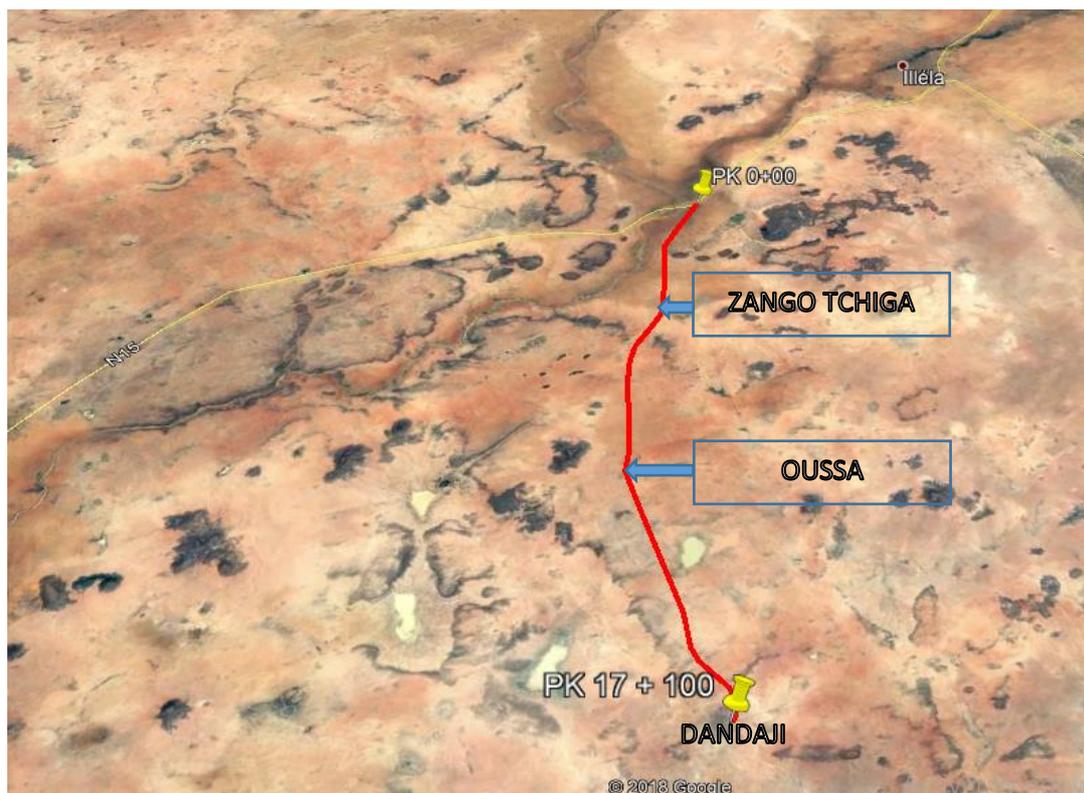
La zone de notre projet est située dans le département d'Illela dans la région de Tahoua. Cette région est localisée dans le centre ouest du Niger, sous les coordonnées géographiques entre 5°15'52" de longitude Est et 14°53'40" de latitude Nord. Elle est limitée au Nord-ouest par la république du mali, à l'Est par les régions d'Agadez et Maradi, au sud par la République fédérale du Nigeria et à l'ouest par les régions de Dosso et de Tillabéry. Elle se situe à l'ouest de la capitale du Niger (Niamey) à une distance d'environ 550 km et couvre une superficie de 113.371 km<sup>2</sup> soit 8.95% du territoire national. Le département d'Illela est ainsi situé, de la ville de Tahoua (chef-lieu de la région) à une distance d'environ 63 Km.



*Figure 2: localisation de la zone du projet*

La zone du projet est localisée précisément dans le département d'Illela à Dandaji. Le PK0 du projet débute à 10 Km de la route principale, la RN15, qui est la route Illela-Bagaroua et se termine à Dandaji.

La figure ci-après montre la situation de la route donnée par le logiciel Google Earth.



*Figure 3: localisation de la bretelle de Dandaji (Google EArth)*

### I.2.2. Climat et pluviométrie

La zone de projet fait partie de la zone sahélienne du pays. Le Niger est subdivisé en trois zones : une zone soudanienne, une zone sahélienne et une zone désertique. La zone sahélienne qui concerne notre site de projet est caractérisée par des précipitations très irrégulières et mal réparties dans l'espace et dans le temps.

Le climat est composé de deux types de saisons à savoir : une saison sèche allant d'Octobre à Mai et une saison pluvieuse allant de Juin à Septembre. Le climat de la zone se caractérise par des précipitations qui varient entre 200 et 400 mm et les températures moyennes se situent entre 22<sup>0</sup>C et 35<sup>0</sup> C.

### I.2.3. Faune et végétation

La végétation est de type sahélien, n'est comportant pas des massifs forestiers. Le sol est presque dénudé dans certains endroits.

Le couvert végétal se caractérise ainsi par la présence des steppes arbustives à graminées vivaces ou annuelles et des steppes arborées composées de calaptropis procera, des espèces

épineuses localisées dans les couloirs inter-dunaires et les dépressions, des balanites egyptiacas, Zizyphus mauritina, Acacias nilotica, Acacia radiana et Acacia Albina.

#### I.2.4. Hydrologie et ressources en eau

Les ressources en eau de la zone du projet sont principalement composées des eaux souterraines et quelques mares tarissables issues de la période hivernale.

Les eaux des surfaces se caractérisent par leur bonne qualité et leur abondance et sont localisé au niveau :

- du continental intercalaire, plus profonde, atteignant les 800 m par endroit,
- de la nappe du continental terminal, plus au moins au mois accessible (35 et 50m) et exploitable par puits ou forages moyens,
- et des nappes alluviales, tributaires des pluies.

#### I.2.5. Géomorphologie et sols

Le relief de la zone du projet se distingue par son allure très accidenté à cause de la présence des zones montagneuses.

Le sol est composé majoritairement des sols latéritiques dans les zones des montagnes qui affleurent à la surface de la terre ou à quelques centimètres en dessous du sol végétal.

On note également la présence des terrains sableux faiblement représentés dans certains endroits.

Les études géologiques effectuées sur la zone ont révélés des zones latéritiques contenant une quantité faible d'argile.

### I.3. CONTEXTE DU PROJET

Le projet intervient dans le cadre de la mise en œuvre du Programme de la Renaissance de gouvernement du Niger, qui a élaboré et adopté un Programme de Développement Economique et Social (PDES) prenant en compte les projets et programmes prévus par la stratégie nationale des transports.

Dans le cadre de cette stratégie, le Gouvernement a entrepris des actions pour renforcer et préserver son réseau routier par le désenclavement des zones de production et l'amélioration des performances du transport routier.

C'est dans ce contexte qu'intervient notre étude pour désenclaver le département d'Illela. Plusieurs axes routiers ont été entrepris après la réalisation de l'axe Illela-Moujjia et Illela-Tahoua, il s'agit des projets en cours qui concernent les axes suivants :

- axe-Illela Bagaroua 107 km,
- la bretelle de Dangouna 10 km,
- et la bretelle de Dandaji 17 km.

Notre projet d'étude concerne la bretelle de Dandaji et ainsi notre thème de Mémoire s'intitule : « **Etude techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de la Bretelle de Dandaji sur un tronçon de 17 Km** » sous la direction de bureau d'étude et de contrôle GERMS-consulting.

## I.4. Objectifs

### I.4.1. Objectif global

L'objectif principal visé à travers cette étude de permettre une bonne mise en place d'une route permettant l'accessibilité de Dandaji et répondant aux exigences de son environnement afin d'améliorer les conditions de circulation par :

- ✚ La praticabilité de la route en toute saison ;
- ✚ La réduction du coût et du temps de parcours ;
- ✚ La réduction du coût d'exploitation des véhicules ;
- ✚ La disponibilité d'une route répondant aux besoins du trafic
- ✚ L'amélioration des services sociaux et administratifs par une meilleure communication avec Tahoua, le chef-lieu de la région.
- ✚ L'augmentation des investissements dans les secteurs industries/mines et des transports routiers ;
- ✚ Le désenclavement des zones traversées ;
- ✚ La mise en valeur des potentialités agricoles, minières et des projets de développement ;
- ✚ L'amélioration des conditions et des coûts de transports pour accéder aux différents marchés ;
- ✚ La création d'emplois non qualifiés ;
- ✚ L'amélioration des revenus des paysans par une réduction du coût de transport et une meilleure rentabilisation de leur production maraîchère ;
- ✚ L'écoulement des produits maraîchers et miniers ;
- ✚ L'amélioration de la santé de la population par la réduction du coût et du temps de transport lors des évacuations et l'accès facile aux centres de santé ;
- ✚ Le contrôle du phénomène de croissance dans la zone du projet

Cette étude permet ainsi de proposer une solution optimale d'aménagement et de bitumage de la bretelle et d'élaborer les dossiers techniques détaillés.

#### I.4.2.Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques de ce projet est de permettre au futur Ingénieur de route, d'étudier tous les aspects liés à l'exécution d'une route afin de proposer une étude économiquement rentable et techniquement efficace.

Ceci est obtenu par :

- Un meilleur choix des diverses alternatives du tracé de la route
- Un bon dimensionnement des structures des chaussés
- La mise en œuvre d'un système d'assainissement de la route
- Une évaluation des impacts sur l'environnement.
- Une étude de la signalisation de la route
- Une évaluation efficace de devis quantitatif des cubatures et une estimation optimale du cout de projet.

#### I.4.3.Méthodologie

La méthodologie que nous avons adoptée pour cette étude, pour atteindre les objectifs fixés, repose sur un plan d'orientation général qui consiste à décrire les actions à mener en fonction des données de chaque partie et les résultats attendus.

Cette démarche à suivre se résume dans le tableau suivant :

*Tableau 1: démarche d'étude*

<b>Méthodologie</b>		
<b>Etapes</b>	<b>Les opérations à effectuer</b>	<b>Résultats</b>
Description de la zone du projet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Visite sur le site du projet pour la collecte des données</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Présentation de la carte de localisation et les caractéristiques du milieu de la zone du projet</li> </ul>
Etude Géométrique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etude de tracé de la route,</li> <li>• Choix de la vitesse de référence</li> <li>• détermination des paramètres géométriques de la route</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tracé en plan,</li> <li>• Profils en long et en travers</li> <li>• Tracé combiné</li> </ul>
Etude Structurale de la chaussée	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etude de trafic,</li> <li>• Dimensionnement des chaussées,</li> <li>• Vérification du dimensionnement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Classe du trafic,</li> <li>• classification du sol support,</li> <li>• choix des matériaux et des épaisseurs des couches de la chaussée</li> </ul>
Etude de l'assainissement routier	<ul style="list-style-type: none"> <li>• étude hydrologique,</li> <li>• Dimensionnement hydraulique</li> <li>• structurale des ouvrages</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Détermination des sections d'ouvrages et des sections d'armatures</li> </ul>
Etude de la signalisation et de la sécurité routière	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse du tracé en plan</li> <li>• Notification des points d'échanges</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Type de la signalisation horizontale,</li> <li>• emplacement, types et nombre de panneau, implantation et nombre de candélabre</li> </ul>
Etude d'impact environnemental	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse des différents impacts négatifs liés à l'exécution du projet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identification des impacts et Proposition des mesures d'atténuation et de bonification</li> </ul>
étude quantitative et estimative	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluation des devis du projet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coût global des travaux</li> </ul>

## CHAPITRE II : ETUDE GEOMETRIQUE DE LA ROUTE

L'étude géométrique d'une route constitue la phase première d'un projet routier. Elle permet de définir selon les normes en vigueur les différentes caractéristiques de la géométrie du tracé.

Elle dépend principalement des facteurs tel que :

- L'emplacement du lieu de projet : zones des liaisons de la route ;
- La contrainte topographique ;
- Le niveau de confort souhaité ;
- Et surtout la sécurité des biens et des usagers.

Elle permet d'obtenir le tracé en plan, le profil en long et les profils en travers du projet, en fonction de la norme de conception définie.

### II.1.1. Normes et type de la route

Les différentes normes françaises utilisées pour l'aménagement des routes sont :

- L'ICTAAL (Instructions sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison) du 22-10-1985 relative aux infrastructures de type autoroutier.
- L'ICTARN (Instructions sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Routes Nationales) du 28-10-1985 relative aux routes principales interurbaines : il a été remplacé par le document ARP (Aménagement des Routes Principales) du 05/08/1994.
- L'ICTAVRU (Instructions sur les conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines) de 1986) relatives aux autoroutes et artères urbaines.

Pour notre projet la norme d'aménagement utilisée sera l'ARP avec une route de type T : qui permet d'assurer l'écoulement du trafic de transit à moyenne et grande distance avec une vitesse de référence de 100Km/h en rase campagne et de route de type R60 dans les zones de traverser des agglomérations.

Le tableau ci-dessous nous montre les différentes catégories des routes de la norme ARP

*Tableau 2: Caractéristiques des routes (SETRA, ARP, Août 1994)*

Types de routes	<b>R (routes multifonctionnelles)</b>		<b>T (transit)</b>	<b>L (liaison)</b>
	Routes	Artères interurbaines	Routes express (à une chaussée)	Autoroutes
Nombre de chaussées	1 chaussée	2 chaussées	1 chaussée	2 chaussées
Carrefours	plans ordinaires ou giratoires	giratoire ou plans, sans traversée du TPC	dénivelés	dénivelés
Accès	selon les cas, sans accès ou accès possibles	si accès, pas de traversée du TPC	sans accès riverain	sans accès riverain
Limitation de vitesse hors agglomération	90km/h	110 km/h Ou 90 km/h	90 km	130 km/h ou 110km/h
Traversée d'agglomérations	Oui, éventuellement		non	non
Catégories possibles	R 60 ou R 80		T 80 ou T 100	L 100 ou L 120 (L 80)
Traffic à terme	Traffic moyen (1 chaussée)	fort trafic (2 chaussées)	trafic moyen	fort trafic
Types de "sécurité des routes et des rues"	Voies principales en milieu rural		voies isolées de leur environnement	voies isolées de leur environnement

### II.1.2. Le tracé en plan

Le tracé en plan est une projection verticale de la route sur un plan horizontale, il se caractérise par une succession de courbes et d'alignements droits séparés par des raccordements progressifs ou des raccordements circulaires.

Il constitue l'axe de la route du projet, obtenu avec le logiciel piste en respectant les caractéristiques de type de la route. Les caractéristiques seront données dans le tableau suivant :

*Tableau 3: Rayons en tracé en plan (SETRA, ARP, Août 1994)*

Catégories des Routes	R 60	T 80 et R 80	T 100
Rayon minimal Rm (en m)	120	<b>240</b>	425
Rayon non déversé: Rnd (en m)	600	<b>900</b>	1300
Rayon au devers minimal Rdm (en m)	450	<b>650</b>	900

Ainsi en fonction de ces caractéristiques on a obtenu un axe comportant 753 profils dont 5 cloitoides avec une succession des lignes et des arcs de cercle, les différents profils seront donnés dans l'annexe N°3 du document

### II.1.3. Le profil en long

Le profil en long est une représentation plane de la surface du terrain naturel suivant un plan vertical contenant l'axe du tracé ; il détermine la configuration du terrain au droit de l'axe de la route caractériser par des droites( pente, rampe), courbe horizontal ou incliné et paliers rigoureusement droits.

Notre profil en long épouse au maximum possible l'allure du terrain naturel, tout en respectant les angles saillant, rentrant et la déclivité du type la route. Tout comme le tracé en plan, les caractéristiques seront donnés dans le tableau suivant :

*Tableau 34: Paramètres géométriques du profil en long (SETRA, ARP, Août 1994)*

Profil en long			
Catégories des Routes	R 60	T 80 et R 80	T 100
Déclivité maximale	7%	<b>6%</b>	5%
Rayon minimal en angle saillant (en m)	1500	<b>3000</b>	6000
Rayon minimal en angle rentrant (en m)	1500	<b>2200</b>	3000

En fonction des caractéristiques de types de la route, nous avons obtenu le profil en long présenté sur la figure ci-dessous. Les détails par profil seront donnés dans l'annexe (N°3) du document, dénommé tracé combiné.

#### II.1.4. Le profil en travers

Le profil en travers d'une route est représenté par une coupe perpendiculaire à l'axe de la route de la surface définissant l'ensemble des points représentatifs de de la surface de la route.

Il comprend pour la route des éléments suivants : la largeur de la chaussée, les accotements et la pente traversable.

Notre route comprend une chaussée de 7.00 m des accotements de 1.50 m de part et d'autre de la route et une pente transversale de 2.5%.

Le profil en travers de notre projet sera de deux types. Un profil type 1 en Zone de traversé d'agglomérations et un profil type 2 en rase campagne.

##### a. Profil en travers type 1

Le profil en travers type 1 concerne la traversée de Zango Tchiga, de Oussa et celui d'entrée à Dandaji sur une distance respective de 400m, 600m et 1 Km,

Il comprend :

- Une chaussée revêtue en enduit bicouche d'une largeur de 7.00m
- Deux Trottoirs de part et d'autre de 1.50 m

La figure ci-dessous donne les détails des différentes parties de la chaussée

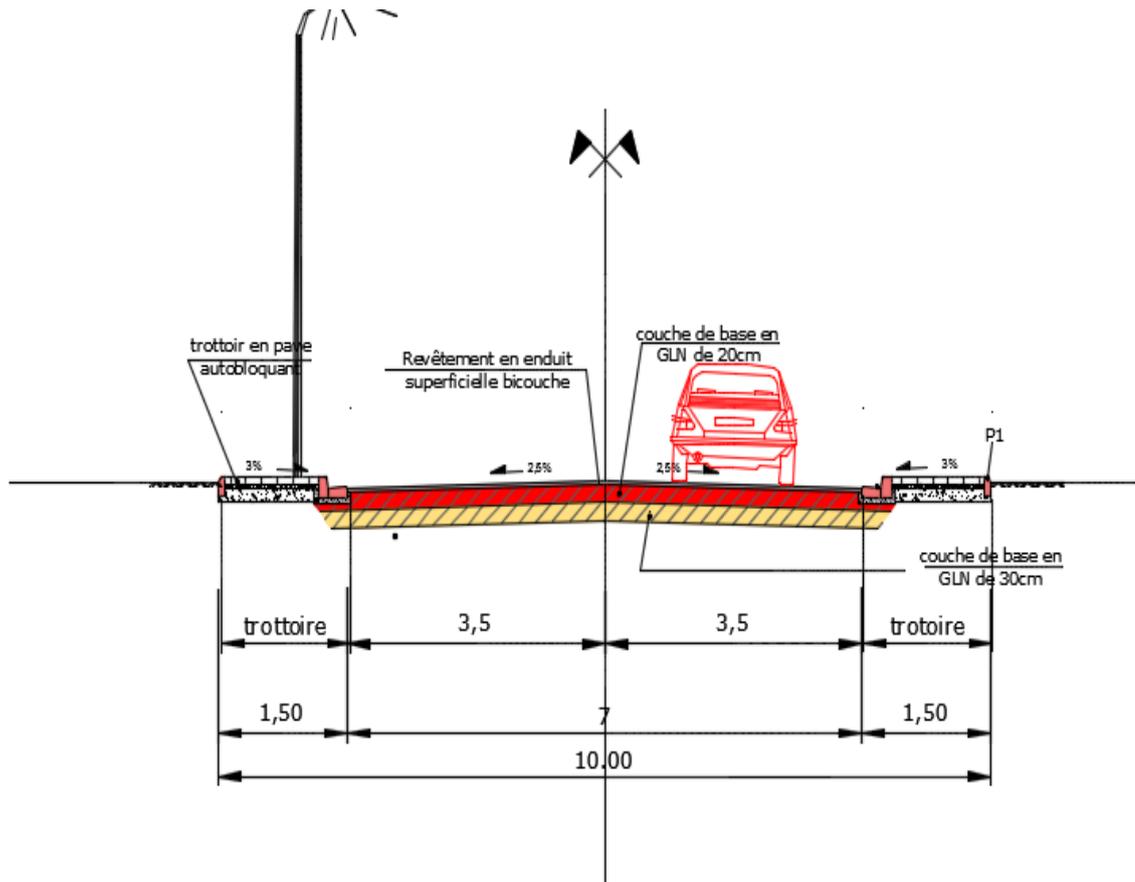


Figure 4: profil en travers type 1

#### b. Profil en travers Type 2

Le profil en travers type 2 est celui utilisé en ras campagne, il constitue le profil courant du projet. Il est d'une largeur de 10.00 m dont 1.50m d'accotement de part et d'autre de la chaussée.

La figure (N°4) suivante montre les détails du profil.

#### **Figure 4 :** profil type 2

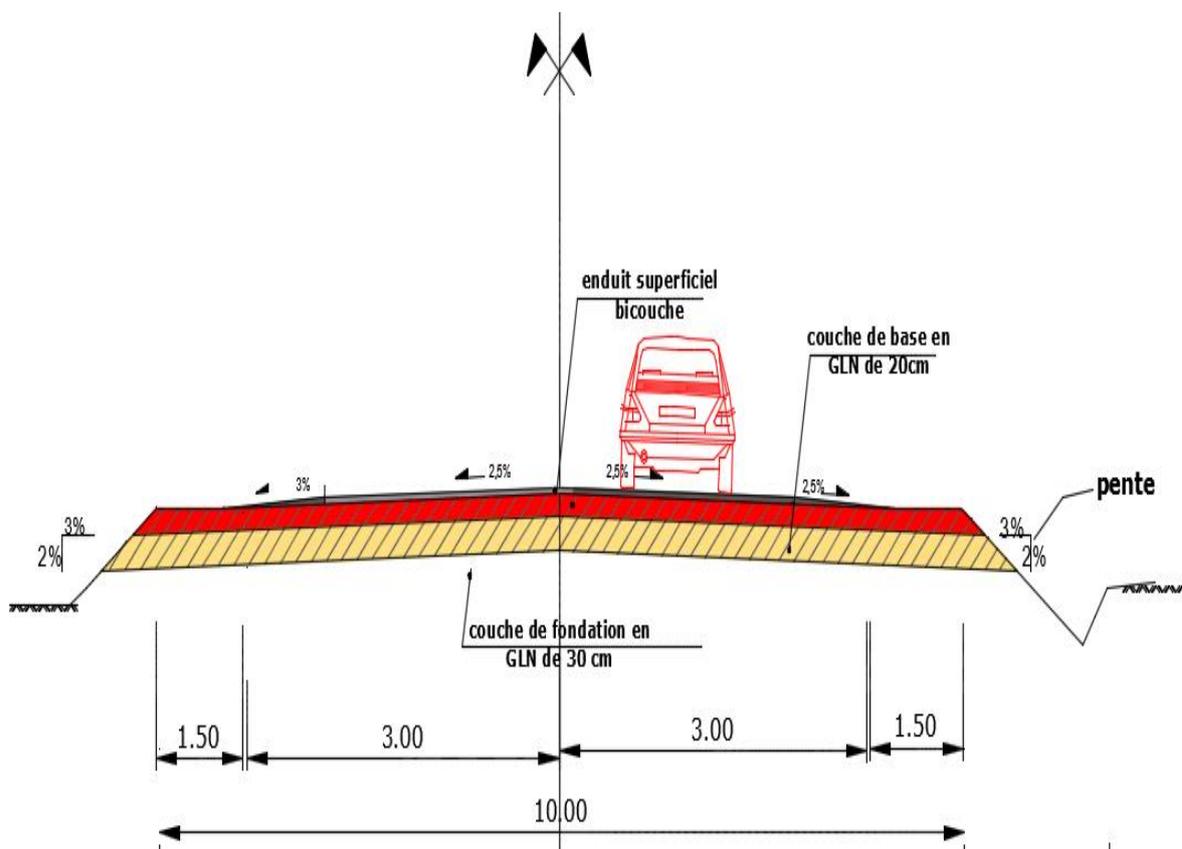


Figure 5: profil en travers type 2

## CHAPITRE III : ETUDE GEOTECHNIQUE ET DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL DE LA CHAUSSEE

### III.1. Etude géotechnique

L'étude géotechnique constitue une partie importante d'un projet routier, Elle consiste à une vérification des études géotechnique disponibles de la zone et l'étude proprement dite.

Elle nous permet de :

- faire une analyse des résultats des sondages à l'axe de la piste
- conduire une étude de prospection des carrières pour les emprunts
- analyser des carrières des roches massives pour le revêtement de la route

#### III.1.1. Sondage à l'axe

Le sondage à l'axe est une opération géotechnique qui consiste à déterminer le long de l'axe de la chaussée les caractéristiques des matériaux de la plateforme.

Pour notre projet, il a été réalisé par le laboratoire national des travaux publics et des bâtiments (LNTPB), avec la surveillance de bureau d'étude GERMS en qualité de contrôle les sondages sur toute la longueur de la route.

Ainsi un total de 17 points de sondage a été effectué tous le 1000m sur l'axe. Les résultats des essais sont récapitulés dans le tableau suivant et sera analysé pour pouvoir déterminer la classe de portance du sol de la plateforme.

Tableau 4 : Résultats de sondage

		Tableau récapitulatif des essais de sondage à l'axe de la bretelle de Dandaji 17Km												
Désignation	Profondeur	Granulométrie					Limite d'atterberg		Classification	Proctor Modifié		CBR (%)		
		< 10mm	< 5mm	< 2mm	< 1mm	0,08µm	LL	IP		US-HRB	DS(t/m3)	w(%)	90	95
Pk0+00	0/40	77	63	51	44	19	21,5	9,4	A-2-4(0)	2,46	7	10	41	115
Pk1+00	0/45	77	60	47	42	15	24,7	10,5	A-2-6(0)	2,47	7,2	7	27	70
Pk2+00	0/40	79	61	43	39	23	27,1	13,1	A-2-6(0)	2,26	10	9	15	38
Pk3+00	0/45	100	100	100	99,9	11	27,9	SL	A-2-6(0)	1,94	10	11	20	42
Pk4+00	0/40	77	66	58	54	22	27,8	11,6	A-2-6(0)	2,22	7,3	6	32	80
Pk5+00	0/40	64	58	52	47	14	25,3	12,5	A-2-6(0)	2,23	8,2	7	45	57
Pk6+00	0/40	72	63	57	53	22	23	9,5	A-2-4(0)	2,13	8,9	9	17	30
Pk7+00	0/40	62	56	52	49	11	27	14	A-2-6(0)	2,24	7,2	5	15	60
Pk8+00	0/40	67	50	40	37	15	26,4	13,8	A-2-6(0)	2,29	6,6	10	32	64
Pk9+00	0/40	78	70	62	59	22	22,7	10,5	A-2-6(0)	2,16	8,5	8	16	60
Pk10+00	0/40	79	72	67	62	12	26	11,3	A-2-6(0)	2,15	10	18	49	73
Pk11+00	0/35	74	61	51	47	15	26	12,1	A-2-6(0)	2,42	8	42	45	90
Pk12+00	0/40	63	47	38	35	18	20,4	6	A-2-4(0)	2,27	9,2	7	16	50
Pk13+00	0/40	72	58	48	44	22	27,2	13,3	A-2-4(0)	2,27	9,6	5	38	75
Pk14+00	0/40	63	45	36	34	20	26	11,5	A-2-6(0)	2,25	88,8	1	18	35
Pk15+00	0/40	86	66	57	50	21	22,9	9	A-2-4(0)	2,2	9,1	9	15	22
Pk16+00	0/40	76	73	71	69	10	21,3	8	A-2-4(0)	2,07	8,9	6	16	37
Pk17+00	0/40	66	61	57	55	13	25,3	11	A-2-6(0)	2,185	7,8	4	30	46

### III.1.2. Analyses et interprétation des résultats

Le résultat des essais nous donne un CBR variant d'un tronçon à un autre. Cela est dit du fait de la nature géologique de la zone du projet, qui comprend parfois de couche latéritique de bonne qualité qui affleure sur la plateforme et parfois de mauvaise qualité. En générale la couche de mauvaise qualité se trouve lorsque la couche latéritique de la zone se trouve à une profondeur importante et couverte de couche de faible portance comme le sable et l'argile.

Pour déterminer la classe de la plateforme, on utilise le CBR des essais obtenus à 95% de l'Optimum Proctor. On a obtenu les plages de CBR suivantes :

- Au Pk0, on a un CBR égale à 41%
- De Pk1 au Pk4 : sa varie en moyenne de 20 à 45%
- De Pk6 au Pk9 : on a un CBR de 15 à 49%
- De Pk10 au Pk11 : respectivement 49 et 45%
- De Pk12 au Pk17 : 15 et 38%

Pour le dimensionnement de la structure de la chaussée nous proposons de considérer un CBR de 15% de l'OMP par mesure de sécurité, donc le cas le plus défavorable.

D'après le tableau de classification donné par le « Guide Pratique de Dimensionnement des Chaussées pour les Pays Tropicaux », on a une classe de portance de type S4.

*Tableau 5: classification de sol*

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

### III.1.3. Etudes de prospection des carrières

L'étude de prospection consiste à déterminer les carrières le plus proche possible de la zone de réalisation du projet pour minimiser le coût et la durée d'exécution du projet. Ceci tout en respectant les critères de portance des couches composantes de la chaussée.

La zone de la réalisation du projet présente un avantage dans les recherches des carrières, elle est riche en matériaux latéritique.

Après une étude menée par une équipe de géotechnicienne, 5 carrières ont été découvertes le long de la route ainsi on a les carrières suivantes :

- Carrière N°1 au Pk 1+725 à gauche
- Carrière N°2 au Pk 6+000 à droite
- Carrière N°3 au Pk 7+000 à droite
- Carrière N°4 au Pk 13+000 à gauche
- Carrière N°5 au Pk 16+000 à droite

Les résultats des essais récapitulés dans le tableau ci-après seront analysés afin de vérifier s'ils répondent aux critères des spécifications techniques exigées.

*Tableau 6: Résultats des essais de prospection des carrières*

Désignation	Analyse granulométrique					Limite d'Atterberg		Classification	Proctor Modifié		CBR (%)		
	Tamis (mm)	< 10mm	< 5mm	< 2mm	< 1mm	0,08µm	LL		IP	US-HRB	DS(t/m3)	w(%)	90
<b>Emprunt N°1</b>													
Sondage N°1, 2, 3, 4, 5,6	60	39	26	24	15	24,4	8,4	<b>A-2-4(0)</b>	2,39	7,1	12	53	95
Sondage N°1, 2, 3, 4, 5,6	85	69	63,5	48	30	22,6	9,5	<b>A-2-6(0)</b>	2,2	8,8	15	60	101
<b>Emprunt N°2</b>													
Sondage N°1, 2, 3, 4, 5,6	50	37	30,5	29	9	14,3	4,8	<b>A-2-4(0)</b>	2,38	6,2	16	53	200
Sondage N°7, 8, 9, 10, 11,12	49	38	33	31	10	14,1	6,8	<b>A-2-4(0)</b>	2,32	6,6	18	98	145
<b>Emprunt N°3</b>													
Sondage N°1, 2, 3, 4, 5,6	45	32	27	26	6	14,1	5,1	<b>A-2-4(0)</b>	2,42	6,6	26	142	215
Sondage N°7, 8, 9, 10, 11,12	43	31	25,5	25	6	12,9	5,6	<b>A-2-4(0)</b>	2,43	6,6	30	135	180
<b>Emprunt N°4</b>													
Sondage N°1, 2, 3, 4, 5,6	50	35	29	27	9	15,3	5,2	<b>A-2-4(0)</b>	2,43	5,5	10	32	60
Sondage N°7, 8, 9, 10, 11,12	53	38	33	31	14	18,6	5,1	<b>A-2-4(0)</b>	2,4	5,5	14	72	90
<b>Emprunt N°5</b>													
Sondage N°1, 2, 3, 4, 5,6	47	39	35	34	10	15,3	5,2	<b>A-2-4(0)</b>	2,29	7,3	12	43	85
Sondage N°7, 8, 9, 10, 11,12	54	45	42	41	10	15,1	4,1	<b>A-2-4(0)</b>	2,28	6,3	25	58	148

### III.1.3.1. Spécification technique et sélection des emprunts

Les spécifications techniques que doivent remplir les matériaux sont :

#### 1. Plateforme

Pour la plateforme le sol doit être de la classe de portance  $\geq S3$

#### 2. Couche de fondation

La couche de fondation doit répondre aux critères suivants :

- Pourcentage des passants au tamis de  $80\mu\text{m} < 30\%$  ;
- Indice de plasticité  $< 20\%$  ;
- $\text{CBR} \geq 20$  à 95% de la densité sèche de l'OPM pour un trafic  $< T2$  ;
- $\text{CBR} \geq 30$  à 95% de la densité sèche de l'OPM pour un trafic  $\geq T2$ .

### 3. Couche de base

La couche de base doit aussi répondre aux critères suivants

- Pourcentage des passants au tamis de  $80\mu\text{m} < 20\%$  ;
- Indice de plasticité  $< 15\%$  ;
- Densité  $\geq 2$  ;
- CBR  $\geq 60$  à 95% de la densité sèche de l'OPM pour un trafic  $< T2$  ;
- CBR  $\geq 80$  à 98% de la densité sèche de l'OPM pour un trafic  $\geq T2$ .

#### III.1.3.2. Analyse des résultats des essais sur les emprunts et sélection des emprunts

Après analyse du tableau de sondage, il ressort que toutes les carrières répondent à la fois à la couche de base et de fondation.

Ainsi le volume exploitable de chaque carrière se résume dans le tableau ci-après

*Tableau 7: Situation des emprunts*

Emprunt	Surface (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Distance morte(m)
<b>1</b>	30000	18000	<b>1000</b>
<b>2</b>	45000	22500	<b>500</b>
<b>3</b>	45000	24750	<b>500</b>
<b>4</b>	30000	11000	<b>400</b>
<b>5</b>	20000	9000	<b>200</b>

#### III.1.4. Carrière des roches massives

Les matériaux utilisables pour la couche de roulement proviendront du concassage de roche massive de la carrière de Koulou dans la région de Dosso.

Les matériaux présentent des caractéristiques géotechniques de très bonne qualité pour les travaux de revêtement, en atteste les travaux d'aménagement effectués dans cette zone et du fait de son proximité par rapport aux autres sites de concassage du Pays (Lossa et Méla

Haoussa dans la région de Tillabéry, et de Dan Issa ou de Korin Dawa (Madarounfa) dans la région de Maradi.)

### III.2. Dimensionnement structural de la chaussée

#### III.2.1. Etude de trafic

L'étude de trafic consiste à l'analyse du trafic de la voie existante au moyen de comptage afin d'estimer à travers des méthodes de calcul, le trafic poids lourd susceptible d'emprunter la route durant toute la durée de vie projetée.

La durée de vie de la route est prévue pour une durée d'utilisation de 20 ans, la croissance de trafic estimée par le projet est de 5% (issu de l'étude économique du présent projet)

Les données issues du comptage à l'année 2015 sont consignées dans le tableau suivant.

*Tableau 8: Données de comptage de la route (juin 2015)*

Type de trafic	Véhicule légers	Auto Car	Camion à 2 Essieux	Camion à 3 Essieux	Camion à 4 Essieux	Ensemble articulé	TMJA
Trafic Normal	45	1	16	14	10	7	41
Trafic Induit	23	1	8	7	5	4	
Trafic Total	68	2	24	21	15	11	

Ainsi le trafic moyen journalier annuel de 41 PL/jour sera utilisé pour déterminer aux moyens de méthode de calcul de prévision, le trafic total de dimensionnement de la route.

Les hypothèses considérées par ce projet sont le suivant :

- Essieu de référence de 13 tonnes (essieu simple) ;
- Durée de vie (n) de 20 ans ;
- Trafic poids lourds / jour = 41 PL ;
- Taux géométrique de croissance annuelle du trafic : 5 %

- Année de mise en service : 2020
- Coefficient d'Agressivité Moyen CAM : 1,10

### 1. Trafic de l'année de mise en service

Le trafic de l'année de mise en service donné par la croissance exponentiel est donné par la formule suivant :

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

Avec

- $i$  : taux de croissance géométrique ;
- $T_0$  : 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 ;

Après tout calcul on obtient :

$$T_0 = 53PL/jour$$

### 2. Trafic cumulé

Le trafic cumulé de poids lourds pour le dimensionnement de ce projet est déterminé par la méthode de dimensionnement CEBTP, elle utilise la méthode suivante :

$$365 \sum_1^n T_n = 365 \times T_0 \frac{(1 + i)^n - 1}{i}$$

Avec

- $T_0$  : trafic moyen journalier de la première année, (année de mise en service)
- $n$  : nombre d'année (correspondant à la durée de vie du projet),
- $T_n$  : trafic moyen journalier de l'année  $n$ ,
- $i$  : taux d'accroissement annuel du trafic,
- $365 \sum_1^n T_n$  : trafic cumulé pendant la durée de vie du projet

Ainsi on obtient :

$$365 \sum_1^n T_n = 6,39660 \times 10^5 PL$$

### 3. Classe de trafic

Le guide de dimensionnement du CEBTP donne une classification du trafic en 5 classes, en fonction de nombre équivalent de poids lourds (NE) susceptible d'emprunter la route. Il est obtenu à travers la formule qui suit :

$$NE = NPL \times CAM$$

$$NE = 7,03626.10^5 PL$$

Cette valeur est introduite dans le tableau ci-dessous, pour choisir le trafic de dimensionnement.

*Tableau 9: Classes de trafic (CEBTP, Guide Pratique de Dimensionnement des Chaussées, 1984)*

Classes du Trafic	Trafics cumulés
<b>T1</b>	Trafic < 5 X 10 <sup>5</sup>
<b>T2</b>	<b>5. 10<sup>5</sup> ≤ Trafic &lt; 1,5 X 10<sup>6</sup></b>
<b>T3</b>	1,5. 10 <sup>6</sup> ≤ Trafic < 4 X 10 <sup>6</sup>
<b>T4</b>	4. 10 <sup>6</sup> ≤ Trafic < 1 X 10 <sup>7</sup>
<b>T5</b>	1. 10 <sup>7</sup> ≤ Trafic < 2 X 10 <sup>7</sup>

#### III.2.2. Couches de la chaussée

La détermination des différentes couches qui composent la chaussée est fait sur la base de Guide Pratique de Dimensionnement pour les pays tropicaux du CEBTP qui tient compte du trafic et de la classe de portance du sol.

Nous allons utiliser cette méthode afin de choisir les différentes épaisseurs des couches de la chaussée et ainsi procéder aux vérifications par le Logiciel Alizé LCPC.

Ainsi en fonction de trafic T2 et de la classe de portance S4 on obtient d'après le guide de dimensionnement les variantes suivantes :

Tableau 10: variantes de la structure de chaussée (CEBTP, 1984)

Structure de la chaussée	Revêtement	Couche de base	Couche de fondation
<b>Variante N°1</b>	<b>4cm</b> d'enrobé dense ou enduit Tricouche	<b>15cm</b> des graveleux latéritiques Naturels	<b>20cm</b> des graveleux latéritiques Naturels
<b>Variante N°2</b>	<b>4cm</b> d'enrobé dense ou enduit tricouche	<b>15cm</b> des graveleux latéritiques Naturels ou grave naturelle amélioré au ciment	<b>20 cm</b> des graveleux latéritiques Naturels ou grave naturelle amélioré au ciment
<b>Variante N°3</b>	<b>4cm</b> d'enrobé dense ou enduit tricouche	<b>30 cm</b> de Concassé o/d	<b>30 cm</b> de Concassé o/d

### 1. Choix de la variante de projet

Le choix de la variante de notre projet est basé principalement sur la disponibilité des matériaux. Notre zone de projet dispose des matériaux latéritiques de très bonne qualité, en référence aux différents CBR obtenu lors de l'étude des carrières.

Notre choix se porte donc sur les matériaux naturels pour éviter soit le renforcement ou le concassage qui demande des coûts supplémentaires.

Ainsi nous choisissons la variante N°1 qui est en graveleux latéritiques naturels

**Tableau 12 :** variante choisie

Structure de la chaussée	Revêtement	Couche de base	Couche de fondation
<b>Variante N°1</b>	<b>4cm</b> d'enrobé dense ou enduit Tricouche	<b>15cm</b> des graveleux latéritiques Naturels	<b>20cm</b> des graveleux latéritiques Naturels

### III.2.3. Vérification des épaisseurs de couches par ALIZE

Les couches de la chaussée seront vérifiées à l'aide de logiciel Alizé pour voir s'ils répondent aux différentes contraintes et déformations.

Les données à tenir compte sont :

- Trafic cumulé
- Durée de vie (20 ans)
- Module de Young

Le module de Young est calculé par la formule :  $E = 5 \times CBR$

Le module de la plateforme est ainsi obtenu, pour les autres couches, il est déduit par la relation de la loi de fatigue :  $E_n = E_{n-1} \times k$ , avec  $k = 2$  à  $3$  en fonction de la catégorie choisie, pour notre cas  $K = 2,5$  pour la catégorie 2 c'est-à-dire le module de la couche de base est plafonné à 400 MPa.

*Tableau 11: modules d'élasticités*

CBR	Module de Young(MPa)		
	Plateforme	Couche de fondation	Couche de base
15	75	187.5	400

### 1. Calcul des contraintes et déformation admissibles

#### - Contrainte admissible

Pour la détermination de la contrainte admissible, la formule de kerkhoven et Dormon, du guide de dimensionnement CEBTP sera utilisée.

$$\sigma_{zadm} = \frac{0.3 \times CBR}{1 + 0.7 \times \log N}$$

- CBR = 15
- NE = 7,03626. 10<sup>5</sup> PL

$$\sigma_{zadm} = 0.88MPa$$

#### - Déformation admissible

La déformation verticale admissible est calculée par la formule de (SETRA édition 1998) pour les chaussées à moyen ou fort trafic.

$$\epsilon_{z,adm} = A \times (NE)^{-0.222}$$

- A = 16000 pour le trafic < T3

$$\epsilon_{z,adm} = 828.37 \mu\text{d}\acute{e}f$$

Avec les contraintes et déformations ainsi calculées, nous allons utiliser le logiciel Alizé LPC pour le dimensionnement afin de choisir les couches de la chaussée qui répondent aux contraintes admissibles.

### Vérification

La vérification consiste à comparer les valeurs calculées aux valeurs admissibles de la structure de chaussée.

Après vérification avec alizé on remarque que la structure de chaussée ne répond pas aux déformations admissibles, en variant donc l'épaisseur on finit d'adopter celle qui vérifie au mieux les conditions (contrainte et déformation admissibles).

Ainsi la structure de chaussée retenue en conséquence est composée de :

- ✚ Enduit superficiel type bicouche en revêtement
- ✚ 20cm de graveleux latéritique en couche de base
- ✚ 30cm de graveleux latéritique en couche de fondation

Le tableau ci-dessous résume les calculs des contraintes et déformations faite par Alizé (les détails de calcul sont donnés dans l'annexe N°1 du présent document)

*Tableau 12: Vérification de la structure de chaussée*

Variante	Valeurs admissibles	$\epsilon_{\psi z}$ , adm ( $\mu\text{déf}$ )	$\epsilon_{\psi z}$ ( $\mu\text{déf}$ )	$\sigma_{zadm}$ (MPa)	$\sigma_z$ (MPa)	Condition
Variante N°1	Plateforme	828.37	1203.3	0.88	0.091	Non vérifiée
structure adoptée	Plateforme	828.37	771	0.88	0.057	Ok

## CHAPITRE IV : ETUDE D'ASSAINISSEMENT DE LA ROUTE

A l'instar des autres études de la route, l'assainissement routier constitue aussi une étape importante qui influence directement la durée de vie de l'ouvrage. C'est pourquoi cet aspect sera traité minutieusement en tenant compte de tous les paramètres qui entrent en jeu.

Pour ce faire, ce chapitre traitera dans un premier temps l'aspect hydrologique de la zone du projet pour déterminer le débit des crues et dans un deuxième temps l'étude hydraulique pour la détermination de la section des ouvrages nécessaire pour faire passer ces débits et enfin le dimensionnement BA des ouvrages.

### IV.1. Etude hydrologique

L'étude hydrologique a pour but de donner des informations sur la quantité des pluies sur plusieurs années antérieures de la zone de projet et permettre à travers des diverses méthodes de prédiction, d'avoir le débit de calcul. Ce débit permettra ainsi de calculer les ouvrages hydrauliques de mise hors d'eau de la route jusqu'à sa durée de vie.

Les étapes de cette étude consistent à :

- Une reconnaissance détaillée de la route existante et un inventaire de tous les ouvrages existants suivie d'une appréciation de leur état et de leur fonctionnement hydraulique ;
- Une identification des différents passages d'eau nécessitant des ouvrages ;
- Des études hydrologiques des passages d'eau recensés en vue de la détermination des débits de projet ;
- Un dimensionnement adéquat d'ouvrages sur les passages d'eau retenus ;
- Des mesures de protections nécessaires sur les ouvrages (gabions, blocs rocheux, perré maçonné etc....).

#### IV.1.1. Inventaire et relevés des ouvrages existants

L'état de situation des ouvrages existants le long de l'axe de la route se résume dans le tableau suivant :

*Tableau 13: Inventeur des ouvrages existants*

N°	Coordonnée GPS		Type	Dimensions (m); Ø (cm)	Etat des ouvrages
	X	Y			
1	31P 0732047	1594023	DT	2 x 2 x 1	Bon état mais qualité de béton et mise en œuvre douteuse
2	31P 0731947	1593786	RB	Ø = 100 ; L= 8	Bon état physique
3	31P 0731335	1591674	DT	Ø = 100 ; L =8	Bon état physique
4	31P 0730028	1590109	DT	1 x 1 x 1	Mauvaise état physique
5	31P 0729903	1589639	RB	Ø = 100 ; L =8	Mauvaise état physique
6	31P 0729586	1588507	RB	Ø =100; L =8	Bon état physique mais dimensions très faible
7	31P 0732047	1594023	RB	Ø = 100 ; L= 8	Mauvaise état physique
8	31P 0731947	1593786	DT	1 x 1 x 1	Bon état mais qualité de béton et de mise en œuvre douteuse
9	31P 0729228	1582565	DT	1 x 1 x 1	Bon état

**RB:** Radier Buse

**DT:** Dalot type

#### IV.1.2. Détermination des bassins versants

Pour les bassins versants de la zone du projet nous avons utilisé le logiciel Globale Mapper et Google Earth pour déterminer leurs caractéristiques. Au total neufs (9) bassins versants ont été identifiés.

Le tableau suivant résume les caractéristiques de chaque bassin versant

*Tableau 14: Caractéristiques des bassins versants*

	Surface (km <sup>2</sup> )	Périmètre (km <sup>2</sup> )	Elévation minimale(m)	Elévation maximale(m)	pen- te (%)	Ligne d'écoulement (m)
<b>BV1</b>	21,763	31,809	295	298	2,83	8989
<b>BV2</b>	1,947	11,649	293	298	1,1	2145
<b>BV3</b>	6,86	16,59	293	296	2,05	372
<b>BV4</b>	15,289	24,317	315	332	2,03	3326
<b>BV5</b>	3,798	12,467	311	332	1,85	880,7
<b>BV6</b>	1,33	6,212	319	332	1,42	669,64
<b>BV7</b>	1,189	6,425	323	328	1,45	275,57
<b>BV8</b>	23,266	29,245	307	326	1,08	8623
<b>VB9</b>	4,499	12,886	305	317	1,36	1936

La figure ci-après donne la position de la route en lieu et place par rapport aux différents bassins versants obtenus.

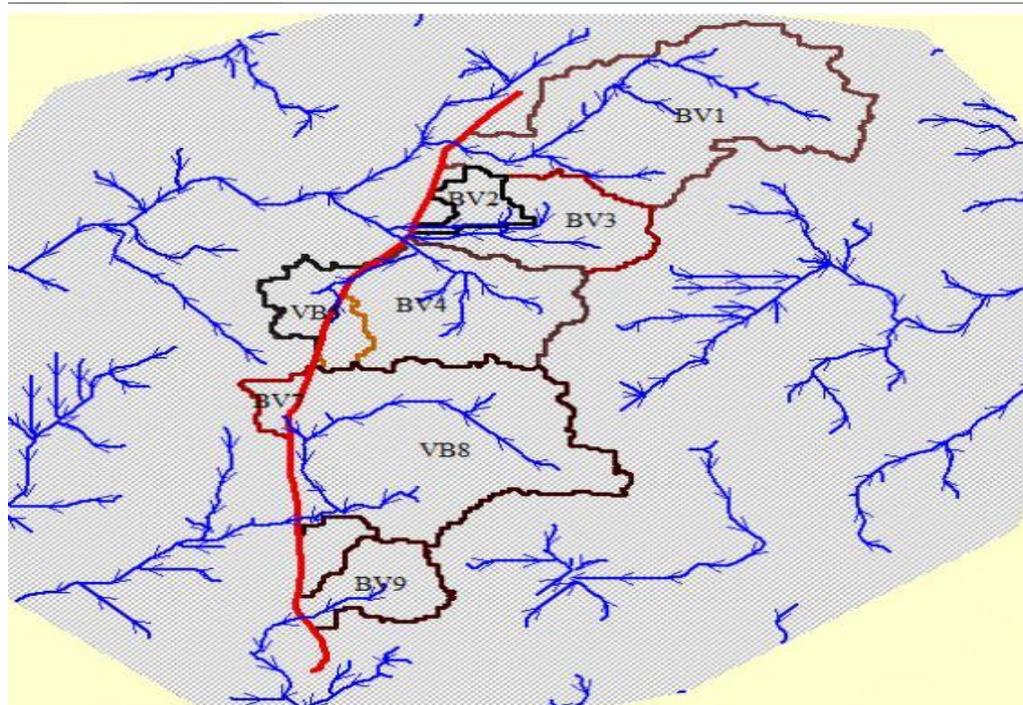


Figure 6: Bassin versant de la zone

#### IV.1.3. Données pluviométriques de la zone du projet

Les données pluviométriques de la zone du projet sont celle de la station d'Illéla. Les données trouvées sont réparties pour une période allant de 1985 à 2014 soit 30 ans. Ainsi pour la caractérisation de l'échantillon nous allons faire appel à l'analyse fréquentielle et ses différentes lois pour déterminer la pluie de retour de 10 ans et de 100 ans. Les détails de calcul se trouvent à l'annexe N°3 du document. Après tous les calculs effectués nous avons obtenu une pluie décennale de : **83.58 mm**

#### IV.1.4. Débit de crue du projet

La détermination du débit de crue du projet se fait à l'aide de plusieurs méthodes hydrologiques en fonction des caractéristiques de la zone du projet. Les différentes méthodes que nous allons utiliser sont :

- La méthode rationnelle
- La méthode CIEH
- La méthode **ORSTOM (RODIER AUVRAY)**

a. La méthode rationnelle

La méthode rationnelle permet la détermination de débit de crue des bassins versants de superficie inférieure à 4 Km. Pour notre projet nous allons utiliser cette méthode pour calculer le débit de crue de BV2, BV5, BV6, et BV7.

Le calcul se fait par la méthode suivante :

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

Avec :

- A : Superficie du Bassin Versant (en km<sup>2</sup>)
- C : Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement est déterminé en fonction de la nature du sol de la zone du projet. Notre zone est constituer d'une surface cultivé, le coefficient varie entre 0.20 et 0.40

Nous prenons c = 0.40

- Q = débit de crue décennale (en m<sup>3</sup>)
- I : Intensité de pluie (en mm)

$$I = a \times t_c^{-b} \text{ (formule de Montana)}$$

- a : paramétré de la formule de Montana variant entre 7 et 7,8 avec une moyenne de 7,5 et b = 0.5
- Le temps de concentration (tc) est déterminé à partir de la formule de Kirpisch :

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

H : dénivelée en mètre (m) entre l'exutoire et le point le plus éloigné du bassin

L : distance en mètre (m) entre l'exutoire et le point le plus éloigné du bassin

Après tout calcul on obtient le résultat du débit des bassins versants dans le tableau suivant.

*Tableau 15: débit décennale*

Bassin versant	tc en <i>mm</i>	I en <i>mm/h</i>	Q <sub>10</sub> en <i>m<sup>3</sup>/s</i>
----------------	-----------------	------------------	---

BV1	0,39	0,19	0,199
BV5	0,95	0,47	0,718
BV6	0,96	0,48	0,255
B7	1,13	0,56	0,268

Pour le calcul du débit des autres bassins versants des grandes superficies nous utiliserons la méthode CIEH et ORSTOM.

#### b. La méthode CIEH

La méthode CIEH permet de calculer le débit des bassins versants de superficie inférieure à 1000 km<sup>2</sup> et est donné par la formule suivante :

$$Q_{10} = a \times S^s \times P_{an}^p \times I_g \times K_{r10}^k \times D_d^d$$

Avec

- a, s, p, i, k, d ... sont des coefficients à déterminer
- **Q<sub>10</sub>** : débit de crue décennale (m<sup>3</sup>/s) ;
- **S** : superficie du bassin (km<sup>2</sup>) ;
- **I<sub>g</sub>** : indice global de pente (m/km) ;
- **P<sub>an</sub>** : pluie annuelle moyenne (mm) ;
- **K<sub>r10</sub>** : coefficient de ruissellement décennal (%) ;
- **D<sub>d</sub>** : densité de drainage (km-1)

$$P_{m10} = A \times P_{10} \text{ avec } A = 1 - \frac{(161 - 0,042 \times 419,05)}{1000} \times \log 6 = 0,89$$

$$P_{m10} = A \times P_{10} = 0,89 \times 83,58 = 74,39$$

$$K_{r10} = 2,10^7 \times P_{an}^{-2,2} = 34,04\%$$

#### Choix des équations de régression

Le choix des équations de régression est fonction de la zone du projet, de la pluie annuelle et du ruissellement des bassins versants.

Ainsi nous avons retenu deux équations de régressions ( 12 et 44) en fonction de nombre des bassins versants que constitue notre projet qui est de deux pour (n )allant de 1 à 20 de 3 pour (n ) de 30 à 40 et 4 pour plus de 40 bassins. Ainsi après tout calcul nous résumons les résultats dans le tableau suivant :

$$(12) Q_{10} = 0.095 \times S^{0.643} \times Ig^{0.408} \times 34.08^{1.038}$$

$$(44) Q_{10} = 203 \times s^{0.459} \times Pm10^{-1.301} \times Kr10^{0.813}$$

*Tableau 16: récapitulatif des débits par la méthode CIEH*

	N°	Surface	Kr	Pm10	Qr10	moyenne
VB1	12	21,76	34,04	83,58	13,912	33,941
	44	21,76	34,04	83,58	53,970	
VB3	12	6,86	34,04	83,58	6,623	18,725
	44	6,86	34,04	83,58	30,827	
VB4	12	15,29	34,04	83,58	11,088	28,494
	44	15,29	34,04	83,58	45,899	
VB8	12	23,27	34,04	83,58	14,525	35,091
	44	23,27	34,04	83,58	55,657	
VB9	12	4,49	34,04	83,58	5,950	16,052
	44	4,49	34,04	83,58	26,154	

### c. La méthode ORSTOM

La méthode ORSTOM révisée 1996 permet d'évaluer le débit de crue décennale sur les bassins du sahel et de la zone tropicale sèche.

Son domaine d'application s'étend de Dakar (Sénégal) jusqu'à la frontière du soudan entre les isohyète annuelles 150-120 mm au nord et 1200 au sud et s'applique à des bassins versants ayant une superficie compris entre 10 hectares et 1500 km<sup>2</sup>.

Elle est donnée par la formule suivante :

$$Q_{r10} = m \times A \times P10 \times Kr10 \times \alpha_{10} \times s/Tb10$$

**Avec:**

- $Q_{r10}$  : débit de pointe de ruissellement superficiel de la crue décennale ;
- $m$  : Le coefficient de majoration d'écoulement prenant en compte le débit d'écoulement retardé estimé entre 1,03 et 1,15. Nous prenons  $m = 1.10$
- $A$  : coefficient d'abattement
- $P_{10}$  : pluie décennale journalière ponctuelle (en mm)
- $K_{r10}$  : coefficient de ruissellement décennal ;
- $\alpha_{10}$  : coefficient de pointe de la crue décennale généralement pris égale à 2.9 en zone sahélienne;
- $S$  : superficie du bassin (en km<sup>2</sup>)
- $T_{b10}$  : temps de base de la crue décennale (en seconde)

**Détermination des différents paramètres :**

- le coefficient d'abattement est calculé par la formule suivante :

$$A = 1 - 0,001(9\text{Log}_{10} T - 0,042 P_{an} + 152) \text{Log}_{10} S$$

$T$  : temps de retour (10ans)

$P_{an}$  : Précipitation moyenne annuelle

$S$  : Superficie du bassin versant (en km<sup>2</sup>)

*Tableau 17: coefficient d'abattement*

Bassins versants	Surface Km <sup>2</sup>	Temps de retour	Pan	Coefficient d'abattement
BV1	21,76	0.9	419.05	0.82
BV3	8,86	0.9	419.05	0.89
BV4	15,29	0.9	419.05	0.84
VB8	23.27	0.9	419.05	0.82
VB9	4.50	0.9	419.05	0.91

**Indice globale de pente**

$$I_g = \frac{DH}{L} \quad \text{Et} \quad L = \frac{P + \sqrt{P^2 + 16S}}{L}$$

*Tableau 18: Tableau récapitulatif d'Indice globale de pente*

Bassins	Z <sub>min</sub>	Z <sub>max</sub>	ΔH	L	I <sub>g</sub>
BV1	295	298	3	17.17	0.20
BV3	293	296	3	9.05	0.80
BV4	315	332	17	13.31	1.3
VB8	307	326	19	16,07	1.20
VB9	305	317	12	3.55	1.40

### *Coefficient de ruissellement décennal (Kr<sub>10</sub>)*

Le coefficient de ruissellement est déterminé par interpolation des valeurs de kr70 et kr100 lorsque la pluie décennale ponctuelle P10 est différente de 70 et 100mm.

Elle est donnée par la formule générale suivante :

**Kr<sub>70</sub> ou Kr<sub>100</sub>** =  $\frac{a}{(S+b)} + c$  avec a, b et c des coefficients déterminés en fonction de la classe d'infiltration et de l'indice de pente, cependant cette formule est utilisée que pour des bassins versants ayant une superficie supérieure à 10 Km<sup>2</sup>.

**Type d'infiltration :** la zone des bassins versants se situe dans une zone de type d'infiltration **RI(P3)** (bassin relativement imperméable. Mélange en proportions à peu près égales de sols imperméables (**I**) et de sols perméables (**P**).)

Le Niger se situe dans la zone sahélienne donc nous allons utiliser le tableau donnant les coefficients pour le pays sahélien et qui sera dans l'annexe du document.

Ainsi le tableau nous donne des valeurs de kr70 et kr100 et après l'interpolation on trouve les valeurs de kr<sub>10</sub>.

Après détermination de tous les paramètres, le débit de chaque bassin versant est donné dans le tableau suivant :

*Tableau 19: récapitulatif des débits calculés par la méthode ORSTOM*

	A	Kr10	P10	α10	S	Tb	Qr10
VB1	0,82	16,2	83,58	1,9	21,76	1010	17,359
VB3	0,89	48,3	83,58	1,9	6,86	750	7,518
VB4	0,84	17,17	83,58	1,9	15,29	900	10,443
VB8	0,82	16,02	83,58	1,9	23,27	1080	18,358
VB9	0,91	53,62	83,58	1,9	4,49	700	3,918

Ainsi après l'application de trois méthodes nous allons retenir le débit maximum. Le débit du projet est majoré par la formule suivante :

- Inférieure à 100 Km<sup>2</sup> :  $Q_{10} = 1,03 \times Q_{r10}$

Le récapitulatif des débits se présente comme suit dans le tableau ci-dessous.

*Tableau 20: récapitulatif des débits du projet*

	Surface (km <sup>2</sup> )	Méthode Rationnelle	Méthode ORSTOM	Méthode CIEH	Qretenu	Qprojet
<b>BV1</b>	21,763		17,359	26,985	26,985	29,684
<b>BV2</b>	1,947	0,199			0,199	0,219
<b>BV3</b>	6,86		7,518	15,414	15,414	16,955
<b>BV4</b>	15,289		10,443	22,95	22,95	25,245
<b>BV5</b>	3,798	0,718			0,718	0,790
<b>BV6</b>	1,33	0,255			0,255	0,281
<b>BV7</b>	1,189	0,268			0,268	0,295
<b>BV8</b>	23,266		18,358	27,829	27,829	30,612
<b>VB9</b>	4,499		3,918	13,077	13,077	14,385

A l'issu de cette étude hydrologique, nous constatons que le débit d'évacuation du projet varie d'un bassin versant à un autre, mais présente des sous-groupes qui se rapprochent les

uns des autres, nous allons les classés en trois groupes et prendre le maximum de chaque catégorie pour l'étude hydraulique. Ceci permet de faciliter la commande des matériaux des ouvrages hydraulique et leur mise en œuvre. Les groupes se présentent comme suit :

- \* Les bassins versants BV1, BV4, VB8 avec le débit maximum de 30,612 m<sup>3</sup> ;
- \* BV3, BV9 avec un débit de : 16,955 m<sup>3</sup> ;
- \* Et les BV2, BV5, BV6 et BV7

## IV.2. Etude hydraulique

L'étude hydraulique a pour but de calculer les ouvrages hydrauliques nécessaires pour l'évacuation du débit de projet.

Ainsi en fonction des débits calculés trois types des ouvrages hydrauliques de type dalot seront dimensionnés :

- un dalot type I : pour les bassins versants de grand débit d'évacuation ;
- un dalot type II : pour les moyens
- et un dalot type III : pour les petits

### IV.2.1. Pré-dimensionnement et étude structurale de dalot

#### IV.2.1.1. Pré-dimensionnement

En fonction de l'écoulement dénoyé nous procéderons au pré dimensionnement des dalots sous la condition suivante :

$$\frac{H_1}{D} < 1,25 \text{ avec } H_1 \text{ la hauteur amont et } D \text{ la hauteur de l'ouvrage.}$$

#### Calcul de la profondeur en amont :

D'après la formule hydraulique de calcul de débit d'écoulement on a :  $Q = V \times S$  donc

$$S = \frac{Q}{V} \text{ avec } V = 3,6 \text{ m/s}$$

$$\text{On a } S = \frac{30,612}{3,6} = 8,50 \text{ m}^2$$

$$\text{Nous fixons la valeur de } D \text{ à } 1,50 \text{ donc } B = \frac{S}{D} = \frac{8,50}{1,50} = 5,66$$

Calcul du débit réduit :  $Q_{H_1}^*$ .

$$Q_{H1}^* = \left(\frac{Q}{S}\right) \times \left(\frac{1}{\sqrt{2gD}}\right) = \frac{30,612}{8,50} \times \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times 1,50 \times 10}}\right) = 0,57$$

On trouve avec 0.57  $H_1^* = 1,50$  ,  $H_1 = \frac{H_1^*}{D} \Rightarrow H_1 = 1$

Calcul de la pente critique

La pente critique est calculée en fonction de la valeur lu sur un abaque, qui lui aussi est fonction du coefficient de Manning Strickler  $K_s$  (67 : pour le béton) et de  $Q_i^* = \left(\frac{Q}{\sqrt{gB^5}}\right)$ , ainsi on obtient ( $I_c^*$ ) qui permet de calculer la pente critique.

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

$$Q_i^* = \left(\frac{Q}{\sqrt{gB^5}}\right) = \left(\frac{30,612}{\sqrt{10 \times 5,66^5}}\right) = 0,1 \quad ; \quad I_c = 0,0018$$

### Vérification de la vitesse

La vitesse est déterminée par la formule :

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

La vitesse  $V^*$  est obtenu en lisant sur l'abaque en fonction de  $Q^*v$ .

$$Qv^* = \frac{Q}{K_s \times I^{1/2} \times B^{8/3}}$$

$$Qv^* = \frac{30,612}{76 \times I^{1/2} \times 5,66^{8/3}} = 0,1 \text{ et } V^* = 0,23$$

$$V = 0,23 \times 67 \times B^{2/3} \times I^{1/2} = 3,08$$

Pour les autres débits d'évacuations nous avons procédé de la même manière. Les sections de tous les ouvrages déterminés se résument dans le tableau suivant :

	Surface	Nombre	Largeur	hauteur D	profondeur amont	vitesse fictive	vitesse calculée	Pente critique
<b>Dalot type I</b>	23,266	2	3,00	1,5	1,05	3,6	3,05	0,0018
<b>Dalot type II</b>	15,289	1	3	1,5	1	3,6	1,75	0,0013

<b>Dalot type III</b>	3,798	1	1	1	0,67	3,6	1,25	0,001
---------------------------	-------	---	---	---	------	-----	------	-------

### b. Détermination de l'épaisseur des dalots

Selon le guide de conception de ponts cadres et portique, l'épaisseur de la dalle est déterminée par la formule suivante :

$$e = l/32 + 0,125$$

Ainsi on obtient pour

→ Dalot type I : 2\*3\*1.50

$$e = 3/32 + 0,125 = 0.21\text{m}, \text{ on adopte } e = 25\text{cm}$$

→ Dalot type II : 1\*3\*1.50

$$e = 3/32 + 0,125 = 0.21\text{m}, \text{ on adopte } e = 25\text{cm}$$

→ Dalot type III : 1\*1\*1

$$e = 1/32 + 0,125 = 0.16\text{m}, \text{ on adopte } e = 20\text{cm}$$

Pour uniformiser l'ouvrage nous avons adopté pour les autres parties de l'ouvrage la même épaisseur que le tablier.

#### IV.2.1.2. Dimensionnement Structural de dalot

##### 1. Dalot 2×3×1.50

##### **Hypothèse de calcul :**

- **Règlement**

Les valeurs des sollicitations M (moment) et N (effort normal) seront calculées par la méthode des trois moments.

Les structures routières seront définies conformément aux prescriptions du titre du fascicule 61 titre 2 du cahier de prescription communes (C.P.C)

Les armatures seront calculées suivant les règles de conception et de calcul des ouvrages par la méthode B.A.E.L 91 modifié 99.

- **Caractéristique de la chaussée**

Largeur rouable :  $L_r = 10 \text{ m}$  ;

Largeur chargeable :  $L_c = 7$  m (Classe 1) ;

Nombre de voies :  $nv = \text{entier} [L_c / 3] = 2$  ;

Largeur voie :  $V = \frac{L_c}{n_v} = (3.50\text{m})$

Coefficient  $a_2 = \frac{V_0}{V} = (\text{classe 1})$

- **Caractéristique du béton**

Résistance en compression :  $f_{c28} = 30$  MPa (exigé par le Tdr du projet);

Résistance en traction :  $f_{t28} = 0,6 + 0,06f_{c28} = 2,4$  MPa ;

Coefficient de sécurité :  $\gamma_b = 1,5$

Granulat :  $\phi = 25\text{mm}$  (diamètre du plus gros granulat)

Contrainte admissible en compression :

ELU :  $\sigma_{bc} = \frac{0,85f_{c28}}{\gamma_b} = 17$  MPa

ELS :  $\tilde{\sigma}_{bc} = 0,6 \times f_{c28} = 18$  MPa

- **Caractéristique de l'Acier**

Nuance : Acier haute adhérence (HA) Fe E400 (pour la maîtrise de son utilisation);

Contrainte de calcul acier :  $\sigma_s = \frac{F_e}{\gamma_b} = 348$  MPa

Coefficient de sécurité  $\gamma_s = 1,15$

Coefficient d'adhérence  $\eta = 1,6$  (pour les aciers à haute Adhérence)

Fissuration préjudiciable (les éléments sont exposés aux intempéries, ils sont supposés noyés et immergés en eau du fait de l'évacuation de débit qu'ils assurent) :

$\tilde{\sigma}_s = \min \{2/3f_e ; \max (0,5f_e ; 110\sqrt{n} \times f_{t28})\} = 216$  MPa

- a. **Evaluation des charges permanentes et routières**

- **Charge permanentes**

Une charge permanente est une charge qui s'applique sur l'ouvrage de manière régulière tout au long de sa durée de vie ou de service. Pour notre ouvrage il est constitué de :

- **Poids propre du tablier (P1)**: il comprend le poids du revêtement de la chaussée, le poids du remblai et son poids propre
- **Poids du piédroit (P2)** : il comprend la charge du tablier, de revêtement, le poids du remblai supporté par le tablier et son poids propre
- **Poids du radier (P3)** : il est constitué des charges supportées par le piédroit et son poids propre

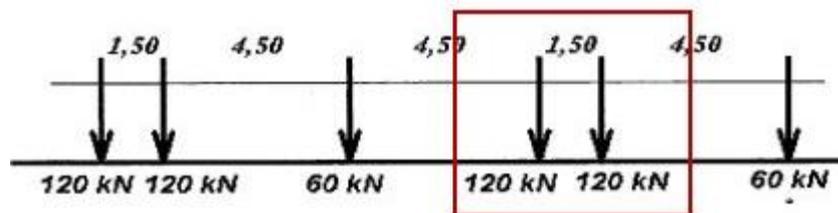
**Poids des matériaux :**  $\gamma_{\text{béton}} = 25\text{KN/m}^3$ ,  $\gamma_{\text{revêtement}} = 22\text{KN/m}^3$ ,  $\gamma_{\text{remblai}} = 20\text{KN/m}^3$

Ainsi après calcul on a obtenu :  $P1 = 14.70 \text{ KN/m}^3$ ,  $P2 = 25.15 \text{ KN/m}^3$  et  $P3 = 32.65 \text{ KN/m}^3$

- **Surcharge routière**

La surcharge routière comprend le maximum de système de charge à savoir le système A, Bc (Bt, Bc et Bc<sub>Niger</sub>) et Br.

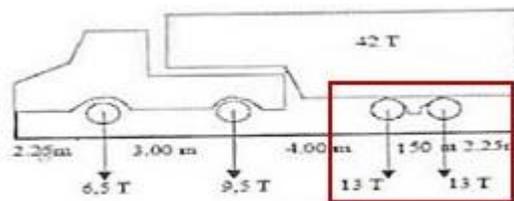
- Le sous-système Bc est composé de poids individuel de 300 KN, il est représenté par la figure ci-dessous



Le dalot à une ouverture de 3.00 m et 25 cm de l'épaisseur de piedroit départ et d'autre, donc longitudinalement on a une longueur d'influence de 3.50 m, on ne peut disposer qu'un camion dans le sens de longueur et deux dans le sens transversal.

La charge maximale du système pour ce dalot est :  $S = 480 \text{ KN}$

- **Le sous-système Bc<sub>Niger</sub>**



La charge la plus défavorable supportée par le dalot pour ce système de charge, est celle de deux roues arrières :  $S = 520 \text{ KN}$

- Le sous-système Bt

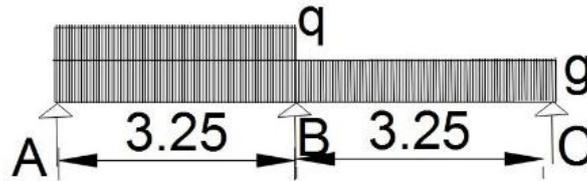
On dispose sur une travée de deux essieux de 16t, le pont est de classe une et a une chaussée à deux voies donc le coefficient Bt = 1

$$S = 1 \times Bc = 1 \times 32 \times 2 = 64t = 640\text{KN}$$

La charge maximale qui sera utilisée pour le dimensionnement est celui du système **Bt**

**b. Détermination des efforts et sollicitations**

Les sollicitations et efforts sont calculés par la méthode de trois moments



### Au niveau du tablier

#### → Sous l'action de la charge permanente : P1

- *A mi- travée :*

$$M(A - B) = M(B - C) = 0.07 \times G \times L^2$$

- *Moments aux appuis :*

$$M(B) = -0.125 \times G \times L^2$$

- *Réactions aux appuis*

$$R(A) = R(C) = 0.375 \times G \times L$$

#### → Sous Surcharges routières :

- *Moments à mi- travée*

$$M(A - B) = M(B - C) = 0.10 \times q \times L^2$$

- *Moments aux appuis :*

$$M(B) = -0.125 \times q \times L^2$$

- *Réactions aux appuis*

$$R(A) = R(C) = 0.437 \times q \times L$$

$$R(B) = 0.625 \times q \times L$$

### Au niveau du radier

#### → Sous charge permanente :

- *Moments à mi- travée :*

$$M(A - B) = M(B - C) = 0.07 \times G \times L^2$$

- *Moments sur appui B:*

$$M(B) = -0.125 \times G \times L^2$$

- *Réactions aux appuis*

$$R(A) = R(C) = 0.375 \times G \times L$$

$$R(B) = 1.25 \times G \times L$$

#### → Sous Surcharges routières

- *Moments à mi- travée*

$$M(A - B) = M(B - C) = 0.10 \times q \times L^2$$

- *Moments sur appui B :*

$$M(B) = -0.125 \times q \times L^2 =$$

- *Réactions aux appuis*

$$R(A) = R(C) = 0.437 \times q \times L$$

$$R(B) = 0.625 \times q \times L$$

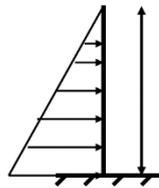
**A) Au du pied droit central**

- Sous charge permanente
- Réaction d'appui du radier  $N = R(B)$
- Sous Surcharges routières :
- Réaction d'appui du radier  $N = R(B)$

**B) Au niveau des pieds droits A et C**

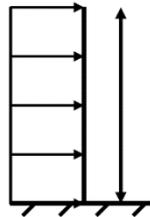
- Sous charges permanentes
- L'effort normal ou réaction du radier Réaction d'appui du radier  $N = R(A)$

- Moment dû à la poussée des terres :



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

- Moment dû sous Surcharges de remblai



$$M = \frac{\gamma \times h^2 \times k}{2} \quad \text{avec } K = 0.33$$

Les efforts et moments sont calculés par ce principe, les résultats de calcul obtenus sera résumé dans le tableau suivant :

<b>RECAPITULATIF DES VALEURS DES MOMENTS ET EFFORTS</b>		
<b>Moment sur tablier</b>	A mi- travée (A-B) et (B-C) lit inf.	89.09 kN. m/ml
	Sur appuis interm lit supérieur	117.34 kN. m/ml
<b>Moments sur Radier</b>	A mi- travée (A-B) et (B-C) lit inf.	45.09 kN. m/ml
	Sur appui interm (lit inf.)	69.71m/ml
<b>Effort sur pied droit central</b>	Effort normal	429.67 kN
<b>Pied droit extérieur</b>	Moment	94.38 kN. m/ml
	Effort normal	128.96 kN

Les armatures seront calculées suivant les règles de conception et de calcul des ouvrages par la méthode B.A.E.L 91 modifié 99.

Le tableau suivant donne le récapitulatif des sections d'armatures de chaque partie de dalot.

*Tableau 21: récapitulatif des sections d'armatures*

	Tablier			Radier			Piédroit		Mur en aile
	lit sup. B	lit sup. A,C	lit inf.	lit sup. B	lit sup. A, C	lit inf.	A, C	B	
As théorique	ELU								
	21.16	7.66	15.83	11.16	3.56	15.83	14.10	10.40	0.30
	ELS								
	16.95	6.48	12.97	9.26	3.04	6.09	11.70		
As min	3.726			3.726			3.726		3.73
As retenue	21.16	7.66	15.83	11.16	3.73	15.83	14.10	10.40	3.73
choix As	HA14	HA12	HA14	HA12	HA10	HA14	HA14	HA12	HA10
espacement	10	15	10	10	20	10	10	10	20
Asreel	21.99	7.7	16.08	11.31	3.93	16.08	15.39	11.31	3.93
Ar = Asret/4	5.29	1.92	3.96	2.79	0.93	3.96	3.53	2.60	0.93
A min	3.726	3.726	3.726	3.726	3.726	3.726	3.726	3.726	3.73
Ar retenue	5.29	3.73	3.96	3.73	3.73	3.96	3.73	3.73	3.73
choix Ar	HA12	HA10	HA12	HA10	HA10	HA12	HA10	HA10	HA10
espacement	20	20	25	20	20	25	20	20	20
Areel	5.65	3.93	4.52	3.93	3.93	4.52	3.93	3.93	3.93

La section d'armature pour le dalot de type : (1\*1\*1) et (1\*3\*1.50) est détaillée dans l'annexe (N°6) du présent document.

## CHAPITRE V : ETUDES TRANSVERSALES

### V.1. Etude de signalisation et sécurité routière

La signalisation routière a pour but principale de garantir la circulation des véhicules circulant à des vitesses règlementaires.

La signalisation routière, au-delà de son aspect de sécurité, procure de la visibilité et harmonise la circulation des usagers, tant au cours de son exécution que pendant son exploitation.

Elle permet de rendre la circulation très facile pour les usagers de la route tout en assurant au maximum leur sécurité.

Au Niger les caractéristiques des éléments de signalisation sont définies par l'instruction interministérielle sur la signalisation routière à travers l'arrêté du 7 juin 1977, relatif à la signalisation des routes et autoroutes.

On distingue cependant deux types de signalisation :

- Signalisation temporaire
- Signalisation permanente

#### V.1.1. Signalisation temporaire

Les signalisations temporaires sont employées pendant l'exécution des travaux pour assurer d'une part la sécurité des usagers et d'autre part celle des travailleurs sur le chantier.

Elle est de forme triangulaire à fond jaune, utilisée dans le cas suivant :

- Signalisation d'approche dans les deux sens de circulation : panneaux de travaux et panneaux de déviation ;
- Signalisation de fin de prescription pour les deux sens de circulation : panneaux de début et de fin de limitation de vitesse ;
- Signalisation de risque dans les zones dangereuses : panneaux de risque de chaussée glissante et de risque de projection de gravillon ;
- Signalisation individuelle-équipement complet de sécurité pour le personnel(EPI).

#### V.1.2. Signalisation permanente

La signalisation permanente comme son nom l'indique et celle qui restera de manière définitive sur la route et assurera tout au long de sa durée de vie, la sécurité des usagers.

Elle est composée essentiellement de la signalisation horizontale et verticale

### V.1.3. La signalisation horizontale

La signalisation horizontale comprend l'ensemble de marquage ou bandes peintes, montrant sans la moindre ambiguïté, aux usagers les parties de chaussée réservées aux différents sens de circulation, aux différentes catégories d'usagers, ainsi que la conduite et le comportement à adopter.

Les principaux marquages qui entre dans le cadre de la réalisation de notre projet sont :

#### ➤ Les marquages longitudinaux :

Les marquages longitudinaux sont constitués de lignes continues, et de lignes discontinues (lignes axiales de type T1, lignes de rive de type T2 et lignes d'annonce de lignes discontinues de type T3.

Ils ont une longueur de trait de 3m avec un intervalle de 10m pour T1, 3.5m pour les lignes de rive et 1.33m pour les lignes d'annonces de type T3.

#### ➤ Marquages transversaux

Les marquages transversaux sont constitués de :

- ✚ Les lignes transversales continues (STOP)
- ✚ Ligne discontinues « Cédez le passage »
- ✚ Les lignes de passages pour les piétons

La largeur des lignes pour les routes revêtus est règlementairement pris à partir d'une unité  $U = 5 \text{ cm}$ .

### V.1.4. Signalisation verticale

La signalisation verticale est constituée de l'ensemble des panneaux utilisés pour la prévention des usagers. Elle porte à la connaissance des usagers de la route les informations telles que : la géométrie de la route (présence de virage ou courbe), les limitations de vitesse éventuelles, la présence et la distance des ralentisseurs et les noms de localités traversées.

### V.1.5. Eclairage public

L'éclairage public proposé dans le cadre de ce projet, concerne le traversé d'agglomération. Elle permet ainsi de donner une garantie à la sécurité de la circulation routière et contribue de manière significative au confort des usagers et à l'esthétique de la route.

Le dispositif d'éclairage utilisé dans le cadre de notre projet comporte des candélabres minus des lampes en sodium de 150 W, d'une hauteur de 10m avec un espacement de 40m.

## V.2. Etude d'impact environnementale

L'étude d'impact environnemental et social (EIES) consiste pour un projet routier, d'évaluer tous les impacts liés à la réalisation de la route afin de prendre des mesures d'atténuations ou de bonification.

Elle consiste préalablement de fournir aux décideurs un rapport présentant les implications à chaque niveau, des diverses modalités des différentes activités projetées afin de leur permettre d'en tenir compte et de procéder à une modification éventuelle de la conception finale.

Ce projet, comme tout autre projet similaire, présente des changements et dégradations du milieu biophysique et humain et est susceptible d'engendrer des impacts environnementaux et sociaux sur les milieux.

### V.2.1. Méthodologie

La méthode utilisée pour l'identification des impacts qui entre dans le cadre de la réalisation de ce projet est basée sur l'analyse des effets qui résulteront des différentes interactions entre le milieu récepteur et les activités 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.

L'étude nous permettra en premier lieu de procéder aux évaluations des impacts et par la suite proposée les mesures correctionnelles d'atténuation ou de bonification pour une meilleure prise en compte du milieu récepteur.

### V.2.2. Identification des impacts du projet

Les ressources d'impacts liées au projet se définissent comme l'ensemble des activités prévues lors des phases de construction, d'exploitation et d'entretien de la route.

Ainsi les éléments de la nature susceptibles d'être affectés par ce projet sont : l'environnement biophysique (les sols, les ressources en eau, la faune, la végétation, paysage, air ; ) et l'environnement humain ou socio-économique :( l'environnement acoustique, la circulation locale, régionale, nationale, la santé et sécurité de la population, habitat et patrimoine culturels, )

Les activités du projet qui affectent cet environnement sont entre autres :

- Aménagement des installations et repli du chantier
- Travaux de préparation de l'emprise (déboisement, débroussaillage, décapage, excavation, terrassement, remblayage, rechargement compactage, reprofilage) ;
- Transport et circulation (déplacements de la main d'œuvre, de la machinerie des matériaux de construction) ;
- Ouverture, extraction et transport des matériaux d'emprunts et de carrières ;
- La construction et l'aménagement de l'infrastructure et de tous les ouvrages (fosses, déviation, ouvrage hydrauliques,...etc.)
- Travaux d'exécution d'enduit superficiel
- Travaux d'imprégnation (pétrole, bitume)
- Travaux lié à l'exploitation de la route
- destruction des gîtes pour les espèces animales sauvages
- risque d'augmentation des maladies

### V.2.3. Évaluation des des impacts du projet

L'évaluation des impacts du projet se fera dans le tableau ci-dessous :

*Tableau 22: évaluation des impacts*

Composantes affectées	Phases du projet	Source d'impact	Description des impacts
<b>Milieu biophysique</b>			
<b>Ressources en eau</b>	Phase de construction	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ponction d'eau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Risque d'affaissement des ressources en eau souterraine</li> </ul>
	Phase d'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contamination des ressources en eau souterraines et superficielles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Déversement des diverses substances sur la chaussée (huile, graisses, hydrocarbures et métaux issus du chantier et pendant l'exploitation</li> </ul>
<b>Qualité de l'air</b>	Phase de construction	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poussières</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exposition des riverains à des fines particules par le biais de</li> </ul>

	Phase d'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gaz CO2</li> </ul>	<p>poussières ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Exposition de façon prolongée de gaz d'échappement issus e la combustion des hydrocarbures.</li> </ul>
<b>Végétation</b>	Phase de construction	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Déblaiement des plantes herbacées</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coupe d'arbre et d'herbe en bordure de la route à aménager, ceux se trouvant sur des déviations à construire et ceux des zones d'ouverture des carrières d'emprunt.</li> </ul>
<b>Faune</b>	Phase de construction	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bruit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bruit permanent due aux passages des camions et engins perturbera l'avifaune,</li> </ul>
<b>Paysage</b>	Phase de construction	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Destruction des arbustes</li> <li>• Modification du paysage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Destruction des arbustes provoquera une perte d'habitat pour certains oiseaux et pour la microfaune</li> <li>• Pas des ouvertures dans des zones d'emprunts et des carrières</li> </ul>
<b>Milieu Humain</b>			
<b>Impacts environnementaux</b>	Phase de construction	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nuisances acoustiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Travaux préparatoires des emprises et des travaux connexes</li> </ul>

	Phase d'exploitation		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bruits provenant des frottements des pneus des pièces mécaniques et de la circulation de l'air.</li> </ul>
<b>Santé et sécurité et bien être des populations</b>	Phase de construction	Travaux de construction et Présence de la main d'œuvre dans la zone	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accident de travail et naissance des nouvelles maladies cardio-vasculaires et aussi des maladies sexuellement transmissibles,</li> <li>• Amélioration des conditions sanitaires et sécuritaires par la facilitation d'accès aux services sociaux de bases (Centres de santé, Ecoles..) et une meilleure couverture des zones d'intervention des forces de sécurité, Réduction d'accidents de circulation, rétrocession des forages aux populations</li> </ul>
	Phase d'exploitation	Praticabilité du tronçon Forages routiers construits	
<b>Activités socioéconomiques</b>	Phase de construction	Travaux de construction	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Créations d'emplois directs pour les jeunes de la zone (villages riverains), réduction de l'exode rural</li> <li>• Accroissement à court terme des activités économiques</li> </ul>

	Phase d'exploitation	Praticabilité du tronçon	(échanges avec le Nigeria), réduction du temps de parcours et par la suite les coûts de transport, facilitation d'écoulement des excédents céréaliers
--	----------------------	--------------------------	--

#### V.2.4. Bilan des impacts positifs et négatifs

Le bilan des impacts positifs et négatifs sera évalué dans un tableau à l'aide des symboles suivants :

➤ Pour les impacts positifs :

(+) : Impact positif de faible intensité.

(++) : Impact positif de moyenne intensité.

(+++): Impact positif de forte intensité

➤ Pour les impacts négatifs :

(-): Impact négatif de faible intensité.

(- -): Impact négatif de moyenne intensité.

(- - -) : Impact négatif de forte intensité

*Tableau 23:matrice de facteau*

Activités sources d'impacts	Composantes environnementales									
	Milieu biophysique						Milieu humain			
	Sols	Eaux	Air	Faune	Végétal	Paysage	Circulation	Environnement acoustique	Santé et sécurité	Socioéconomie
installations et repli	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(0)	(-)	(-) (+)	(+++)
Travaux de mouvement des terres	(--)	(---)	(---)	(--)	(-)	(--)	(--)	(-)	(-)	(+)
Transport	(--)	(-)	(--)	(--)	(--)	(-)	(0)	(--)	(--)	(++)
Extraction des matériaux d'emprunts et de carrières.	(--)	(-)	(--)	(--)	(--)	(---)	(0)	(-)	(-)	(++)
La construction et l'aménagement de l'infrastructure	(--)	(-)	(0)	(--)	(--)	(-)	(++)	(0)	(-)	(++)
Exécution d'enduits superficiels;	(-)	(--)	(-)	(-)	(0)	(0)	(+++)	(-)	(-)	(++)
Présence et										

exploitation de la route.	(0)	(-)	(- -)	(-)	(0)	(0)	(+++)	(- -)	(++) (-)	(+++)
							(-)		)	

### V.2.5. Mesures d'atténuation et/ou de compensation :

Les mesures d'atténuation et ou de compensations seront énumérés dans un tableau

*Tableau 24: Mesures d'atténuation et ou de compensation*

Milieu	Récepteur	Activités sources d'impacts	Mesures d'atténuation
Milieu biophysique	Eaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Travaux de terrassement, remblayage, rechargement, compactage,</li> <li>- Circulation des véhicules</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construction des forages routiers ;</li> <li>- Effectuer les vidanges à la base-vie de l'entreprise ou dans les espaces agréés ;</li> <li>- Étaler et compacter les matériaux foisonnes le long des routes ;</li> <li>- Mise en place d'un système de traitement des eaux usées ;</li> <li>- Entreposage adéquat des produits huileux et pétroliers.</li> </ul>
	Sols	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Travaux préparatoires des emprises et installation connexes</li> <li>- Décapage des couches superficielles des sols au niveau de la carrière et zone d'emprunts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Installer un bac métallique pour les huiles de vidanges</li> <li>- Installer un collecteur des eaux usées provenant des garages</li> <li>- Installer un bac à ordures dans la base vie ;</li> </ul>
	Air	Travaux de préparation des emprises.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Information et sensibilisation des populations locales sur l'altération de la qualité de l'air ambiant.</li> <li>- Port d'EIP (Equipements Individuels de</li> </ul>

			Protection) par le personnel ; - Arrosage régulier des pistes
	Paysage	- Préparation des emprises ; et ouverture des carrières et zones d'emprunts	- Remise en état des lieux - Gestion appropriée des débris issus d'élagage, des défrichements, Végétalisation des sites.
	Végétation	Travaux de préparation des emprises	- Acquisition des autorisations préalables auprès des services techniques de l'environnement ; - 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	- 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

	<p align="center">Activités socio-économiques</p>	<p align="center">Travaux de construction</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Donner un quota important aux locaux lors du recrutement de la main d'œuvre ;</li> <li>- Valorisation de l'emploi en donnant aux travailleurs un revenu mensuel consistant</li> </ul>
	<p align="center">Bruit</p>	<p align="center">Travaux de préparation des emprises et travaux connexes</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interdire de réaliser des travaux bruyants en dehors d'heures normales de travail</li> <li>- Respect des normes internationales d'émissions sonores ;</li> <li>- Entretien régulier des équipements</li> </ul>

### V.3. Etude d'avant métré et estimation du coût du projet

Ce chapitre a pour but de donner une estimation globale des quantités des matériaux, les matérielles de leurs mise en œuvre ainsi que tout élément rentrant dans la réalisation du projet.

Cette phase est très importante pour la recherche d'investissement du projet

#### V.3.1. Avant métré

L'avant métré permet de donner les quantités de l'ensemble des éléments rentrant dans la réalisation du projet.

Les étapes de la réalisation du devis est donnée par ordre chronologique des taches d'exécution suivante :

*Tableau 25: postes des travaux*

Poste 000	Installation de chantier
Poste 100	Travaux préparatoire de terrain
Poste 200	Terrassement
Poste 300	Chaussée
Poste 400	Revêtement
Poste 500	Assainissement
Poste 600	Sécurité et signalisation
Poste 700	Environnementale et Aménagements connexes

#### **1. Installation de chantier**

Elle comprend l'ensemble des travaux d'installation et de repli du chantier ainsi que l'aménagement des aires de stationnements des engins.

#### **2. Travaux préparatoires**

Elle concerne les travaux tel que le débroussaillage, la démolition des ouvrages existants, l'abattage des arbres ainsi que tout autre travail permettant de préparer l'emprise du projet.

#### **3. Terrassement**

Le terrassement concerne tous les travaux qui consistent à modifier le niveau naturel d'un terrain. Il est compris pour un projet routier l'ensemble des travaux d'opérations des déblais et remblais.

Pour ce projet on a :

- ❖ Remblais : **11513 m<sup>3</sup>**
- ❖ Déblais : **34146 m<sup>3</sup>**

#### 4. chaussée

Pour la chaussée il s'agit essentiellement des travaux de mise en œuvre de la couche de fondation et de base.

Elle s'effectuera par apport à la carrière de graveleux latéritique naturel. La quantité des matériaux nécessaires pour la réalisation du projet sont :

- ❖ couche de fondation : **56775m<sup>3</sup>**
- ❖ Couche de base : **34146 m<sup>3</sup>**

#### 5. Revêtement

Le revêtement concerne tous les travaux qui permettent la mise en œuvre de la couche de roulement.

Il comprend l'imprégnation ou la couche zéro, la mise en œuvre de la couche de bitume (monocouche sur les accotements et bicouche sur la largeur chargeable de la chaussée) ainsi que les granulats. Coût

*Tableau 2628 : Avant métré des matériaux de couche de roulement*

Désignations	Unités	L (m)	l (m)	Surface (m <sup>2</sup> )	Dosage	Quantité
Bitume pour couche d'imprégnation	t	17100	10	171000	1kg/m <sup>2</sup>	171
Bitume pur pour enduits superficiels monocouche	t	17100	10	171000	1,2kg/m <sup>2</sup>	305
Bitume pur pour enduits superficiels bicouche	t	17100	7	119700	1,2kg/m <sup>2</sup>	143
Granulats (10/14) pour trottoirs	m <sup>3</sup>	17100	3	51300	12l/m <sup>2</sup>	616
Granulats (10/14) pour chaussée	m <sup>3</sup>	17100	7	119700	12l/m <sup>2</sup>	1436

Granulats (6/10) pour chaussée	m <sup>3</sup>	17100	7	119700	9l/m <sup>2</sup>	1077
Pavés autobloquants pour trottoirs en traversées d'agglomération	m <sup>2</sup>	2000	3	6000	-	6000

## 6. Assainissement

Cette partie fait le bilan des travaux de construction des ouvrages hydrauliques, l'inventeur des ouvrages existants.

Après l'étude hydrologique et hydraulique, un total de 9 dalots de dimension variée est à construire le long de la chaussée.

L'assainissement comprend également les travaux de mise en œuvre des fossés divergents non revêtue.

L'estimation de prix et quantités de ces éléments sera donnée dans le tableau de devis quantitatif et estimatif du projet à l'annexe du document.

## 7. Sécurité et signalisation

Les éléments de sécurité et de signalisation que comporte le projet se résument comme suit :

*Tableau 2729: Avant métré des équipements utilisés pour la sécurité et signalisation*

Désignations	Unité	Quantité
Panneaux de signalisation de type A	U	18
Panneaux de signalisation de type B, AB	U	21
Panneaux de signalisation de type EB	U	13
Ralentisseur	U	4
Bande de peinture blanche continue ou discontinue d'axe de module T1	ml	3913
Bande de peinture blanche discontinue d'axe de rive T2	ml	15790
Candélabres	U	50

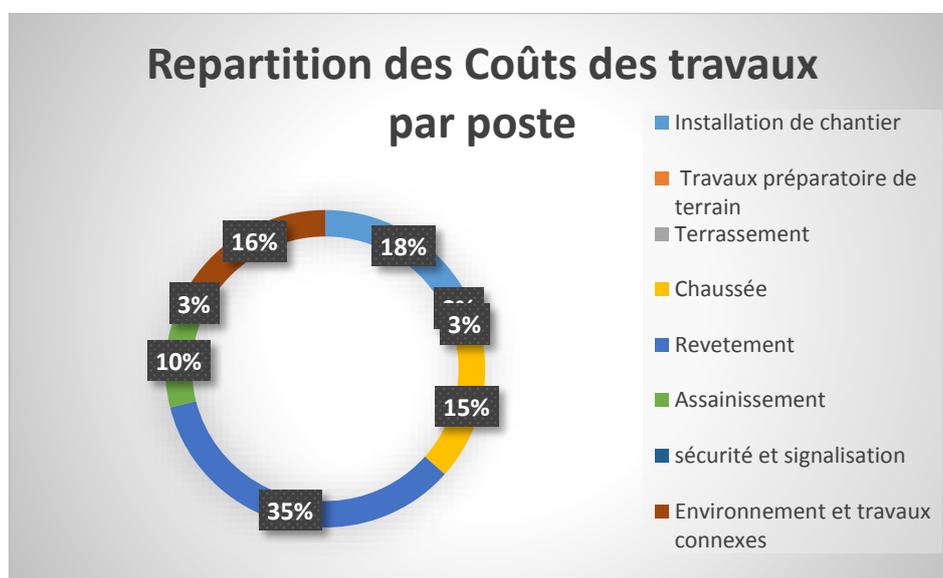
### V.3.2. Estimation des coûts

Le coût global du projet par poste sera donné dans le tableau ci-dessous, cependant le prix unitaire des éléments de chaque poste est détaillé à l'annexe (N°8) dans le tableau de devis estimatif et quantitatif du projet.

Le tableau suivant donne la répartition des coûts par poste des travaux.

*Tableau 2830 : Répartition des coûts par poste des travaux*

N° PRIX	DÉSIGNATION DES TRAVAUX	MONTANT HORS TAXEF CFA)	% HT
* Poste 000	Installation de chantier	880909400	18%
* Poste 100	Dégagement et préparation de terrain	14571800	0.29%
* Poste 200	Terrassement	170724890	3,48%
* Poste 300	Chaussée	722784681	14.77%
* Poste 400	Revêtement	1688497737	34.50%
* Poste 500	assainissement	475654262	9.72%
* Poste 600	Sécurité et signalisation	159608187	3.26%
* Poste 700	Environnement et aménagements connexes	780500000	15.95%
<b>TOTAL GÉNÉRAL EN FRANCS CFA</b>		<b>4893250957</b>	



*Figure 7 : graphique de répartition des coûts*

## Conclusion

---

---

Les différentes études réalisées dans le cadre de ce projet de mémoire: «**l'études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de la bretelle de Dandaji sur un tronçon de 17 Km**» ont pour but de déterminer une structure de chaussée capable de résister au trafic susceptible d'emprunter la route pendant sa durée de vie projeté, tout en respectant les normes de conception géométrique et de sécurité.

Pour ce tronçon, nous avons utilisé les caractéristiques géométriques pour la route R60 en traversée d'agglomération et T100 en rase campagne conformément aux TDR du projet. Ainsi, un profil en travers type de largeur 10 m a été définis ; avec comme épaisseur de la structure de chaussée de 30cm pour la couche de fondation, 20cm pour la base et le revêtement en enduit superficielle bicouche. En ce qui concerne les ouvrages d'assainissement de mise hors de la chaussée, trois type de dalot ont été adopté à l'issue des études hydrologiques et hydrauliques dont quatre (4) de dimensions 1x1x1 m, trois (3) de dimensions 1x3x1.50 m et deux (2) de dimensions 2x3x1.50 m.

L'étude d'impact environnementale et sociale a permis également de prendre des mesures d'atténuation et/ou de bonification pour lutter contre les impacts négatifs liés à la réalisation de ce projet

Le coût estimatif de l'ouvrage s'élève à un montant hors taxes de **4.893.250.957FCFA**.

Ces différentes études techniques ont donc été menées afin que la route assure pleinement sa fonction. Cependant une infrastructure en génie civil ne peut assurer toute sa fonctionnalité ni garantir sa pérennité sans entretiens, la sensibilisation de la population doit être alors faite pour une bonne exploitation de la route et un entretien courant pour qu'elle puisse atteindre ses objectifs.

Ce projet de fin d'étude a été très enrichissant, en ce sens, il nous a permis en plus de mettre nos connaissances en pratique, de se soumettre aux exigences et pressions liés au monde travail.

## BIBLIOGRAPHIE

---

---

- ✓ CEBTP – MRECD - Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux Mise à jour, 1984 ;
- ✓ Dr. Angelbert BIAOU, Cours hydraulique routière - Institut internationale de l'ingénierie de l'eau et de l'environnement ;
- ✓ Fascicule 62 titre Ier - section I du C.C.T.P ;
- ✓ FAO, Crues et apports : manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche, 1996, 265p ;
- ✓ LCPC – SETRA, Conception et dimensionnement des structures de chaussée (Guide Technique), Décembre 1994 ;
- ✓ M. Issoufou TAMBOURA, Cours de pont et ouvrage d'art, Cours de ROUTES I & II, Institut internationale de l'ingénierie de l'eau et de l'environnement ;
- ✓ Pr. Adamah MESSAN, Béton Armé 1,2&3, Cours d'Ouvrages d'Art, Institut internationale de l'ingénierie de l'eau et de l'environnement
- ✓ **ORSTOM/CIEH, Crues et apports**, Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche, Mars 1998

## Annexes

ANNEXES 1: Vérification et dimensionnement Alizé.....	<u>Erreur ! Signet non défini.</u> <del>xii</del>
ANNEXES 2: Signalisations.....	<u>Erreur ! Signet non défini.</u> <del>xiii</del>
ANNEXES 3: Tracé combiné.....	<u>Erreur ! Signet non défini.</u> <del>xv</del>
ANNEXES 4: Note de calcul pluie annuelle.....	<u>Erreur ! Signet non défini.</u> <del>xvi</del>
ANNEXES 5: Courbes CIEH ET Tb.....	<u>Erreur ! Signet non défini.</u> <del>xix</del>
ANNEXES 6: Note de calcul pour le dimensionnement des dalots.....	<del>xxix</del> <del>xxviii</del>
ANNEXES 7: Plans de ferrailage des dalots.....	<u>Erreur ! Signet non défini.</u> <del>lx</del>
ANNEXES 8: Devis quantitatifs et estimatifs du projet.....	<u>Erreur ! Signet non défini.</u> <del>lv</del>

## Annexe 1 : Vérification et dimensionnement Alizé

### Contrainte admissible et déformations admissible

Alizé-Lcpc - Calcul des valeurs admissibles

**Trafic PL cumulé : données**

Moyenne journalière annuelle (MJA) : 53

Taux accroissement géométrique (%): 5

Taux accroissement arithmétique (%): 6,88

Durée de service (années): 20

Trafic cumulé PL : 6,3966E+5

Cocher au plus 3 cases

**Aide**

CAM : Guide lcpc-sétra 94

CAM : Catalogue 1998

Risques : Guide lcpc-sétra 94

Risques : Catalogue 1998

Structures catalogue 98

**Valeurs admissibles : données**

matériau type : gnt et sol (sol trafic faible)

coefficient CAM : 1,10

trafic cumulé NE : 7,0363E+5

Coefficient A : 16000

pente b : -0,222

Calculer EpsiZ admissible

Calcul inverse NE = f(EpsiZ)

Bibliothèque des matériaux Imprimer Enregistrer

Pour modifier les valeurs standard : cliquer sur "gnt et sol"

EpsilonZ admissible = 805,4 µdéf

Mémo ...

1-EpsiZ= 805,4

effacer=dbl click

Fermer

Alizé-Lcpc - Résultats (Structure : données écran, Charge de référence)

variante 1 : Durée=00:00sec

épais. (m)	module (MPa)	coef. Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdéf)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdéf)	SigmaZ (MPa)
0,200	400,0	0,350	0,000	-147,1	0,028	434,5	0,657
collé			0,200	-449,2	-0,137	731,9	0,213
0,300	187,5	0,350	0,200	-449,2	-0,005	1108,3	0,213
collé			0,500	-325,6	-0,057	488,9	0,057
infini	75,0	0,350	0,500	-325,6	-0,004	771,0	0,057

Grandes affichées

tableau 1 tableau 2

tableau 3 tableau 4

tableau 5 tableau 6

tableau 7 tableau 8

Déflexion = 77,2 mm/100

entre-jumelage

Rdc = 86,6 m

Imprimer Enregistrer

Voir Chargt. Fermer

effacer=dbl click

Pour imprimer les données des calculs de valeurs admissibles à la suite des résultats des calculs mécaniques: cocher les cases correspondantes dans la liste ci-dessus.

## Annexe 2 : Signalisation

Panneau	Type	Utilisation	Nombre
	A1a	Virage à droite	10
	A1b	Virage à gauche	5
	A2b	Ralentisseur de type dos-d'âne	3

**ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE BUTUMAGE DE LA BRETELLE DE  
DANAJI AU NIGER SUR UN TRONÇON DE DANAJI 17 KM**

	A15a1	Passage d'animaux domestiques	2
	AB3a	Cédez le passage à l'intersection	1
	AB4	Arrêt à l'intersection	3
	B14	Limitation de vitesse	2
	B33	Fin de limitation de vitesse	2
	EB10	Panneau d'entrée d'une Agglomération	3
	EB20	Panneau de sortie d'une agglomération	3

Annexe 3 : Tracé combiné

---

---

## Annexe 4 : Note de calcul pluie annuelle

### Données pluviométriques de la zone du projet

Pour le projet les données pluviométriques de la zone sont ceux de la station d'Illela. Les données trouvées sont réparties pour une période allant de 1985 à 2014 soit 30 ans. Ainsi pour la caractérisation de l'échantillon nous allons faire appel à l'analyse fréquentielle et ses différentes lois pour déterminer la pluie de retour de 10 ans et de 100 ans.

### Analyse fréquentielle

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

Elle utilise deux lois, la loi de Gausse et de Gumble

Nous utiliserons la loi de Gumble pour cette étude hydrologique.

### La loi de Gumble

La loi de Gumble à pour paramètre principales :  $X_0$  (paramètre de position) et  $a$  (paramètre d'échelle).

### Probabilité au dépassement et au non dépassement

Pour une période de retour de 10 ans et 100 ans on a :

- P : Probabilité au dépassement  $P = \frac{1}{t}$
- F : Probabilité au non dépassement  $F = 1 - P$
- T : temps de retour

Période de retour	10 ans	100 ans
P	0,1	0,01
T	0,9	0,99

### Détermination des fréquences expérimentales F(x) et variables réduites U

$F(x) = r - 0,5$  avec r : rang total

$U_p = -\ln(-\ln(F(x)))$

Moyenne $\bar{x}$	58,65
Ecartype $\sigma$	17,42
$1/a = 0,78^* \sigma$	13,59
$X_0 = \bar{x} - (0,577/a)$	50,41

Années	Pluie maximum journalière	classement	rang ( r )	F(x)	U
1985	36,1	26,2	1	0,017	1,410
1986	73,4	32,1	2	0,050	1,097
1987	61,2	34,6	3	0,083	0,910
1988	48,3	36,1	4	0,117	0,765
1989	40,9	40,9	5	0,150	0,640
1990	52,4	44,7	6	0,183	0,529
1991	81,7	47	7	0,217	0,425
1992	34,6	48,3	8	0,250	0,327
1993	32,1	50	9	0,283	0,232
1994	62,2	52,4	10	0,317	0,140
1995	26,2	54	11	0,350	0,049
1996	54	54,5	12	0,383	-0,042
1997	67	59,5	13	0,417	-0,133
1998	67	61	14	0,450	-0,225
1999	71	61,2	15	0,483	-0,319
2000	44,7	62,2	16	0,517	-0,415
2001	73,7	67	17	0,550	-0,514
2002	79,2	71	18	0,583	-0,618
2003	78,2	73,4	19	0,617	-0,727
2004	50	73,7	20	0,650	-0,842
2005	61	78,2	21	0,683	-0,966
2006	59,5	79,2	22	0,717	-1,099
2007	104	81,7	23	0,750	-1,246
2008	54,5	104	24	0,783	-1,410
2009	47	42,5	25	0,817	-1,597
2010	51,5	51,5	26	0,850	-1,817
2011	85,5	65	27	0,883	-2,087
2012	42,5	67	28	0,917	-2,442
2013	65	82	29	0,950	-2,970
2014	82	85,5	30	0,983	-4,086

### Détermination des intervalles de confiance

Pour la détermination de l'intervalle de confiance nous prenons une valeur de  $\alpha = 98\%$

$$Ic(Xp) = Xp \pm \frac{U_{1-\alpha}}{2} \times \frac{\Delta}{\sqrt{n-1}} \times \sqrt{1 + 1.4k + 1.1k^2}$$

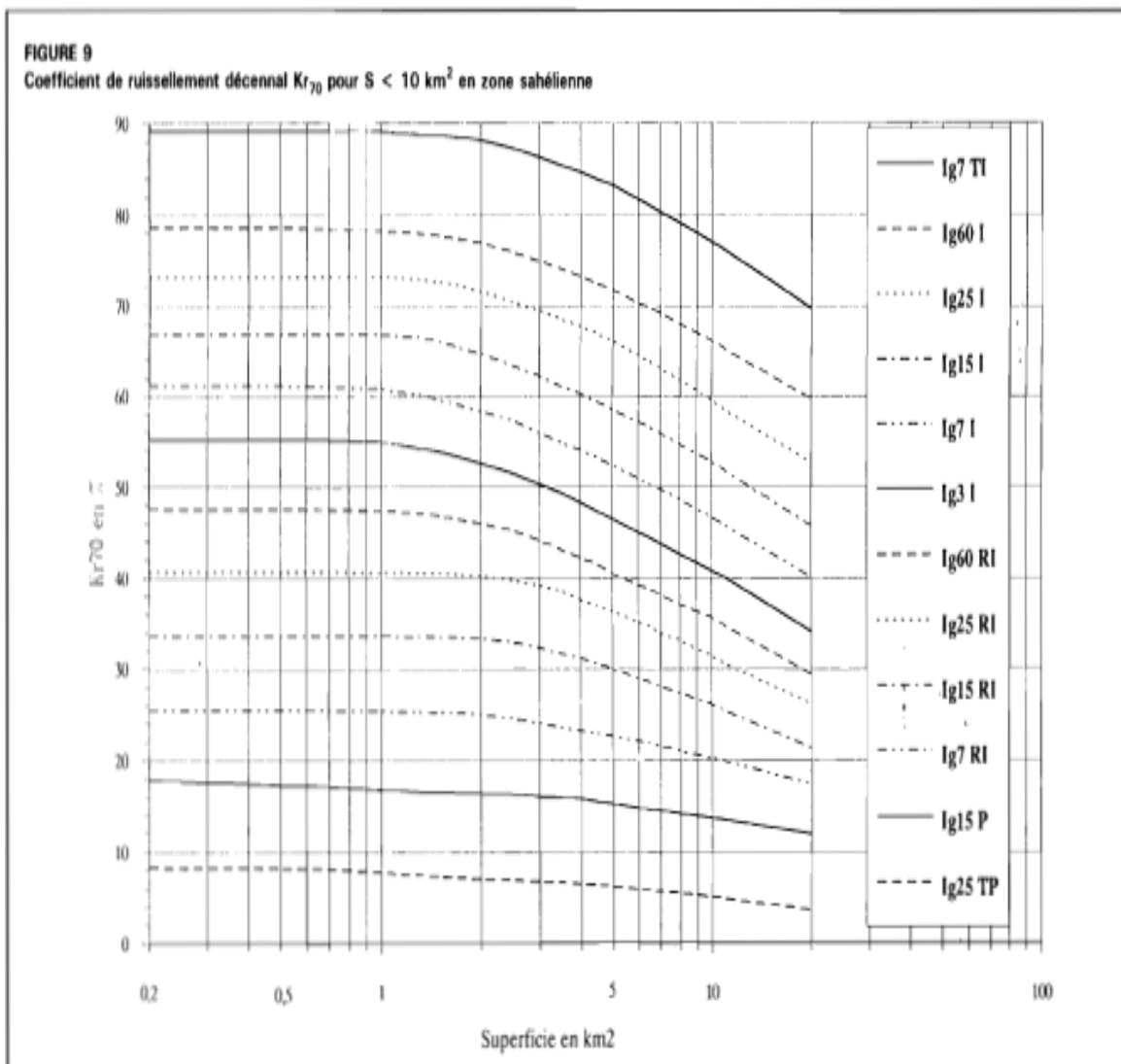
Avec  $k = 0.78(U_p - 0.577)$

$$\frac{U_{1-\alpha}}{2} = U_{0.01} = -2.33$$

$$Xp = \frac{Up}{a} + X0$$

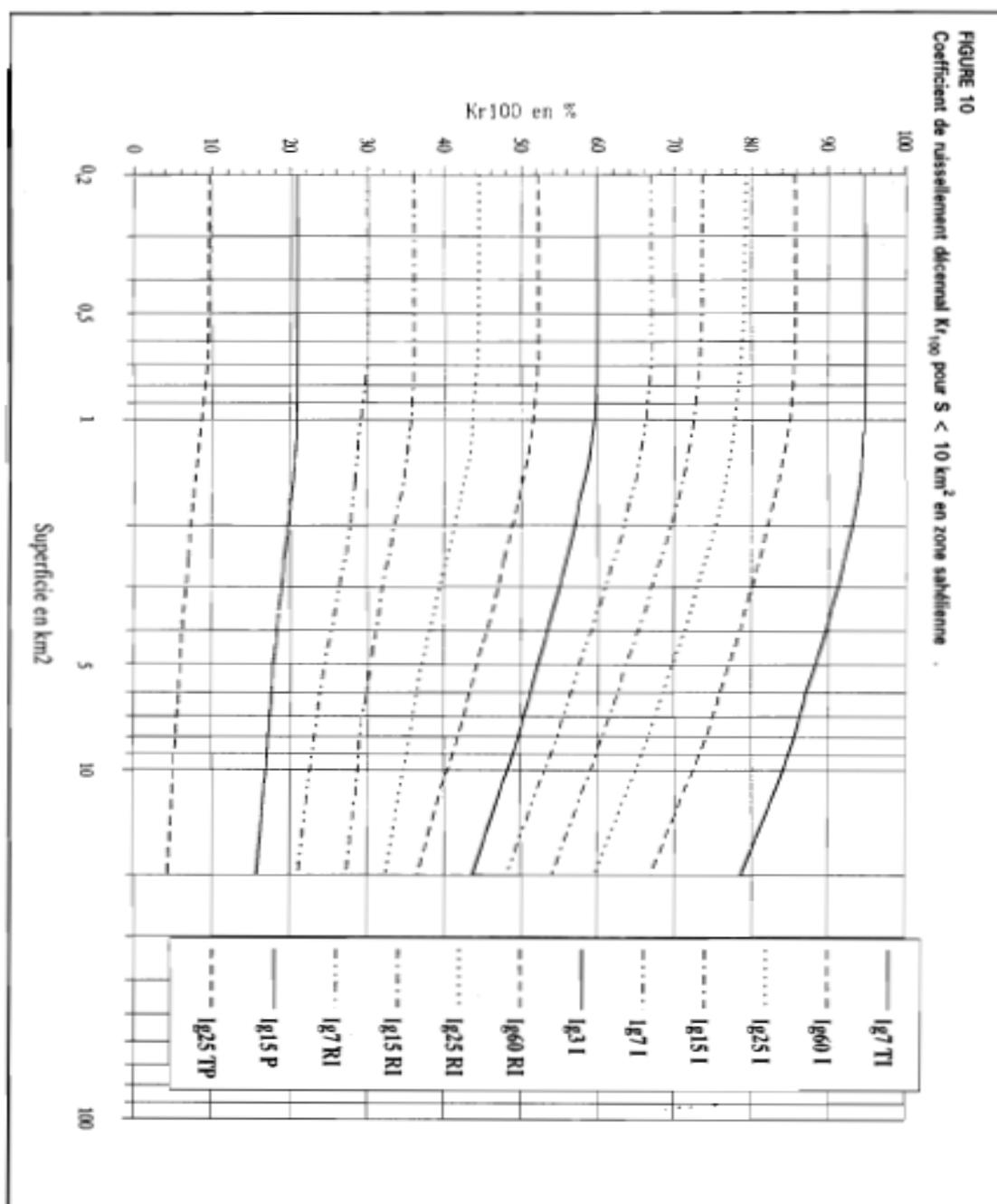
F	Up	xp	s/√N-1	k	B=1+1,4K+1,1K <sup>2</sup>	Racine B	Borne sup	Borne Infe
0,1	0,117	52	3,23481	-0,36	0,63929118	0,7995569	55,6468777	48,3531823
0,9	-2,442	83,5832	3,23481	-2,35	3,80294696	1,9501146	92,4778305	83,58319
0,01	0,91	62,7769	3,23481	0,26	1,43784735	1,1991027	68,2461107	57,3076893
0,99	-4,2	107,488	3,23481	-3,73	11,0553914	3,3249649	122,653451	92,3225491

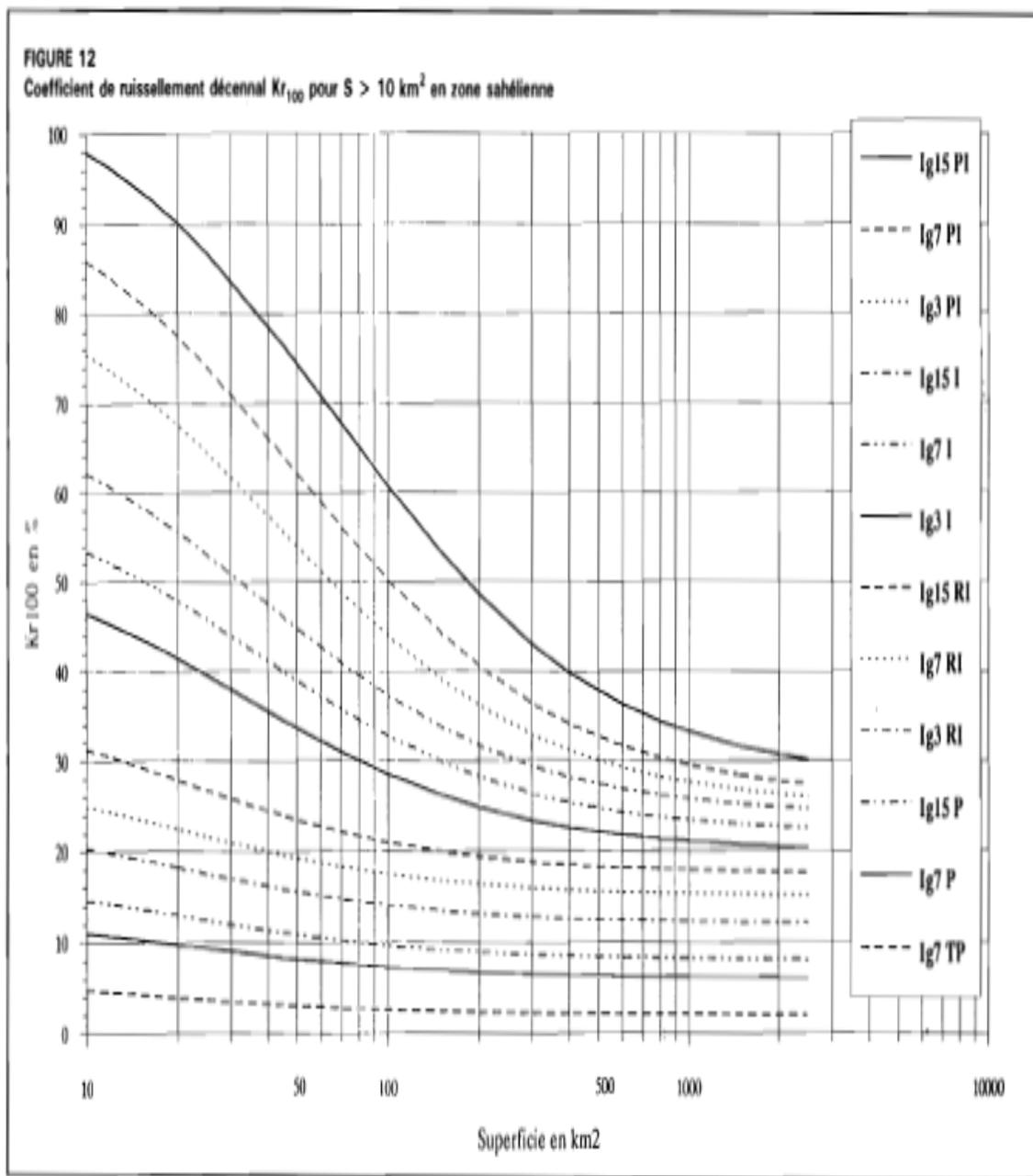
Annexe 5 : Courbes CIEH ET Tb

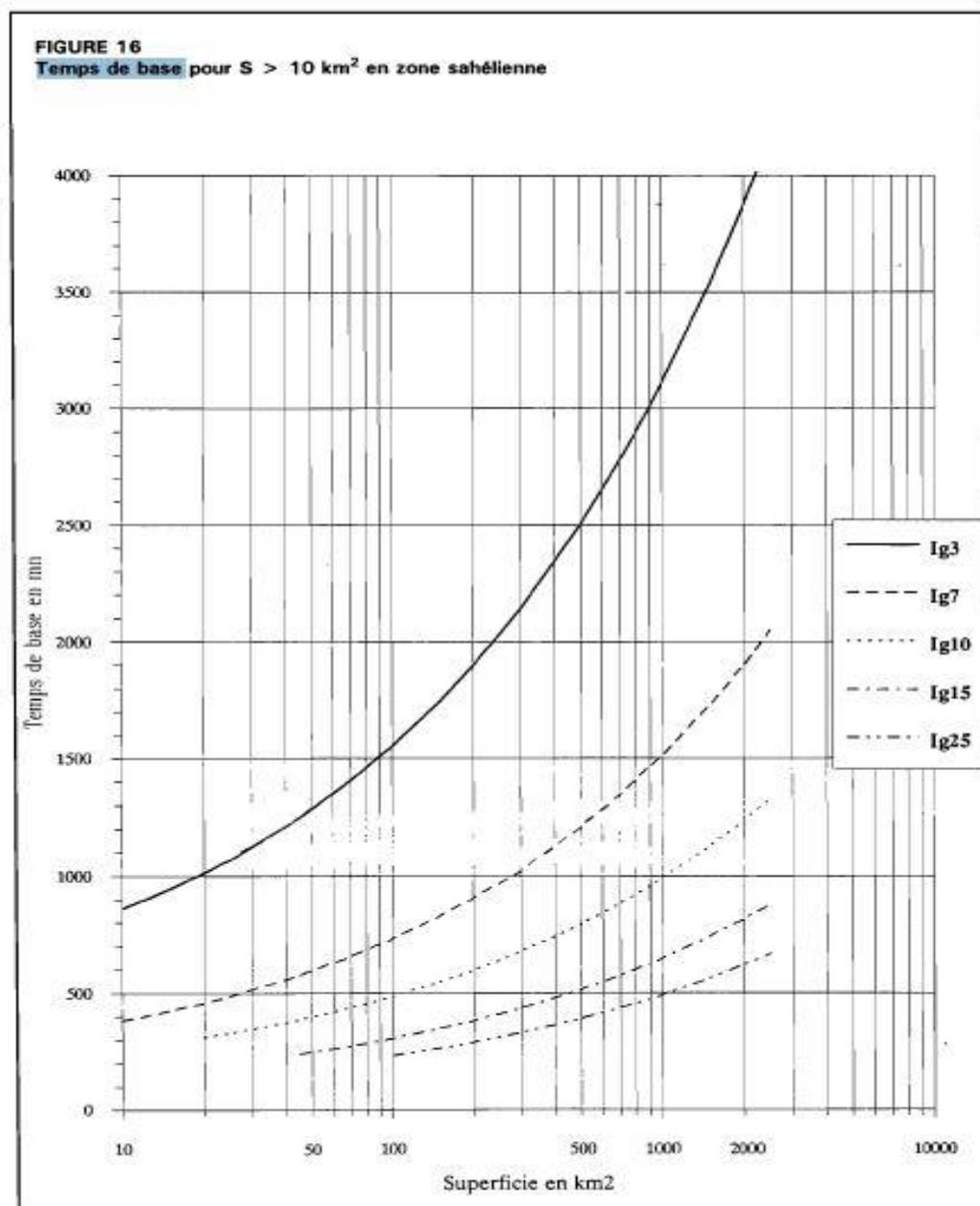


Courbes et appoints

37







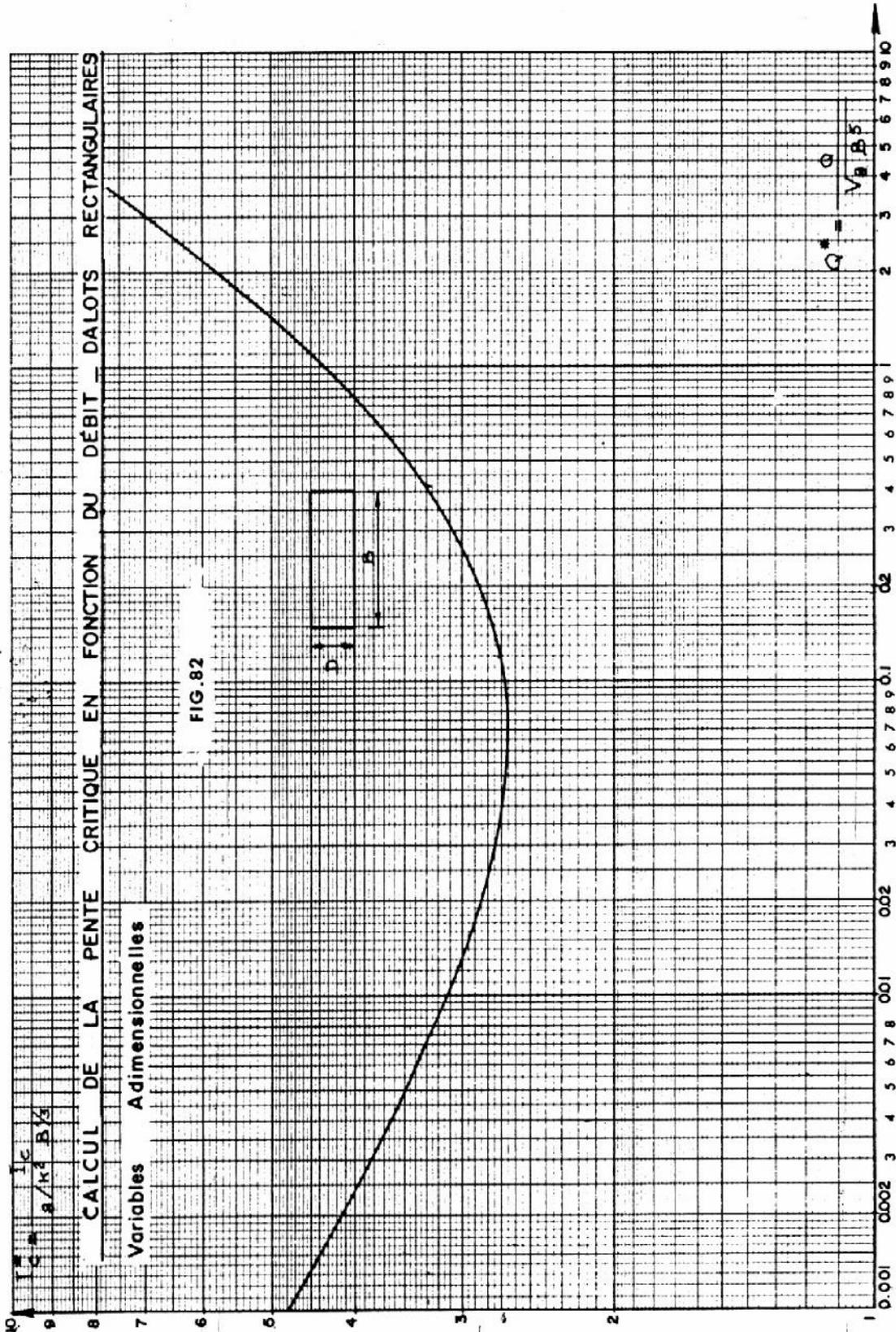


Fig. 82. Calcul de la pente critique en fonction du débit. Dalots rectangulaires.

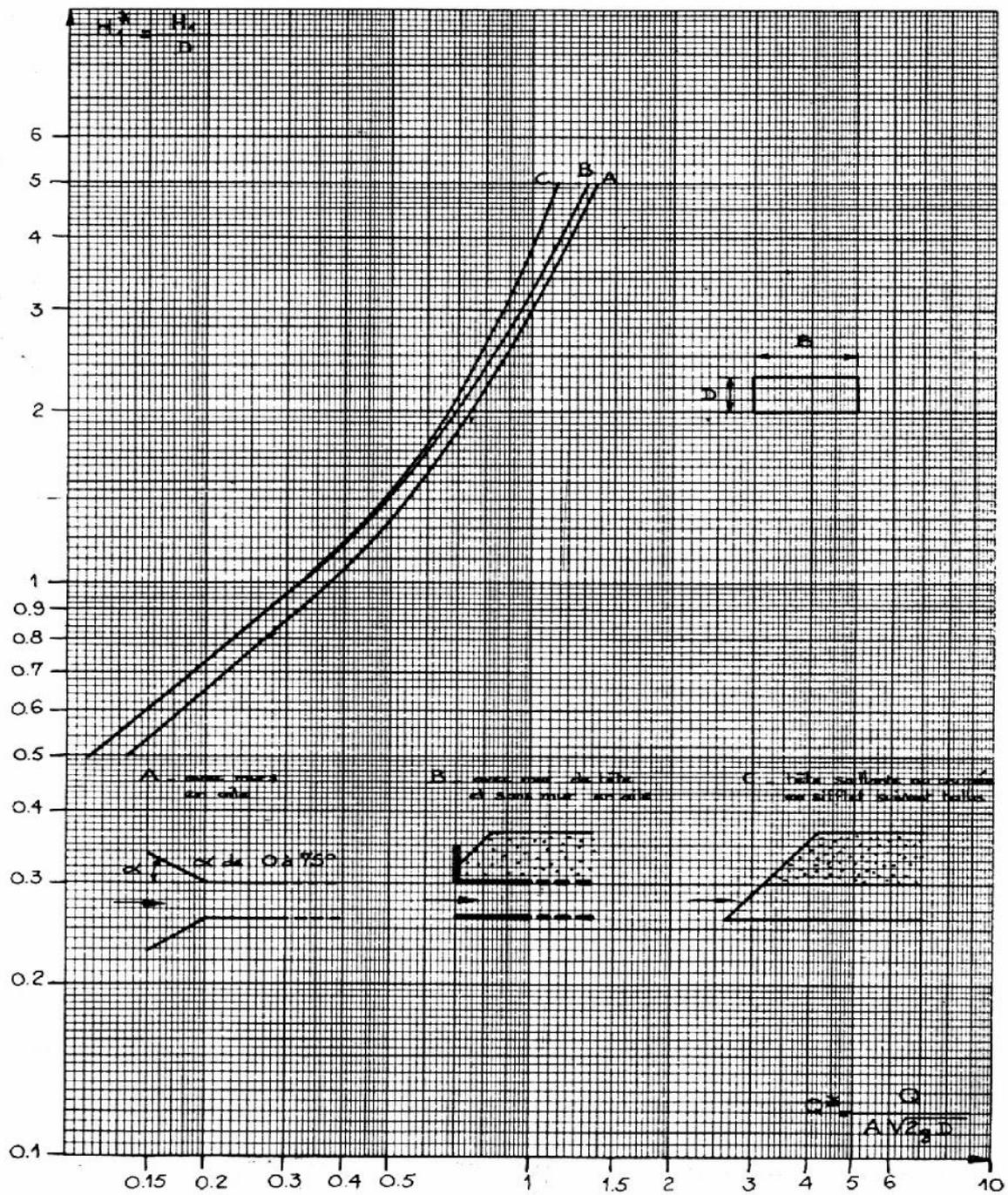


Fig. 77. Sortie libre. Dalots rectangulaires.

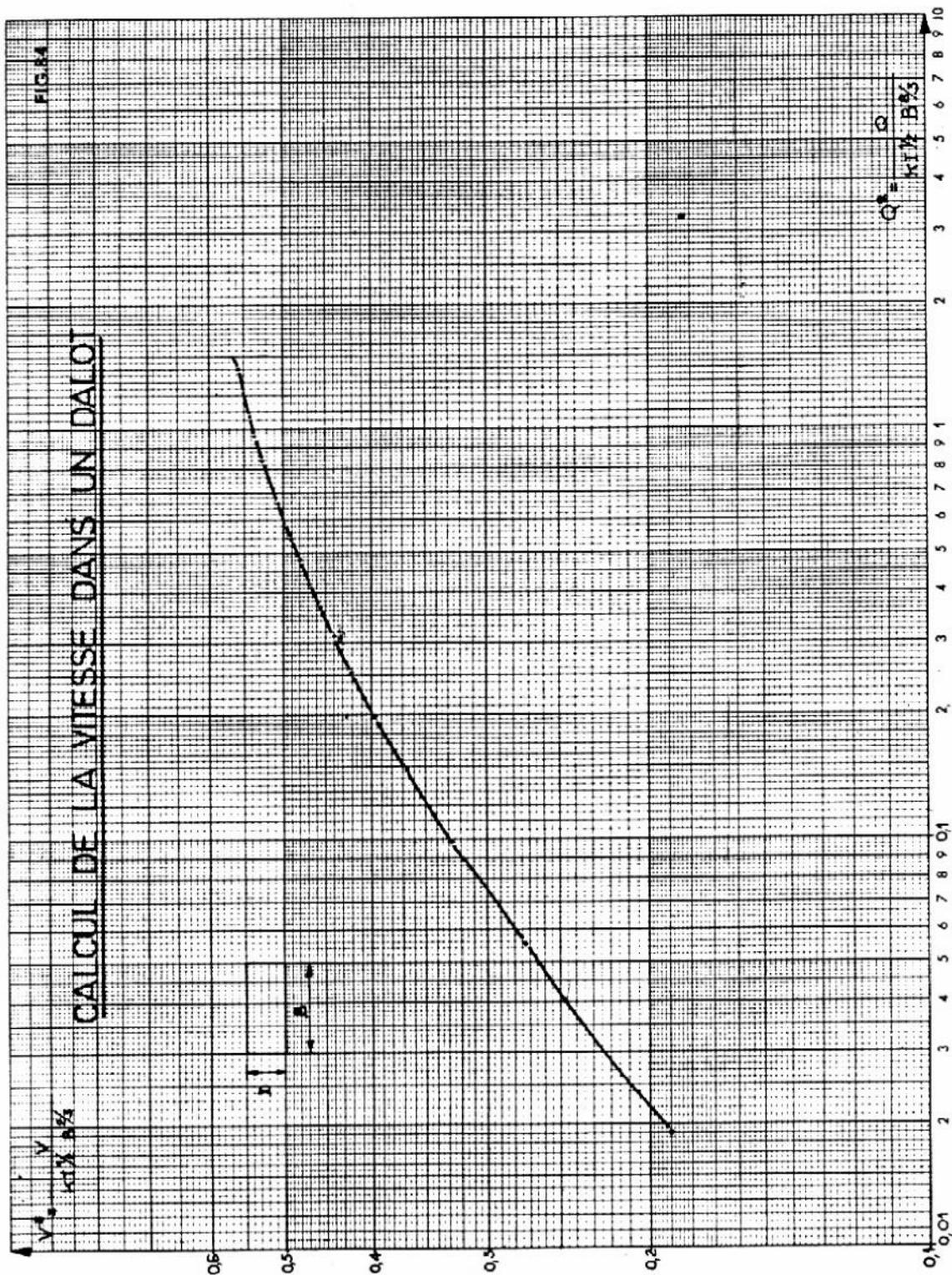


Fig. 84. Calcul de la vitesse dans un dalot.

## Annexe N°6 Note de calcul pour le dimensionnement des dalots

Principe de calcul :

### Règlements :

- ✓ Les armatures seront calculées suivant les règles de conception et de calcul des ouvrages par la méthode B.A.E.L 91 modifié 99.
- ✓ Les structures routières seront définies conformément aux prescriptions du titre du fascicule 61 du cahier de prescription communes (C.P.C)
- ✓ Les valeurs des efforts et sollicitations M (moment) et N (effort normal) sont calculées suivant la méthode de KLEINLOGEL pour les dalots à une ouverture et la méthode des trois moments pour les dalots à plusieurs ouvertures
- ✓ Le calcul des armatures se fera par bande de 1.00 de largeur.
- ✓ Caractéristique des matériaux :

### Béton :

- Dosage : 350kg/m<sup>3</sup>
- Résistance caractéristique du béton en compression :  $f_{c28} = 30\text{MPa}$
- Résistance caractéristique du béton en traction :  $f_{t28} = 0,6 + 0,06f_{c28} = 2,4\text{ MPa}$
- Coefficient de sécurité :  $\gamma_b = 1.50$
- Diamètre de plus gros granulat :  $\phi = 25\text{mm}$
- Contrainte admissible à l'ELS :  $\tilde{\sigma}_{bc} = 0,6 \times f_{c28} = 18\text{ MPa}$
- Contrainte admissible à l'ELU :  $\sigma_{bc} = \frac{0,85f_{c28}}{\gamma_b} = \frac{0,85 \times 30}{1,5} = 17\text{ MPa}$

### Acier :

- Nuance : Acier haute adhérence (HA) Fe E400
- Limite d'élasticité :  $f_e = 400\text{ Mpa}$
- Contrainte de calcul acier :  $\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_b} = \frac{400}{1,15} = 347,8 \cong 348\text{ Mpa}$
- Fissuration préjudiciable :  $\tilde{\sigma}_s = \min \left\{ \frac{2}{3f_e}; \max(0,5f_e; 110\sqrt{n \times f_{t28}}) \right\} = 215,55\text{ MPa}$   
avec  $n = 1,6$

### Données géotechniques :

- Masse volumique du remblai :  $\gamma = 20\text{kN/m}^3$
- Angle de frottement interne du sol :  $\phi = 30^\circ$
- Coefficient de poussée :  $K_a = 0,33$

### Caractéristiques de la chaussée :

- Largeur roulable :  $L_r = 10\text{ m}$
- Largeur chargeable :  $L_c = 7\text{ m}$  (Classe 1)
- Nombre de voies :  $n_v = \text{entier}[L_c/3] = 2,33$        $n_v = 2$
- Largeur voie :  $V = L_c/n_v = 3,5\text{ m}$

- Coefficient  $a_2 = V_0/V = 1$  avec  $V_0 = 3,5$  (classe 1)
- Epaisseur dalot :  $e_d = 0,2$  m

### Dalot de type I: 1 × 1 × 1

- Epaisseur remblais :  $e_r = 0,20$  m
- Poids volumique béton :  $\gamma = 25$  kN/m<sup>3</sup>
- Charge dû aux surcharges routières :  $q = 10$  kN/m<sup>2</sup>

## 1. Evaluation des charges

### 1.1 Charges permanentes

✚ Au niveau du tablier :  $P_1 = G_{\text{tablier}} + G_{\text{remblai}}$

$$G_{\text{tablier}} = 25 \times 0,2 \times 1 = 5 \text{ kN/ml}$$

$$G_{\text{remblai}} = 20 \times 0,20 \times 1 = 4 \text{ kN/ml}$$

$$G_{\text{couche roulement}} = 24 \times 0,04 = 0,96 \text{ kN/ml}$$

$$P_1 = 9,96 \text{ kN/ml}$$

✚ Au niveau du radier :  $P_2 = P_1 + G_{\text{radier}} + G_{\text{piedroit}}$

$$G_{\text{radier}} = 25 \times 0,2 \times 1 = 5 \text{ kN/ml}$$

$$G_{\text{piedroit}} = 2 \times 25 \times 0,2 \times \frac{1}{1,4} = 7,14 \text{ kN/ml}$$

$$P_2 = 22,10 \text{ kN/ml}$$

### 1.2 Charges d'exploitations

Les charges d'exploitations concernent les surcharges routières, on considère pour le dimensionnement le maximum de trois systèmes de charge : le système A et le système B.

- Le système Bc composé de camions types
- Le système Bc-niger
- Le système Bt composé de groupes de 2 essieux

#### 2.1.1 Système A

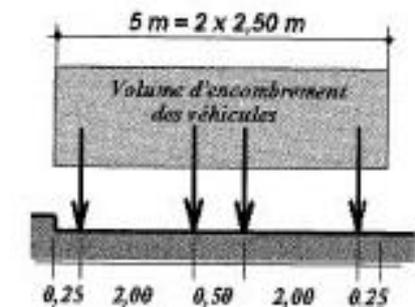
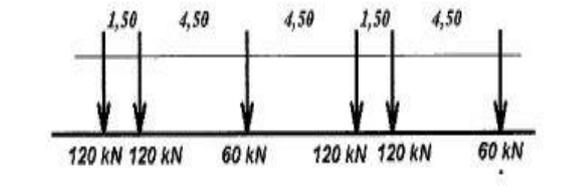
$$A(l) = a_1 \times a_2 \times \max[A_1(l); (4 - 0,002 \times L)] \quad \text{avec } L = 7 \text{ m}$$

$$A_1(l) = 2,3 + \frac{360}{7 + 12} = 21,54 \text{ kN/m}^2$$
$$(4 - 0,002 \times L) = 4 \text{ kN/m}^2$$
$$A(l) = 21,54 \text{ kN/m}^2$$

#### 2.1.2 Système B

##### ➤ Système Bc

Pour ce système on dispose de deux camions transversalement et de deux essieux longitudinalement.



Calcul de coefficient de majoration :

$$\delta Bc = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + \frac{4G}{S}}$$

En fonction de la largeur roulable et de nombre de voie (2 voies) nous disposons d'un pont de classe I donc le coefficient du système Bc = 1.10

On a :

$$S = 1.10 \times Bc = 1.10 \times 24 \times 2 = 52.80 \text{ t} = \mathbf{528 \text{ KN}}$$

$$\delta Bc = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + \frac{4G}{S}}$$

$L = \max[L_c; \text{portée de travé du dalot}] = 7 \text{ m}$ ,

$$\delta Bc = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 * 7} + \frac{0.6}{1 + \frac{4 * 19.96}{528}}$$

$$\delta Bc = 1.68$$

#### ➤ Système Bc-Niger

$$S = 1.10 \times Bc = 1.10 \times 26 \times 2 = 57.2 \text{ t} = \mathbf{5720 \text{ KN}}$$

$$\delta Bc_{Niger} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 * 7} + \frac{0.6}{1 + \frac{4 * 19.96}{5720}}$$

$$\delta B_{C_{Niger}} = 1.69$$

➤ Système Bt

On dispose sur une travée de deux essieux de 16t, le pont est de classe une et a une chaussée à deux voies donc le coefficient  $B_t = 1$

$$S = 1 \times B_c = 1 \times 32 \times 2 = 64t = \mathbf{640KN}$$

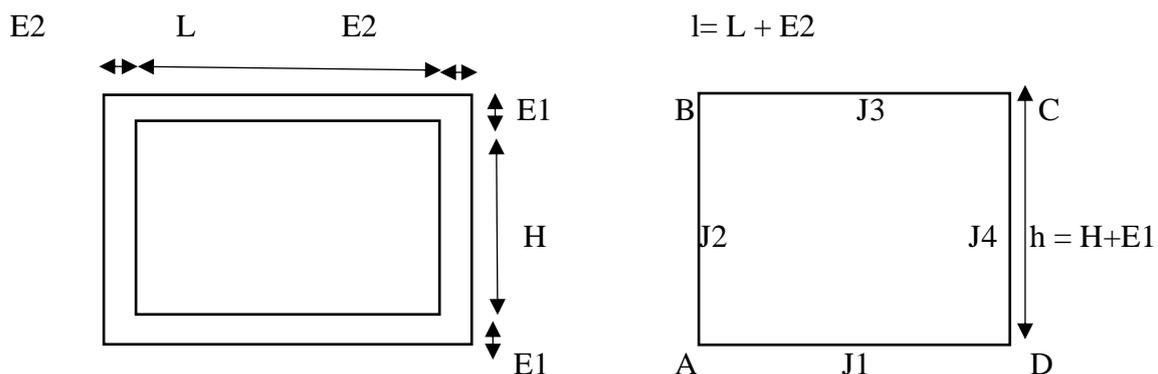
$$\delta B_{C_{Niger}} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 * 7} + \frac{0.6}{1 + \frac{4 * 19.96}{640}}$$

$$\delta B_t = 1.70$$

$$\delta = \max [1,68 ; 1.69 ; 1.70] ; \quad \delta = \mathbf{1.70}$$

Le convoi des charges  $B_t$  est le plus défavorable

**Schéma statique de l'ouvrage (cadre simple)**



$$h = 1,20 \text{ m} ; l = 1,20 \text{ m}$$

$$J_i = \frac{b_i \times E_i}{12}$$

$b_i$  : inertie de l'élément i  $b_i = 1 \text{ m}$  ;  $E_i$  : épaisseur de l'élément i  $E_1 = E_2 = 0,2 \text{ m}$

$$J_1 = J_2 = J_3 = J_4$$

$$k_1 = \frac{J_1}{J_3} = 1$$

$$K_1 = 2 \times K_2 + 3$$

$$k_2 = \frac{J_3}{J_2} \times \frac{h}{l} = 1 \times \frac{1,2}{1,20} = 1$$

$$K_1 = 2 \times K_2 + 3 = 5$$

$$K_2 = 3 \times \frac{J_3}{J_1} + 2 \times K_2 = 3 \times 1 + 2 \times 1 = 5$$

$$K_3 = 3 \times K_2 + 1 - \frac{1}{5} = 3 \times 1 + 1 - \frac{1}{5} = 3.80$$

$$K_4 = 6 \times \frac{K_1}{5} + 3 \times K_2 = 6 \times \frac{1}{5} + 3 \times 1 = 4.20$$

$$F_1 = K_1 \times K_2 - K_2^2 = 5 \times 5 - 1^2 = 24$$

$$F_2 = 1 + K_1 + 6 \times K_2 = 1 + 1 + 6 \times 1 = 8$$

## 2. Efforts et sollicitations

### 1.1 Sous l'action du poids P1 du tablier

→ **Calcul des inconnues hyperstatique**

$$M_A = -\frac{P_1 \times l^2 \times (k_1 \times k_1 - k_2)}{4 \times F_1} = -\frac{9.96 \times 1.20^2 \times (1 \times 5 - 1)}{4 \times 24}$$

$$M_A = -0.59$$

$$M_B = -\frac{P_1 \times l^2 \times (k_1 \times k_1 - k_2)}{4 \times F_1} = -\frac{9.96 \times 1.20^2 \times (1 \times 5 - 1)}{4 \times 24}$$

$$M_B = -0.59$$

$$M_C = M_B = -0.59 \text{ kN.m/ml}$$

$$M_D = M_A = -0.59 \text{ kN.m/ml}$$

→ **Calcul des efforts normaux**

$$N_1 = \frac{M_B - M_A}{h} - \frac{M_D - M_A}{l} = 0$$

$$N_2 = \frac{P_1 \times l}{2} + \frac{M_A - M_B}{h} + \frac{M_C - M_B}{l} = \frac{9.96 \times 1,2}{2} = 5.97 \text{ kN}$$

$$N_{2b} = \frac{P_1 \times l}{2} + \frac{M_B - M_C}{l} + \frac{M_D - M_C}{h} = \frac{9.96 \times 1,2}{2} = 5.97 \text{ kN}$$

$$N_3 = \frac{M_C - M_B}{l} - \frac{M_A - M_B}{h} = 0$$

→ **Calcul des moments à mi- portée**

$$M_{BC} = \frac{P_1 \times l^2}{8} + \frac{M_B + M_C}{2} = \frac{9.96 \times 1,2^2}{8} - \frac{0.59 + 0,59}{2} = 1,20 \text{ kN.m/ml}$$

$$M_{AD} = \frac{P_1 \times l^2}{8} + \frac{M_A + M_D}{2} = \frac{9.96 \times 1,2^2}{8} - \frac{0.59 + 0,59}{2} = 1,20 \text{ kN.m/ml}$$

$$M_{AB} = \frac{M_B + M_A}{2} = -\frac{0.59 + 0,59}{2} = -0.59 \text{ kN.m/ml}$$

$$M_{CD} = \frac{M_C + M_D}{2} = -\frac{0.59 + 0,59}{2} = -0.59 \text{ kN.m/ml}$$

## 1.2 Sous l'action du poids mords de pieds droits

$$P = 25 \times 0,2 \times 1,2 \times 1 = 6 \text{ kN}$$

$$R_s = 2 \times \frac{6}{1,4} = 8,57 \text{ kN/ml}$$

→ Calcul des moments hyperstatiques

$$M_A = M_D = -\frac{P \times l (k_1 \times K_2)}{4 \times F_1} = -\frac{6 \times 1,20(1 \times 5)}{4 \times 24} = -0,375 \text{ KN/ml}$$

$$M_A = M_D = -0,375 \text{ KN/ml}$$

$$M_C = M_B = -\frac{P \times l (k_1 \times k_2)}{4 \times F_1} = -\frac{6 \times 1,20(1 \times 1)}{4 \times 24} = -0,075 \text{ KN/ml}$$

$$M_B = M_C = -0,075 \text{ KN/ml}$$

→ Calcul des efforts normaux:

$$N_1 = -\frac{3 \times P \times l \times k_1 \times (1 + k_2)}{2 \times h \times F_1} = -\frac{3 \times 6 \times 1,2 \times 1 \times (1 \times 1)}{2 \times 1,2 \times 24} = -0,375 \text{ kN}$$

$$N_2 = N_{2b} = P = 6 \text{ kN}$$

$$N_3 = -N_1 = -0,375 \text{ kN}$$

→ Détermination des moments à mi- portée :

$$M_{BC} = \frac{M_B + M_C}{2} = \frac{0,075 + 0,075}{2} = 0,075 \text{ kN.m/ml}$$

$$M_{AD} = \frac{R_s \times l^2}{8} + \frac{M_A + M_D}{2} = \frac{8,57 \times 1,2^2}{8} - \frac{0,375 + 0,375}{2} = 1,17 \text{ kN.m/ml}$$

$$M_{AB} = \frac{M_B + M_A}{2} = -\frac{0,375 - 0,375}{2} = -0,375 \text{ kN.m/ml}$$

$$M_{CD} = \frac{M_C + M_D}{2} = -\frac{0,075 - 0,375}{2} = -0,45 \text{ kN.m/ml}$$

## 1.3 Sous l'action de la poussée de terre

$$\sigma_1 = K_a \times \gamma \times \frac{h_1}{2} = 0,333 \times 20 \times \frac{1,2}{2} = 3,96 \text{ KN/m}^2$$

$$\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1$$

$$\sigma_2 = 0,333 \times 20 \times (1,4) = 9,24 \text{ KN/m}^2$$

$$\Delta\sigma \text{ est égal alors à } = 9,366 - 3,96 = 5,40 \text{ KN/m}^2$$

→ **Moment aux appuis**

$$M_A = M_D = -\frac{k_2 \times (k_2 + 3) \times \sigma_1 \times h^2}{4 \times F_1} - \frac{k_2 \times (3 \times k_2 + 8) \times \Delta\sigma \times h^2}{20 \times F_1}$$

$$M_A = M_D = -\frac{1 \times (1 + 3) \times 3.96 \times 1.4^2}{4 \times 24} - \frac{1 \times (3 \times 1 + 8) \times 5.40 \times 1.4^2}{20 \times 24}$$

**$M_A = M_D = -0.56 \text{ KN.m/ml}$**

$$M_C = M_B = -\frac{k_2 \times (3 \times k_1 + k_2) \times \sigma_1 \times h^2}{4 \times F_1} - \frac{k_2 \times (7 \times k_1 + 2 \times k_2) \times \Delta\sigma \times h^2}{20 \times F_1}$$

$$M_C = M_B = -\frac{1 \times (3 \times 1 + 1) \times 3.9 \times 1.4^2}{4 \times 24} - \frac{1 \times (7 \times 1 + 2 \times 1) \times 5.40 \times 1.40^2}{20 \times 24}$$

**$M_C = M_B = -0.72 \text{ KN.m/ml}$**

→ Calcul des efforts normaux

$$N_1 = -\frac{(\sigma_1 + 2 \times \Delta\sigma) \times h}{6} + \frac{M_B - M_A}{h} + \frac{M_D - M_A}{l}$$

$$N_1 = \frac{(3.96 + 2 \times 5.40) \times 1,2}{6} - \frac{0.72 + 0.56}{1,2} = 1,75 \text{ kN}$$

$N_2 = N_{2b} = 0$

$$N_3 = -\frac{(2 \times \sigma_1 + \Delta\sigma) \times h}{6} - \frac{M_B - M_A}{h} + \frac{M_C - M_D}{l}$$

$N_3 = 3.88 \text{ kN}$

→ Calcul des moments à mi- portée

$$M_{BC} = \frac{M_B + M_C}{2} = -\frac{0.72 + 0.72}{2} = -0.72 \text{ kN.m/ml}$$

$$M_{AD} = \frac{M_A + M_D}{2} = -\frac{0.56 + 0.56}{2} = -0,56 \text{ kN.m/ml}$$

$$M_{AB} = \frac{3.96 \times 1.4^2}{8} + \frac{(5.40) \times 1.4^2}{12} - \frac{0.72 + 0.56}{2} = 1 \text{ kN.m/ml}$$

$M_{CD} = M_{AB} = 1 \text{ kN.m/ml}$

**1.4 Sous l'action de convoi de charge Bt**

→ Calcul des moments hyperstatique

$$M_A = -\frac{Q \times l^2 \times (k_1 \times k_1 - k_2)}{4 \times F_1} = -\frac{71,84 \times 1,4^2 \times (1 \times 5 - 1)}{4 \times 24} = -10,14 \text{ kN.m/ml}$$

$$M_B = -\frac{Q \times l^2 \times (k_2 - k_1 \times k_2)}{4 \times F_1} = -\frac{71,84 \times 1,7^2 \times (4,41 - 1 \times 0,71)}{4 \times 24} = -10,14 \text{ kN.m/ml}$$

$$M_C = M_B = -10,14 \text{ kN. m/ml}$$

$$M_D = M_A = -10,14 \text{ kN. m/ml}$$

→ Calcul des efforts normaux

$$N_1 = N_3 = 0$$

$$N_2 = N_{2b} = \frac{Q \times l}{2} = \frac{71,84 \times 1,4}{2} = 61,06 \text{ kN}$$

→ Calcul des moments à mi- portée

$$M_{BC} = \frac{Q \times l^2}{8} + \frac{M_B + M_C}{2} = \frac{71,84 \times 1,7^2}{8} - \frac{10,14 + 10,14}{2} = 15,81 \text{ kN. m/ml}$$

$$M_{AD} = \frac{Q \times l^2}{8} + \frac{M_A + M_D}{2} = \frac{71,84 \times 1,4^2}{8} - \frac{10,14 + 10,14}{2} = 15,81 \text{ kN. m/ml}$$

$$M_{AB} = \frac{M_B + M_A}{2} = -\frac{10,14 + 10,14}{2} = -10,14 \text{ kN. m/ml}$$

### 1.5 Sous l'action de la charge de remblai

$$q = 10 \text{ kN/m}^2$$

$$P_r = k_a \times q = 0,33 \times 10 = 3,3 \text{ kN/m}^2$$

$$R = P_r \times h = 3,3 \times 1,2 = 3,96 \text{ kN/ml}$$

▪ Calcul des inconnues hyperstatique

$$M_A = -\frac{k_2 \times (k_2 + 3) \times P_r \times h^2}{4 \times F_1} = -\frac{1 \times (1 + 3) \times 3,3 \times 1,2^2}{4 \times 24} = -0,16 \text{ kN. m/ml}$$

$$M_B = M_C = M_D = M_A = -0,16 \text{ kN. m/ml}$$

▪ Calcul des efforts normaux

$$N_1 = N_3 = \frac{P_r \times h}{2} = \frac{3,3 \times 1,2}{2} = 1,98 \text{ kN}$$

$$N_2 = N_{2b} = 0$$

▪ Calcul des moments à mi- portée

$$M_{BC} = \frac{M_B + M_C}{2} = -\frac{0,16 + 0,16}{2} = -0,16 \text{ kN. m/ml}$$

$$M_{AD} = \frac{M_A + M_D}{2} = -\frac{0,16 + 0,16}{2} = -0,16 \text{ kN. m/ml}$$

$$M_{AB} = \frac{P_r \times h^2}{8} + \frac{M_B + M_A}{2} = -\frac{3,3 \times 1,2^2}{8} - 0,16 = -0,43 \text{ kN. m/ml}$$

### 1.6 Sous l'action de la force de freinage

On suppose le freinage de deux essieux de 160 kN placés côte à côte.

$$F = 2 \times \frac{160}{6,4} = 50 \text{ kN/ml}$$

→ Calcul des inconnues hyperstatiques

$$M_A = \pm \frac{F \times h \times k_3}{2 \times F_2} = - \frac{50 \times 1,2 \times 2,92}{4 \times 6,24} = \pm 14,04 \text{ kN.m/ml}$$

$$M_D = M_A = \pm 14,04 \text{ kN.m/ml}$$

$$M_B = \pm \frac{F \times h \times k_4}{2 \times F_2} = - \frac{50 \times 1,2 \times 3,32}{4 \times 6,24} = \pm 15,96 \text{ kN.m/ml}$$

→ Calcul des efforts normaux

$$N_1 = \pm \frac{F}{2} = \pm 25 \text{ kN}$$

$$N_3 = N_1 = \pm 25 \text{ kN}$$

$$N_2 = N_{2b} = \pm \frac{F \times h \times k_4}{1 \times F_2} = - \frac{50 \times 1,2 \times 3,32}{1,7 \times 6,24} = \pm 18,78 \text{ kN}$$

→ Calcul des moments à mi- portée

$$M_{BC} = M_{AD} = 0$$

$$M_{AB} = \frac{M_B + M_A}{2} = - \frac{15,96 + 14,04}{2} = -15 \text{ kN.m/ml}$$

### **Tableau récapitulatif des efforts et sollicitations :**

	MA	MB	MC	MD	M (A-B)	M (B-C)	M (A-D)	N1	N2	N2b	N3
<b>1</b>	-1.72	-1.72	-1.72	-1.72	-1.72	2.68	2.68	0	10.37	10.37	0
<b>2</b>	-1.19	0.19	0.19	-1.19	-0.50	0.19	1.36	1.15	6.00	6.00	-1.15
<b>3</b>	-0.34	-0.31	-0.31	-0.34	1.07	-0.31	-0.34	4.73	0.00	0.00	3.18
<b>4</b>	-10.14	-10.14	-10.14	-10.14	-10.14	15.81	15.81	0.00	61.06	61.06	0.00
<b>5</b>	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	0.43	-0.16	-0.16	1.98	0.00	0.00	1.98
<b>6</b>	-14.04	-15.96	-15.96	-14.04	-15.00	0.00	0.00	25.00	18.78	18.78	25.00
<b>G=1+2+3</b>	-3.25	-1.84	-1.84	-3.25	-1.16	2.57	3.71	5.88	16.37	16.37	2.03
<b>Q=4+5+6</b>	-24.34	-26.27	-26.27	-24.34	-24.71	15.65	15.65	26.98	79.84	79.84	26.98

## **3. Calcul des armatures**

### **1.1 Calcul des armatures du tablier**

$$h = 0,20 \text{ m}$$

$$d = 0,9 \times h = 0,9 \times 0,20 = 0,18 \text{ m}$$

$$f_{bu} = \sigma_{bc} = 17 \text{ MPa}$$

$$f_{su} = \sigma_s = 348 \text{ MPa}$$

$$b = 1 \text{ m}$$

#### a. Lit supérieur

→ Calcul à l'ELU

$$M_u = 1,35 \times G_{Mb} + 1,6Q_{Mb} = -(1,35 \times 1,84 + 1,6 \times 26,27) = 44,51 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_u = 1,35 \times G_{N3} + 1,6Q_{N3} = 1,35 \times 2,03 + 1,6 \times 26,98 = 45,94 \text{ kN}$$

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{44,41}{45,94} = 0,97 \text{ m}$$

On est en présence d'une section comprimée

$$\psi_1 = \frac{N_u}{b \times h \times f_{bu}} = \frac{45,94 \times 0,001}{1 \times 0,2 \times 17} = 0,013$$

$$\mathcal{E} = 0,1663$$

Excentricité critique :  $e_{NC} = \mathcal{E} \times h = 0,1663 \times 0,2 = 0,03 < e$  d'où La section est partiellement comprimée

$$\text{Moment fictif : } M_{fict.} = M_u + Z \times N_u \quad \text{avec } Z = d - 0,5h = 0,08 \text{ m}$$

$$M_{fict.} = 48,19 \text{ kN.m/ml}$$

Calcul en flexion simple :

$$\mu_u = \frac{M_{fict.} \times 10^{-3}}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{48,19 \times 10^{-3}}{1 \times 0,18^2 \times 17} = 0,087 < 0,186, \text{ donc on est au pivot A}$$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u}) = 0,12$$

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

Section d'acier théorique :

$$A_u = \left( \frac{\frac{M_{fict.}}{Z_u} - N_u}{\sigma_s} \right) \times 10 = \left( \frac{\frac{48,19}{0,17} - 45,91}{348} \right) \times 10 = 6,75 \text{ cm}^2$$

→ Calcul à l'ELS

$$M_{ser} = G_{Mb} + 1,2Q_{Mb} = -(1,84 + 1,2 \times 26,27) = 33,36 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_{ser} = G_{N3} + 1,2Q_{N3} = 2,03 + 1,2 \times 26,98 = 34,41 \text{ kN}$$

$$e = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} = \frac{33,36}{34,41} = 0,97 \text{ m}$$

Section partiellement comprimée

Moment fictif :  $M_{\text{sfict.}} = M_S + Z \times N_S = 36,12 \text{ kN.m/ml}$

Vérification s'il y'a présence d'aciers comprimés

$$M_{\text{serb}} = 0,5b \times d^2 \times \sigma_{\text{bc}} \times \alpha_{\text{ser}}(1 - \alpha_{\text{ser}}/3)$$

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

$$n = 15$$

$$\alpha_{\text{ser}} = \frac{15 \times 17}{15 \times 17 \times 348} = 0,42$$

$$M_{\text{serb}} = 0,5 \times 1 \times 0,18^2 \times 17 \times 0,42 \left(1 - \frac{0,42}{3}\right) \times 1000 = 100 \text{ kN.m/ml} > M_{\text{sfict}}$$

Donc pas d'aciers comprimés

$$Z_{\text{ser}} = d(1 - \alpha_{\text{ser}}/3) = 0,18(1 - 0,42/3) = 0,15$$

- Section d'acier théorique :

$$A_S = \left(\frac{M}{Z_{\text{ser}} \times \sigma_s} - \frac{N_S}{\sigma_s}\right) \times 10 = \left(\frac{36,12}{0,15 \times 348} - \frac{34,41}{348}\right) \times 10 = 5,72 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité

$$A_{\text{min}} = \left(0,23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}\right) \times 10^4 = (0,23 \times 1 \times 0,18 \times 2,4/400) \times 10^4 = 2,48 \text{ cm}^2$$

#### b. Lit inférieur

- Calcul a l'ELU

$$M_u = 1,35 \times G_{\text{Mbc}} + 1,6 \times Q_{\text{Mbc}} = 1,35 \times 2,57 + 1,6 \times 15,65 = 28,5 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_u = 1,35 \times G_{\text{N3}} + 1,6 \times Q_{\text{N3}} = 1,35 \times 2,03 + 1,6 \times 26,98 = 45,91 \text{ kN}$$

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{28,5}{45,91} = 0,62 \text{ m}$$

On est en présence d'une section comprimée

$$\psi_1 = \frac{N_u}{b \times h \times f_{\text{bu}}} = \frac{45,91 \times 0,001}{1 \times 0,2 \times 17} = 0,013 \quad \text{et} \quad \mathfrak{E} = 0,1663$$

Excentricité critique :  $e_{\text{NC}} = \mathfrak{E} \times h = 0,1663 \times 0,2 = 0,03 < e$  d'où La section est partiellement comprimée

Moment fictif :  $M_{\text{fict.}} = M_u + Z \times N_u$  avec  $Z = 0,08 \text{ m}$

$$M_{\text{fict.}} = 32,17 \text{ kN.m/ml}$$

Calcul en flexion simple :

$$\mu_u = \frac{M_{\text{fict.}} \times 10^{-3}}{b \times d^2 \times f_{\text{bu}}} = \frac{32,17 \times 10^{-3}}{1 \times 0,18^2 \times 17} = 0,058$$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u}) = 0,08 < 0,186 \text{ , donc on est au pivot A}$$

$$Z_u = d(1 - 0,4 \times \mu_u) = 0,17$$

Section d'acier théorique :

$$A_u = \left( \frac{\frac{M_{fict.}}{Z_u} - N_u}{\sigma_s} \right) \times 10 = \left( \frac{\frac{32,17}{0,17} - 45,91}{348} \right) \times 10 = 3,98 \text{ cm}^2$$

→ Calcul a l'ELS

$$M_S = G_{Mbc} + 1,2Q_{Mbc} = 2,57 + 1,2 \times 15,65 = 21,34 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_S = G_{N3} + 1,2Q_{N3} = 2,03 + 1,2 \times 26,98 = 34,41 \text{ kN}$$

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{21,34}{34,41} = 0,62 \text{ m}$$

Section partiellement comprimée

$$\text{Moment fictif : } M_{sfict.} = M_S + Z \times N_S = 24,09 \text{ kN.m/ml}$$

- Vérification s'il y'a présence d'aciers comprimés

$$M_{serb} = 0,5b \times d^2 \times \sigma_{bc} \times \alpha_{ser}(1 - \alpha_{ser}/3)$$

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

$$n = 15$$

$$\alpha_{ser} = \frac{15 \times 17}{15 \times 17 + 348} = 0,42$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,18^2 \times 17 \times 0,42 \left( 1 - \frac{0,42}{3} \right) \times 1000 = 100 \text{ kN.m/ml} > M_{sfict.}$$

Donc pas d'aciers comprimés

$$Z_{ser} = d(1 - \alpha_{ser}/3) = 0,18(1 - 0,42/3) = 0,15$$

- Section d'acier théorique :

$$A_S = \left( \frac{M_{sfict.}}{Z_{ser} \times \sigma_s} - \frac{N_S}{\sigma_s} \right) \times 10 = \left( \frac{24,09}{0,15 \times 348} - \frac{34,41}{348} \right) \times 10 = 3,49 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité

$$A_{min} = \left( 0,23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} \right) \times 10^4 = (0,23 \times 1 \times 0,18 \times 2,4/400) \times 10^4 = 2,48 \text{ cm}^2$$

## 1.2 Calcul des armatures du radier

$$h = 0,20 \text{ m}$$

$$d = 0,9 \times h = 0,9 \times 0,20 = 0,18 \text{ m}$$

$$f_{bu} = \sigma_{bc} = 17 \text{ MPa}$$

$$f_{su} = \sigma_s = 348 \text{ MPa}$$

$$b = 1 \text{ m}$$

a. Lit supérieur

→ Calcul à l'ELU

$$M_u = 1,35 \times G_{Ma} + 1,6 \times Q_{Ma} = 1,35 \times 3,71 + 1,6 \times 15,65 = 30,04 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_u = 1,35 \times G_{N1} + 1,6 \times Q_{N1} = 1,35 \times 5,88 + 1,6 \times 26,98 = 51,1 \text{ kN}$$

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{30,04}{51,1} = 0,59 \text{ m}$$

On est en présence d'une section comprimée

$$\psi_1 = \frac{N_u}{b \times h \times f_{bu}} = \frac{51,1 \times 0,001}{1 \times 0,2 \times 17} = 0,015 \quad , \text{ et } \quad \mathfrak{E} = 0,1662$$

Excentricité critique :  $e_{NC} = \mathfrak{E} \times h = 0,1662 \times 0,2 = 0,03 < e$  d'où La section est partiellement comprimée

$$\text{Moment fictif : } M_{fict.} = M_u + Z \times N_u \quad \text{avec } Z = 0,08 \text{ m}$$

$$M_{fict.} = 34,13 \text{ kN.m/ml}$$

Calcul en flexion simple :

$$\mu_u = \frac{M_{fict.} \times 10^{-3}}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{34,13 \times 10^{-3}}{1 \times 0,18^2 \times 17} = 0,062$$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u}) = 0,08 < 0,186 \quad , \text{ donc on est au pivot A}$$

$$Z_u = d(1 - 0,4 \times \mu_u) = 0,17$$

Section d'acier théorique :

$$A_u = \left( \frac{\frac{M_{fict.}}{Z_u} - N_u}{\sigma_s} \right) \times 10 = \left( \frac{\frac{34,13}{0,17} - 51,1}{348} \right) \times 10 = 4,16 \text{ cm}^2$$

→ Calcul à l'ELS

$$M_s = G_{Mad} + Q_{Mad} = 3,71 + 1,2 \times 15,65 = 22,48 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_s = G_{N1} + Q_{N1} = 5,88 + 1,2 \times 26,98 = 38,25 \text{ kN}$$

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{22,48}{38,25} = 0,59 \text{ m}$$

Section partiellement comprimée

$$\text{Moment fictif : } M_{sfict.} = M_s + Z \times N_s = 25,54 \text{ kN.m/ml}$$

- Vérification s'il y'a présence d'aciers comprimés

$$M_{serb} = 0,5b \times d^2 \times \sigma_{bc} \times \alpha_{ser}(1 - \alpha_{ser}/3)$$

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

$$n = 15$$

$$\alpha_{ser} = \frac{15 \times 17}{15 \times 17 \times 348} = 0,42$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,18^2 \times 17 \times 0,42 \left(1 - \frac{0,42}{3}\right) \times 1000 = 100 \text{ kN.m/ml} > M_{sfict}$$

Donc pas d'aciers comprimés

$$Z_{ser} = d(1 - \alpha_{ser}/3) = 0,18(1 - 0,42/3) = 0,15$$

- Section d'acier théorique :

$$A_S = \left(\frac{M_{sfict}}{Z_{ser} \times \sigma_s} - \frac{N_S}{\sigma_s}\right) \times 10 = \left(\frac{25,54}{0,15 \times 348} - \frac{38,25}{348}\right) \times 10 = 3,65 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité

$$A_{min} = \left(0,23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}\right) \times 10^4 = (0,23 \times 1 \times 0,18 \times 2,4/400) \times 10^4 = 2,48 \text{ cm}^2$$

#### b. Lit inférieur

- Calcul à l'ELU

$$M_u = 1,35 \times G_{Ma} + 1,6 \times Q_{Ma} = 1,35 \times 3,25 + 1,6 \times 24,34 = 43,34 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_u = 1,35 \times G_{N1} + 1,6 \times Q_{N1} = 1,35 \times 5,88 + 1,6 \times 26,98 = 51,1 \text{ kN}$$

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{43,34}{51,1} = 0,85 \text{ m}$$

On est en présence d'une section comprimée

$$\psi_1 = \frac{N_u}{b \times h \times f_{bu}} = \frac{51,1 \times 0,001}{1 \times 0,2 \times 17} = 0,015 \quad \text{et} \quad \xi = 0,1662$$

Excentricité critique :  $e_{NC} = \xi \times h = 0,1662 \times 0,2 = 0,03 < e$  d'où La section est partiellement comprimée

$$\text{Moment fictif : } M_{fict.} = M_u + Z \times N_u \quad \text{avec } Z = 0,08 \text{ m}$$

$$M_{fict.} = 47,42 \text{ kN.m/ml}$$

Calcul en flexion simple :

$$\mu_u = \frac{M_{fict.} \times 10^{-3}}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{47,42 \times 10^{-3}}{1 \times 0,18^2 \times 17} = 0,086$$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u}) = 0,11 < 0,186 \text{ , donc on est au pivot A}$$

$$Z_u = d(1 - 0,4 \times \mu_u) = 0,17$$

Section d'acier théorique :

$$A_u = \left( \frac{\frac{M_{\text{fict.}}}{Z_u} - N_u}{\sigma_s} \right) \times 10 = \left( \frac{\frac{47,42}{0,17} - 51,1}{348} \right) \times 10 = 6,46 \text{ cm}^2$$

- Calcul à l'ELS

$$M_S = G_{\text{Mad}} + 1,2Q_{\text{Mad}} = 3,25 + 1,2 \times 24,34 = 32,46 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_S = G_{N1} + 1,2Q_{N1} = 5,88 + 1,2 \times 26,98 = 38,25 \text{ kN}$$

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{32,46}{38,25} = 0,85 \text{ m}$$

Section partiellement comprimée

$$\text{Moment fictif : } M_{\text{sfict.}} = M_S + Z \times N_S = 35,52 \text{ kN.m/ml}$$

- Vérification s'il y'a présence d'aciers comprimés

$$M_{\text{serb}} = 0,5b \times d^2 \times \sigma_{bc} \times \alpha_{\text{ser}}(1 - \alpha_{\text{ser}}/3)$$

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

$$n = 15$$

$$\alpha_{\text{ser}} = \frac{15 \times 17}{15 \times 17 + 348} = 0,42$$

$$M_{\text{serb}} = 0,5 \times 1 \times 0,18^2 \times 17 \times 0,42 \left( 1 - \frac{0,42}{3} \right) \times 1000 = 100 \text{ kN.m/ml} > M_{\text{sfict.}}$$

Donc pas d'aciers comprimés

$$Z_{\text{ser}} = d(1 - \alpha_{\text{ser}}/3) = 0,18(1 - 0,42/3) = 0,15$$

- Section d'acier théorique :

$$A_S = \left( \frac{M_{\text{sfict.}}}{Z_{\text{ser}} \times \sigma_s} - \frac{N_S}{\sigma_s} \right) \times 10 = \left( \frac{35,52}{0,15 \times 348} - \frac{38,25}{348} \right) \times 10 = 5,5 \text{ cm}^2$$

### 1.3 Calcul des armatures du Piédroit

$$h = 0,20 \text{ m}$$

$$d = 0,9 \times h = 0,9 \times 0,20 = 0,18 \text{ m}$$

$$b = 1 \text{ m}$$

#### a. Au pied du piédroit

→ Calcul à l'ELU

$$M_u = 1,35 \times G_{Ma} + 1,6 \times Q_{Ma} = 1,35 \times 3,25 + 1,6 \times 24,34 = 43,34 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_u = 1,35 \times G_{N2} + 1,6 \times Q_{N2} = 1,35 \times 16,37 + 1,6 \times 79,84 = 149,85 \text{ kN}$$

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{43,34}{149,85} = 0,29 \text{ m}$$

On est en présence d'une section comprimée

$$\psi_1 = \frac{N_u}{b \times h \times f_{bu}} = \frac{149,85 \times 0,001}{1 \times 0,2 \times 17} = 0,044 \quad \text{et} \quad \xi = 0,1654$$

Excentricité critique :  $e_{NC} = \xi \times h = 0,1654 \times 0,2 = 0,03 < e$  d'où La section est partiellement comprimée

$$\text{Moment fictif : } M_{\text{fict.}} = M_u + Z \times N_u \quad \text{avec } Z = 0,08 \text{ m}$$

$$M_{\text{fict.}} = 55,32 \text{ kN.m/ml}$$

Calcul en flexion simple :

$$\mu_u = \frac{M_{\text{fict.}} \times 10^{-3}}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{55,32 \times 10^{-3}}{1 \times 0,18^2 \times 17} = 0,1$$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u}) = 0,13 < 0,186 \quad \text{donc on est au pivot A}$$

$$Z_u = d(1 - 0,4 \times \mu_u) = 0,17$$

Section d'acier théorique :

$$A_u = \left( \frac{\frac{M_{\text{fict.}}}{Z_u} - N_u}{\sigma_s} \right) \times 10 = \left( \frac{\frac{55,32}{0,17} - 149,85}{348} \right) \times 10 = 5,02 \text{ cm}^2$$

→ Calcul a l'ELS

$$M_S = G_{Ma} + 1,2Q_{Ma} = 3,25 + 1,2 \times 24,34 = 32,46 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_S = G_{N2} + 1,2Q_{N2} = 16,37 + 1,2 \times 79,84 = 112,18 \text{ kN}$$

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{32,46}{112,18} = 0,29 \text{ m}$$

Section partiellement comprimée

$$\text{Moment fictif : } M_{\text{sfict.}} = M_S + Z \times N_S = 41,44 \text{ kN.m/ml}$$

▪ Vérification s'il y'a présence d'aciers comprimés

$$M_{\text{serb}} = 0,5b \times d^2 \times \sigma_{bc} \times \alpha_{\text{ser}}(1 - \alpha_{\text{ser}}/3)$$

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

$$n = 15$$

$$\alpha_{\text{ser}} = \frac{15 \times 17}{15 \times 17 \times 348} = 0,42$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,18^2 \times 17 \times 0,42 \left(1 - \frac{0,42}{3}\right) \times 1000 = 100 \text{ kN.m/ml} > M_{sfict}$$

Donc pas d'aciers comprimés

$$Z_{ser} = d(1 - \alpha_{ser}/3) = 0,18(1 - 0,42/3) = 0,15$$

▪ Section d'acier théorique :

$$A_s = \left( \frac{M_{sfict}}{Z_{ser} \times \sigma_s} - \frac{N_s}{\sigma_s} \right) \times 10 = \left( \frac{41,44}{0,15 \times 348} - \frac{112,18}{348} \right) \times 10 = 4,48 \text{ cm}^2$$

▪ Condition de non fragilité

$$A_{min} = \left( 0,23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} \right) \times 10^4 = (0,23 \times 1 \times 0,18 \times 2,4/400) \times 10^4 = 2,48 \text{ cm}^2$$

b. A la tête du piédroit

→ Calcul a l'ELU

$$M_u = 1,35 \times G_{Mb} + 1,6 \times Q_{Mb} = 1,35 \times 1,84 + 1,6 \times 26,27 = 44,51 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_u = 1,35 \times G_{N2b} + 1,6 \times Q_{N2b} = 1,35 \times 16,37 + 1,6 \times 79,84 = 149,85 \text{ kN}$$

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{44,51}{149,85} = 0,3 \text{ m}$$

On est en présence d'une section comprimée

$$\psi_1 = \frac{N_u}{b \times h \times f_{bu}} = \frac{149,85 \times 0,001}{1 \times 0,2 \times 17} = 0,044 \quad , \text{ et } \quad \mathfrak{E} = 0,1654$$

Excentricité critique :  $e_{NC} = \mathfrak{E} \times h = 0,1654 \times 0,2 = 0,03 < e$  d'où La section est partiellement comprimée

Moment fictif :  $M_{fict.} = M_u + Z \times N_u$  avec  $Z = 0,08 \text{ m}$

$$M_{fict.} = 56,50 \text{ kN.m/ml}$$

Calcul en flexion simple :

$$\mu_u = \frac{M_{fict.} \times 10^{-3}}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{56,50 \times 10^{-3}}{1 \times 0,18^2 \times 17} = 0,1$$

$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u}) = 0,136 < 0,186$  , donc on est au pivot A

$$Z_u = d(1 - 0,4 \times \mu_u) = 0,17$$

Section d'acier théorique :

$$A_u = \left( \frac{M_{fict.}}{Z_u \times \sigma_s} - \frac{N_u}{\sigma_s} \right) \times 10 = \left( \frac{56,50}{0,17 \times 348} - \frac{149,85}{348} \right) \times 10 = 5,23 \text{ cm}^2$$

→ Calcul a l'ELS

$$M_s = A_{Mb} + 1,2B_{Mb} = 1,84 + 1,2 \times 26,27 = 33,36 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_S = A_{N2b} + 1,2B_{N2b} = 16,37 + 1,2 \times 79,84 = 112,18 \text{ kN}$$

$$e = \frac{M_S}{N_S} = \frac{33,36}{112,18} = 0,29 \text{ m}$$

Section partiellement comprimée

$$\text{Moment fictif : } M_{\text{sfict.}} = M_S + Z \times N_S = 42,34 \text{ kN.m/ml}$$

- Vérification s'il y'a présence d'aciers comprimés

$$M_{\text{serb}} = 0,5b \times d^2 \times \sigma_{bc} \times \alpha_{\text{ser}}(1 - \alpha_{\text{ser}}/3)$$

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

$$n = 15$$

$$\alpha_{\text{ser}} = \frac{15 \times 17}{15 \times 17 \times 348} = 0,42$$

$$M_{\text{serb}} = 0,5 \times 1 \times 0,18^2 \times 17 \times 0,42 \left(1 - \frac{0,42}{3}\right) \times 1000 = 100 \text{ kN.m/ml} > M_{\text{sfict}}$$

Donc pas d'aciers comprimés

$$Z_{\text{ser}} = d(1 - \alpha_{\text{ser}}/3) = 0,18(1 - 0,42/3) = 0,15$$

- Section d'acier théorique :

$$A_S = \left( \frac{M_{\text{sfict}}}{Z_{\text{ser}} \times \sigma_s} - \frac{N_S}{\sigma_s} \right) \times 10 = \left( \frac{42,34}{0,15 \times 348} - \frac{112,18}{348} \right) \times 10 = 4,64 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité

$$A_{\text{min}} = \left( 0,23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} \right) \times 10^4 = (0,23 \times 1 \times 0,18 \times 2,4/400) \times 10^4 = 2,48 \text{ cm}^2$$

### c. A mi- portée du piédroit

- Calcul a l'ELU

$$M_u = 1,35 \times G_{\text{Mab}} + 1,6 \times Q_{\text{Mab}} = 1,35 \times 1,16 + 1,6 \times 24,71 = 41,1 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_u = 1,35 \times G_{N2b} + 1,6 \times Q_{N2b} = 1,35 \times 16,37 + 1,6 \times 79,84 = 149,85 \text{ kN}$$

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{41,1}{149,85} = 0,27 \text{ m}$$

On est en présence d'une section comprimée

$$\psi_1 = \frac{N_u}{b \times h \times f_{bu}} = \frac{149,85 \times 0,001}{1 \times 0,2 \times 17} = 0,044 \quad , \text{ et } \quad \mathfrak{E} = 0,1654$$

Excentricité critique :  $e_{NC} = \mathfrak{E} \times h = 0,1654 \times 0,2 = 0,03 < e$  d'où La section est partiellement comprimée

$$\text{Moment fictif : } M_{\text{fict.}} = M_u + Z \times N_u \quad \text{avec } Z = 0,08 \text{ m}$$

$$M_{\text{fict.}} = 53,09 \text{ kN.m/ml}$$

Calcul en flexion simple :

$$\mu_u = \frac{M_{\text{fict.}} \times 10^{-3}}{b \times d^2 \times f_{\text{bu}}} = \frac{53,09 \times 10^{-3}}{1 \times 0,18^2 \times 17} = 0,096$$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u}) = 0,127 < 0,186 \quad , \text{ donc on est au pivot A}$$

$$Z_u = d(1 - 0,4 \times \mu_u) = 0,17$$

Section d'acier théorique :

$$A_u = \left( \frac{\frac{M_{\text{fict.}}}{Z_u} - N_u}{\sigma_s} \right) \times 10 = \left( \frac{\frac{53,09}{0,17} - 149,85}{348} \right) \times 10 = 4,62 \text{ cm}^2$$

→ Calcul à l'ELS

$$M_S = G_{\text{Mab}} + 1,2Q_{\text{Mab}} = 1,16 + 1,2 \times 24,71 = 30,81 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_S = G_{\text{N2b}} + 1,2Q_{\text{N2b}} = 16,37 + 1,6 \times 79,84 = 112,18 \text{ kN}$$

$$e = \frac{M_S}{N_S} = \frac{30,81}{112,18} = 0,27 \text{ m}$$

Section partiellement comprimée

$$\text{Moment fictif : } M_{\text{sfict.}} = M_S + Z \times N_S = 39,78 \text{ kN.m/ml}$$

Vérification s'il y'a présence d'aciers comprimés

$$M_{\text{serb}} = 0,5b \times d^2 \times \sigma_{\text{bc}} \times \alpha_{\text{ser}}(1 - \alpha_{\text{ser}}/3)$$

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

$$n = 15$$

$$\alpha_{\text{ser}} = \frac{15 \times 17}{15 \times 17 \times 348} = 0,42$$

$$M_{\text{serb}} = 0,5 \times 1 \times 0,18^2 \times 17 \times 0,42 \left( 1 - \frac{0,42}{3} \right) \times 1000 = 100 \text{ kN.m/ml} > M_{\text{sfict}}$$

Donc pas d'aciers comprimés

$$Z_{\text{ser}} = d(1 - \alpha_{\text{ser}}/3) = 0,18(1 - 0,42/3) = 0,15$$

▪ Section d'acier théorique :

$$A_S = \left( \frac{M_{\text{sfict.}}}{Z_{\text{ser}} \times \sigma_s} - \frac{N_S}{\sigma_s} \right) \times 10 = \left( \frac{39,78}{0,15 \times 348} - \frac{112,18}{348} \right) \times 10 = 4,17 \text{ cm}^2$$

#### 1.4 Mur en aile

Pression à la base du mur :

$$P = \gamma \times k_p \times h = 9,5 \text{ kN/m}^2$$

Moment fléchissant dû à la poussée de terre

$$M = \gamma \times k_p \times \frac{h^3}{6} = 18 \times 0,33 \times \frac{1,6^3}{6} = 4,05 \text{ kN.m}$$

Calcul a l'ELU

$$M_u = 1,35 \times 4,05 = 5,47 \text{ kN.m}$$

$$N_u = 1,35 \times 9,5 = 12,83 \text{ kN.m}$$

$$e = M_u/N_u = 0,42$$

Section partiellement tendue

$$M_{\text{fict.}} = N_u \times e_a$$

$$e_a = e - (d - 0,5h) = 0,42 - 0,18 + 0,1 = 0,34$$

$$M_{\text{fict.}} = 12,83 \times 0,34 = 4,36 \text{ kN.m}$$

Calcul en flexion simple :

$$\mu_u = \frac{M_{\text{fict.}} \times 10^{-3}}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{4,36 \times 10^{-3}}{1 \times 0,18^2 \times 17} = 0,079$$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u}) = 0,1 < 0,186 \quad , \text{ donc on est au pivot A}$$

$$Z_u = d(1 - 0,4 \times \mu_u) = 0,17$$

Section d'acier théorique : ferrailage

$$A_u = \left( \frac{M_{\text{fict.}}}{Z_u} - N_u \right) \times 10 = \left( \frac{4,36}{0,17} + 12,83 \right) \times 10 = 0,12 \text{ cm}^2$$

**Tableau récapitulatif des sections d'acier :**

	Tablier		Radier		Piédroit			Mur en aile
	lit sup.	lit inf.	lit sup.	lit inf.	Au pied	En tête	A mi-portée	
As théorique	ELU							0,12
	6.75	3.98	4.16	6.46	5.02	5.23	4.62	
	ELS							
	5.72	3.49	3.65	5.50	4.48	4.64	4.17	
As min	2.48		2.48		2.48			2.48
As retenue	3.98	6.75	4.16	6.46	5.02	5.23	4.62	2.48

choix As	HA10	HA12	HA10	HA12	HA10	HA10	HA10	HA8
espacement	15	20	15	20	15	10	10	20
Asreel	7.7	4.52	4.52	7.7	5.65	5.65	5.65	2.51
Ar = Asret/4	1.69	0.99	1.04	1.62	1.26	1.31	1.16	0.04
A min	2.48							2.48
Ar retenue	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48
choix Ar	HA8							
espacement	20	20	20	20	20	20	20	20
Areel	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51

### Dalot de type I: 1 × 3 × 1.50

La procédure de calcul est similaire que le précédent tous deux comportant une seule ouverture.

Après calcul on obtient ainsi les sollicitations et sections d'armatures suivantes.

**Tableau :** Efforts et sollicitations

Md	M (A-B)	M (B-C)	M (A-D)	N1	N2
-5,02	-5,02	6,50	6,50	0	14,40
-2,40	-1,04	0,31	6,63	1,60	6,00
-0,67	2,78	-0,59	-0,67	8,23	0,00
-51,56	-51,56	66,86	66,86	0,00	148,03
-0,28	0,92	-0,28	-0,28	2,81	0,00
-20,92	-22,67	0,00	0,00	26,67	15,26
-8,09	-3,28	6,23	12,46	9,83	20,40
-72,75	-73,31	66,59	66,59	29,47	163,29

**Tableau :** sections des armatures

	Tablier		Radier		Piédroit			Mur en aile
	lit sup.	lit inf.	lit sup.	lit inf.	Au pied	En tête	A mi-portée	

As théorique	ELU							0,12
	23.29	20.21	21.92	22.79	20.41	20.84	19.09	
	ELS							
	17.45	15.47	16.54	17.10	14.73	14.99	13.96	
As min	2.48		2.48		2.48			2.48
As retenue	23.29	20.21	21.92	22.79	20.41	20.84	19.09	2.48
choix As	HA14	HA12	HA12	HA14	HA12	HA12	HA12	HA8
espacement	20	25	25	20	20	20	20	20
Asreel	7.06	4.15	4.52	7.06	5.6	5.6	5.6	5
Ar = Asret/4	5.82	5.05	5.48	5.70	5.10	5.21	4.77	0.04
A min	2.48							2.48
Ar retenue	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48
choix Ar	HA8	HA8						
espacement	10	10	10	10	20	20	20	20
Areel	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54

### Dalot de type I: 2 × 3 × 1.50

L'objet de cette note de calcul est de dimensionner l'ouvrage et déterminer le ferrailage nécessaire pour le dalot avec deux (02) ouvertures (300x1.50 cm).

#### 5.1. Calcul de charges et surcharges

##### 5.1.1. Charges permanentes

$$P_1 = G_{\text{tablier}} + G_{\text{remblai}}$$

$$G_{\text{tablier}} = 25 \times 0,25 \times 1 = 7,50 \text{ kN/ml}$$

$$G_{\text{remblai}} = 20 \times 0,20 \times 1 = 7,20 \text{ kN/ml}$$

$$P_1 = 14,7 \text{ kN/ml}$$

$$P_2 = P_1 + G_{\text{radier}} + G_{\text{piedroit}}$$

$$G_{\text{radier}} = 25 \times 0,30 \times 1 = 7,5 \text{ kN/ml}$$

$$G_{\text{piedroit}} = 2 \times 25 \times 0,30 \times \frac{2,3}{3,3} = 10,45 \text{ kN/ml}$$

$$P_2 = 32,65 \text{ kN/ml}$$

- $P_3 = k_a \times W_t \times Z1 = 0,33 \times 20 \times 0,525 = 3,24 \text{ kN/m}^2$
- $P_4 = k_a \times W_t \times Z2 = 0,33 \times 20 \times 2,775 = 16,93 \text{ kN/m}^2$

### 5.1.2. Surcharges

#### a. Système de convoi de camion A

$$A(l) = a_1 \times a_2 \times \max[A_1(l); (4 - 0,002 \times L)] \quad \text{avec } L = 3,3 \text{ m}$$

$$A_1(l) = 2,3 + \frac{360}{L + 12} = 25,91 \text{ kN/m}^2$$

$$(4 - 0,002 \times L) = 4,01 \text{ kN/m}^2$$

$$A(l) = 25,91 \text{ kN/m}^2$$

#### b. Système de convoi de camion Bc

$$L = 4,5 + 2h_r + 0,25 = 5,55 \text{ m}$$

$$l = 1,5 + 2h_r + 0,25 = 2,55 \text{ m}$$

$$S_{Bc} = b_{c1} \times \frac{2 \times P_{essieu}}{S}$$

$$S_{Bc} = 1,1 \times \frac{2 \times 240}{2,55 \times 5,55} = 37,31 \text{ kN/m}^2$$

#### c. Système de convoi de camion Bcniger

Surface d'influence avec un angle de répartition moyen de 45° :  $S = L \times l$

$$L = 4,5 + 2h_r + 0,25 = 5,55 \text{ m}$$

$$l = 1,5 + 2h_r + 0,25 = 2,55 \text{ m}$$

$$S_{Bc} = b_{c1} \times \frac{2 \times P_{essieu}}{S}$$

$$S_{Bcniger} = 1,1 \times \frac{2 \times 260}{2,55 \times 5,55} = 40,42 \text{ kN/m}^2$$

#### d. Système de convoi de camion Bt

$$L = 5 + 2h_r + 0,6 = 6,4 \text{ m}$$

$$l = 1,35 + 2h_r + 0,25 = 2,4 \text{ m}$$

$$S_{Bt} = b_{t1} \times \frac{2 \times P_{essieu}}{S}$$

$$S_{Bt} = 1,2 \times \frac{2 \times 320}{6,3 \times 2,3} = 41,67 \text{ kN/m}^2$$

#### e. Surcharge routière retenue

$$\text{Coefficient de majoration dynamique : } \delta = 1 + \frac{0,4}{1+0,2 \times L} + \frac{0,6}{1+\frac{4 \times P_1}{S}}$$

$$L = \max[L_c; \text{portée de travé du dalot}] = 7 \text{ m}$$

$$S = 640 \text{ kN}$$

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 7} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 12,2}{640}} = 1,72$$

$$Q = \delta \times 1 \times \max[q(A); q(B_c); q(B_{cniger}); q(B_t); ] = 71,84 \text{ kN/m}^2$$

#### f. Surcharge routière au niveau du radier

La surcharge considérée est celle du système de convoi Bt

$$S_{Bt} = 1,29 \times \frac{2 \times 2 \times 130}{6,95 \times 6,4} = 18,55 \text{ kN/m}^2$$

### 5.2. Détermination des moments et efforts

$$l = 3,3 \text{ m}$$

$$h = 2,3 \text{ m}$$

#### 5.2.1. Sous l'action de la charge (P1) dû au tablier

##### a. Sous charges permanentes

- Calcul des moments à mi- portée

$$M_{AB} = M_{BC} = 0,07 \times P_1 \times l^2 = 0,07 \times 14,7 \times 3,3^2 = 11,21 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment sur appuis B

$$M_B = -0,125 \times P_1 \times l^2 = -0,125 \times 14,7 \times 3,3^2 = -20,01 \text{ kN.m/ml}$$

- Réactions d'appuis

$$R_A = R_C = 0,375 \times P_1 \times l = 0,375 \times 14,7 \times 3,3 = 18,19 \text{ kN}$$

$$R_B = 1,25 \times P_1 \times l = 1,25 \times 14,7 \times 3,3 = 60,64 \text{ kN}$$

##### b. Sous surcharge routière

- Calcul des moments à mi- portée

$$M_{AB} = M_{BC} = 0,1 \times Q \times l^2 = 0,1 \times 71,67 \times 3,3^2 = 77,87 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment sur appuis B

$$M_B = -0,125 \times Q \times l^2 = -0,125 \times 71,67 \times 3,3^2 = -97,34 \text{ kN.m/ml}$$

- Réaction d'appuis

$$R_A = R_C = 0,437 \times Q \times l = 0,437 \times 71,67 \times 3,3 = 88,49 \text{ kN}$$

$$R_B = 0,625 \times Q \times l = 0,625 \times 71,67 \times 3,3 = 294,97 \text{ kN}$$

#### 5.2.2. Au niveau du radier

##### a. Sous charges permanentes

- Calcul des moments à mi- portée

$$M_{AB} = M_{BC} = 0,07 \times P_2 \times l^2 = 0,07 \times 32,65 \times 3,3^2 = 24,89 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment sur appuis B

$$M_B = -0,125 \times P_2 \times l^2 = -0,125 \times 32,65 \times 3,3^2 = -44,45 \text{ kN.m/ml}$$

- Réaction d'appuis

$$R_A = R_C = 0,375 \times P_2 \times l = 0,375 \times 32,65 \times 3,3^2 = 40,41 \text{ kN}$$

$$R_B = 1,25 \times P_2 \times l = 1,25 \times 32,65 \times 3,3^2 = 134,7 \text{ kN}$$

#### b. Sous surcharge routière

- Calcul des moments à mi-portée

$$M_{AB} = M_{BC} = 0,1 \times Q \times l^2 = 0,1 \times 18,55 \times 3,3^2 = 20,20 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment sur appuis B

$$M_B = -0,125 \times Q \times l^2 = -0,125 \times 18,55 \times 3,3^2 = -25,26 \text{ kN.m/ml}$$

- Réaction d'appuis

$$R_A = R_C = 0,437 \times Q \times l = 0,437 \times 18,55 \times 3,3^2 = 26,76 \text{ kN}$$

$$R_B = 0,625 \times Q \times l = 0,625 \times 18,55 \times 3,3^2 = 38,27 \text{ kN}$$

#### 5.2.3. Au niveau du piédroit central

Sous charges permanentes :

$$\text{Réaction d'appuis du radier : } N = R_B = 134,7 \text{ kN}$$

Sous surcharge routières :

$$\text{Réaction d'appuis du tablier : } N = R_B = 294,97 \text{ kN}$$

#### 5.2.4. Au niveau des piédroits de rive

Sous charges permanentes :

- Effort normal

$$\text{Réaction d'appuis du radier : } N = R_A = 40,41 \text{ kN}$$

- Moment dû à la poussée de terre

$$M = \gamma \times k_p \times h^3 = 0,33 \times 18 \times 2,3^3 / 6 = 12,05 \text{ kN.m/ml}$$

#### 5.2.5. Sous surcharge routière

- Effort normal :

$$\text{Réaction d'appuis du tablier : } N = R_A = 88,49 \text{ kN}$$

- Moment dû à la force de freinage :

On suppose le freinage de 2 essieu de 160 kN placés côte à côte.

$$M = F = 2 \times 160 \times 2,25 = 73,60 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment dû à la surcharge routière de remblai

$$q = 10 \text{ kN/m}^2$$

$$P_r = k_a \times q = 0,33 \times 10 = 3,3 \text{ kN/m}^2$$

$$M = P_r \times h^2/2 = 3,3 \times 2,3^2/2 = 8,73 \text{ kN/ml}$$

### 5.3. Calcul des armatures

#### 5.3.1. Armatures du tablier

$$h = 0,30 \text{ m}$$

$$d = 0,9 \times h = 0,9 \times 0,30 = 0,27 \text{ m}$$

$$f_{bu} = \sigma_{bc} = 17 \text{ MPa}$$

$$f_{su} = \sigma_s = 348 \text{ MPa}$$

$$b = 1 \text{ m}$$

##### a. Lit supérieur B

- Calcul à l'ELU

$$M_u = 1,35 \times G + 1,6Q = -(1,35 \times 20,01 + 1,6 \times 87,34) = 182,76 \text{ kN.m/ml}$$

Calcul en flexion simple :

$$\mu_u = \frac{M_u \times 10^{-3}}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{182,76 \times 10^{-3}}{1 \times 0,27^2 \times 17} = 0,147 < 0,186 \text{ donc on est au pivot A}$$

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

$$Z_u = d(1 - 0,4 \times \alpha_u) = 0,25$$

Section d'acier théorique :

$$A_u = \left( \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s} \right) \times 10 = \left( \frac{182,76}{0,25 \times 348} \right) \times 10 = 21,16 \text{ cm}^2$$

- Calcul à l'ELS

$$M_s = G + 1,2Q = -(20,01 + 1,2 \times 87,34) = 136,82 \text{ kN.m/ml}$$

Section partiellement comprimée

- Vérification s'il y'a présence d'aciers comprimés

$$M_{serb} = 0,5b \times d^2 \times \sigma_{bc} \times \alpha_{ser}(1 - \alpha_{ser}/3)$$

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

$$n = 15$$

$$\alpha_{ser} = \frac{15 \times 17}{15 \times 17 + 348} = 0,42$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,27^2 \times 17 \times 0,42 \left(1 - \frac{0,42}{3}\right) \times 1000 = 225,1 \text{ kN.m/ml} > M_s$$

Donc pas d'aciers comprimés

$$Z_{ser} = d(1 - \alpha_{ser}/3) = 0,27(1 - 0,42/3) = 0,23$$

- Section d'acier théorique :

$$A_s = \left(\frac{M}{Z_{ser} \times \sigma_s}\right) \times 10 = \left(\frac{36,12}{0,15 \times 348}\right) \times 10 = 16,95 \text{ cm}^2$$

### c. Lit supérieur A et C

- Calcul à l'ELU

$$M_u = 0,5M_{AB} = 69,86 \text{ kN.m/ml}$$

Calcul en flexion simple :

$$\mu_u = \frac{M_u \times 10^{-3}}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{69,86 \times 10^{-3}}{1 \times 0,27^2 \times 17} = 0,06 < 0,186 \text{ donc on est au pivot A}$$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u}) = 0,073$$

$$Z_u = d(1 - 0,4 \times \alpha_u) = 0,26$$

Section d'acier théorique :

$$A_u = \left(\frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s}\right) \times 10 = \left(\frac{69,86 \text{ kN.m/ml}}{0,22 \times 348}\right) \times 10 = 7,66 \text{ cm}^2$$

- Calcul à l'ELS

$$M_s = 0,5M_{AB} = 52,33 \text{ kN.m/ml}$$

Section partiellement comprimée

- Vérification s'il y'a présence d'aciers comprimés

$$M_{serb} = 0,5b \times d^2 \times \sigma_{bc} \times \alpha_{ser} (1 - \alpha_{ser}/3)$$

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

$$n = 15$$

$$\alpha_{ser} = \frac{15 \times 17}{15 \times 17 \times 348} = 0,42$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,27^2 \times 17 \times 0,42 \left(1 - \frac{0,42}{3}\right) \times 1000 = 225,1 \text{ kN.m/ml} > M_s$$

Donc pas d'aciers comprimés

$$Z_{ser} = d(1 - \alpha_{ser}/3) = 0,27(1 - 0,42/3) = 0,23$$

- Section d'acier théorique :

$$A_s = \left( \frac{M}{Z_{ser} \times \sigma_s} \right) \times 10 = \left( \frac{52,33}{0,23 \times 348} \right) \times 10 = 6,48 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité

$$A_{min} = \left( 0,23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} \right) \times 10^4 = (0,23 \times 1 \times 0,27 \times 2,4/400) \times 10^4 = 3,73 \text{ cm}^2$$

#### d. Lit inferieur AB et BC

- Calcul à l'ELU

$$M_u = 1,35 \times G + 1,6Q = -(1,35 \times 9,94 + 1,6 \times 75,7) = 139,72 \text{ kN.m/ml}$$

Calcul en flexion simple :

$$\mu_u = \frac{M_u \times 10^{-3}}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{139,72 \times 10^{-3}}{1 \times 0,27^2 \times 17} = 0,11 < 0,186 \quad \text{donc on est au pivot A}$$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u}) = 0,15$$

$$Z_u = d(1 - 0,4 \times \alpha_u) = 0,25$$

Section d'acier théorique :

$$A_u = \left( \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s} \right) \times 10 = \left( \frac{139,72}{0,21 \times 348} \right) \times 10 = 15,83 \text{ cm}^2$$

- Calcul à l'ELS

$$M_s = G + 1,2Q = -(9,94 + 1,2 \times 75,7) = 104,65 \text{ kN.m/ml}$$

Section partiellement comprimée

- Vérification s'il y'a présence d'aciers comprimés

$$M_{serb} = 0,5b \times d^2 \times \sigma_{bc} \times \alpha_{ser}(1 - \alpha_{ser}/3)$$

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

$$n = 15$$

$$\alpha_{ser} = \frac{15 \times 17}{15 \times 17 \times 348} = 0,42$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,27^2 \times 17 \times 0,42 \left( 1 - \frac{0,42}{3} \right) \times 1000 = 225,1 \text{ kN.m/ml} > M_s$$

Donc pas d'aciers comprimés

$$Z_{ser} = d(1 - \alpha_{ser}/3) = 0,27(1 - 0,42/3) = 0,23$$

- Section d'acier théorique :

$$A_s = \left( \frac{M}{Z_{ser} \times \sigma_s} \right) \times 10 = \left( \frac{104,65}{0,23 \times 348} \right) \times 10 = 12,97 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité

$$A_{min} = \left( 0,23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} \right) \times 10^4 = (0,23 \times 1 \times 0,27 \times 2,4/400) \times 10^4 = 3,73 \text{ cm}^2$$

### 5.3.2. Calcul des armatures du radier

$$h = 0,30 \text{ m}$$

$$d = 0,9 \times h = 0,9 \times 0,3 = 0,27 \text{ m}$$

$$b = 1 \text{ m}$$

#### a. Lit supérieur B

- Calcul à l'ELU

$$M_u = 1,35 \times G + 1,6Q = -(1,35 \times 44,45 + 1,6 \times 25,26) = 100,42 \text{ kN.m/ml}$$

Calcul en flexion simple :

$$\mu_u = \frac{M_u \times 10^{-3}}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{100,42 \times 10^{-3}}{1 \times 0,27^2 \times 17} = 0,08 < 0,186 \text{ donc on est au pivot A}$$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u}) = 0,11$$

$$Z_u = d(1 - 0,4 \times \alpha_u) = 0,26$$

Section d'acier théorique :

$$A_u = \left( \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s} \right) \times 10 = \left( \frac{91,03}{0,21 \times 348} \right) \times 10 = 11,16 \text{ cm}^2$$

- Calcul à l'ELS

$$M_s = G + 1,2Q = -(9,94 + 1,2 \times 75,7) = 74,76 \text{ kN.m/ml}$$

Section partiellement comprimée

- Vérification s'il y'a présence d'aciers comprimés

$$M_{serb} = 0,5b \times d^2 \times \sigma_{bc} \times \alpha_{ser}(1 - \alpha_{ser}/3)$$

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

$$n = 15$$

$$\alpha_{ser} = \frac{15 \times 17}{15 \times 17 \times 348} = 0,42$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,27^2 \times 17 \times 0,42 \left(1 - \frac{0,42}{3}\right) \times 1000 = 225,1 \text{ kN.m/ml} > M_s$$

Donc pas d'aciers comprimés

$$Z_{ser} = d(1 - \alpha_{ser}/3) = 0,27(1 - 0,42/3) = 0,23$$

- Section d'acier théorique :

$$A_s = \left(\frac{M}{Z_{ser} \times \sigma_s}\right) \times 10 = \left(\frac{74,76}{0,23 \times 348}\right) \times 10 = 9,26 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité

$$A_{min} = \left(0,23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}\right) \times 10^4 = (0,23 \times 1 \times 0,27 \times 2,4/400) \times 10^4 = 3,73 \text{ cm}^2$$

#### b. Lit supérieur A et C

- Calcul à l'ELU

$$M_u = 0,5M_{AB} = 32,97 \text{ kN.m/ml}$$

Calcul en flexion simple :

$$\mu_u = \frac{M_u \times 10^{-3}}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{32,97 \times 10^{-3}}{1 \times 0,27^2 \times 17} = 0,03 < 0,186 \text{ donc on est au pivot A}$$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u}) = 0,034$$

$$Z_u = d(1 - 0,4 \times \alpha_u) = 0,26$$

Section d'acier théorique :

$$A_u = \left(\frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s}\right) \times 10 = \left(\frac{32,97}{0,26 \times 348}\right) \times 10 = 3,56 \text{ cm}^2$$

- Calcul à l'ELS

$$M_s = 0,5M_{AB} = 24,57 \text{ kN.m/ml}$$

Section partiellement comprimée

- Vérification s'il y'a présence d'aciers comprimés

$$M_{serb} = 0,5b \times d^2 \times \sigma_{bc} \times \alpha_{ser}(1 - \alpha_{ser}/3)$$

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

$$n = 15$$

$$\alpha_{ser} = \frac{15 \times 17}{15 \times 17 \times 348} = 0,42$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,27^2 \times 17 \times 0,42 \left(1 - \frac{0,42}{3}\right) \times 1000 = 225,1 \text{ kN. m/ml} > M_s$$

Donc pas d'aciers comprimés

$$Z_{ser} = d(1 - \alpha_{ser}/3) = 0,27(1 - 0,42/3) = 0,23$$

- Section d'acier théorique :

$$A_s = \left(\frac{M}{Z_{ser} \times \sigma_s}\right) \times 10 = \left(\frac{27,57}{0,23 \times 348}\right) \times 10 = 3,04 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité

$$A_{min} = \left(0,23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}\right) \times 10^4 = (0,23 \times 1 \times 0,27 \times 2,4/400) \times 10^4 = 3,73 \text{ cm}^2$$

### c. Lit inferieur AB et BC

- Calcul à l'ELU

$$M_u = 1,35 \times G + 1,6Q = -(1,35 \times 20,96 + 1,6 \times 20,24) = 65,93 \text{ kN. m/ml}$$

Calcul en flexion simple :

$$\mu_u = \frac{M_u \times 10^{-3}}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{65,93 \times 10^{-3}}{1 \times 0,27^2 \times 17} = 0,11 < 0,186 \text{ donc on est au pivot A}$$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u}) = 0,15$$

$$Z_u = d(1 - 0,4 \times \alpha_u) = 0,25$$

Section d'acier théorique :

$$A_u = \left(\frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s}\right) \times 10 = \left(\frac{65,93}{0,25 \times 348}\right) \times 10 = 15,83 \text{ cm}^2$$

- Calcul à l'ELS

$$M_s = G + 1,2Q = -(9,94 + 1,2 \times 75,7) = 49,14 \text{ kN. m/ml}$$

Section partiellement comprimée

- Vérification s'il y'a présence d'aciers comprimés

$$M_{serb} = 0,5b \times d^2 \times \sigma_{bc} \times \alpha_{ser}(1 - \alpha_{ser}/3)$$

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

$$n = 15$$

$$\alpha_{ser} = \frac{15 \times 17}{15 \times 17 \times 348} = 0,42$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,27^2 \times 17 \times 0,42 \left(1 - \frac{0,42}{3}\right) \times 1000 = 225,1 \text{ kN.m/ml} > M_s$$

Donc pas d'aciers comprimés

$$Z_{ser} = d(1 - \alpha_{ser}/3) = 0,27(1 - 0,42/3) = 0,23$$

- Section d'acier théorique :

$$A_s = \left(\frac{M}{Z_{ser} \times \sigma_s}\right) \times 10 = \left(\frac{49,14}{0,23 \times 348}\right) \times 10 = 6,09 \text{ cm}^2$$

### 5.3.3. Calcul des armatures des Piédroits

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

$$d = 0,9 \times h = 0,9 \times 0,3 = 0,27 \text{ m}$$

$$b = 1 \text{ m}$$

#### a. Piédroits A et C

- Calcul à l'ELU

$$M_u = 1,35 \times G + 1,6Q = -(1,35 \times 12,05 + 1,6 \times (73,6 + 8,72)) = 147,99 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_u = 1,35 \times G + 1,6Q = 1,35 \times 40,41 + 1,6 \times 88,49 = 196,14 \text{ kN}$$

Calcul en flexion simple :

$$\mu_u = \frac{M_{u \text{ fict}} \times 10^{-3}}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{171,52 \times 10^{-3}}{1 \times 0,27^2 \times 17} = 0,14 < 0,186 \text{ donc on est au pivot A}$$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u}) = 0,18$$

$$Z_u = d(1 - 0,4 \times \alpha_u) = 0,25$$

$$A_u = \left(\frac{\frac{M_{\text{fict.}}}{Z_u} - N_u}{\sigma_s}\right) \times 10 = \left(\frac{\frac{171,52}{0,20} - 177,68}{348}\right) \times 10 = 14,10 \text{ cm}^2$$

- Calcul à l'ELS

$$M_s = G + 1,2Q = 12,05 + 1,2(73,60 + 8,73) = 110,84 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_s = G + 1,2Q = 40,41 + 1,2 \times 88,49 = 146,60 \text{ kN}$$

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{110,84}{146,60} = 0,76 \text{ m}$$

Section partiellement comprimée

$$\text{Moment fictif : } M_{\text{sfict.}} = M_s + Z \times N_s = 128,43 \text{ kN.m/ml}$$

- Vérification s'il y'a présence d'aciers comprimés

$$M_{serb} = 0,5b \times d^2 \times \sigma_{bc} \times \alpha_{ser}(1 - \alpha_{ser}/3)$$

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

$$n = 15$$

$$\alpha_{ser} = \frac{15 \times 17}{15 \times 17 \times 348} = 0,42$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,18^2 \times 17 \times 0,42 \left(1 - \frac{0,42}{3}\right) \times 1000 = 100 \text{ kN.m/ml} > M_{sfict}$$

Donc pas d'aciers comprimés

$$Z_{ser} = d(1 - \alpha_{ser}/3) = 0,18(1 - 0,42/3) = 0,15$$

Section d'acier théorique :

$$A_s = \left( \frac{M_{sfict}}{Z_{ser} \times \sigma_s} - \frac{N_s}{\sigma_s} \right) \times 10 = \left( \frac{128,43}{0,21 \times 348} - \frac{146,6}{348} \right) \times 10 = 11,7 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité

$$A_{min} = \left( 0,23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} \right) \times 10^4 = (0,23 \times 1 \times 0,27 \times 2,4/400) \times 10^4 = 3,73 \text{ cm}^2$$

#### b. Piedroit central B

Le piedroit est considéré au mètre linéaire comme un poteau de 1x0,25

$$N_u = 1,35 \times G + 1,6Q = 1,35 \times 134,7 + 1,6 \times 294,97 = 653,79 \text{ kN}$$

$$B_r = (100 - 2) \times (30 - 2) = 2744 \text{ cm}^2$$

$$\alpha = 0,85 / (1 + 0,20 \times (\lambda/35)^2)$$

$$l_f = 0,7 \times h = 0,7 \times 225 = 161$$

$$\lambda = 3,46l_f/b = 18,57$$

$$\alpha = 0,8$$

$$N_{max} = \alpha \times B_r \times f_{c28} / (0,9 \times \gamma_b) = 490,89 \text{ kN} > N_u$$

Donc on adoptera la valeur minimale des armatures

$$A_s = 4 \times 2 \times (1 + 0,30) = 10,4 \text{ cm}^2$$

#### 5.3.4. Mur en aile

Pression à la base du mur :

$$P = \gamma \times k_p \times h = 13,66 \text{ kN/m}^2$$

Moment fléchissant dû à la poussée de terre

$$M = \gamma \times k_p \times \frac{h^3}{6} = 18 \times 0,33 \times \frac{1,6^3}{6} = 12,04 \text{ kN.m}$$

- Calcul à l'ELU

$$M_u = 1,35 \times 12,05 = 16,26 \text{ kN.m}$$

$$N_u = 1,35 \times 13,66 = 18,44 \text{ kN.m}$$

$$e = M_u/N_u = 0,88$$

Section partiellement comprimée

$$M_{\text{fict.}} = N_u \times e_a$$

$$e_a = e + (d - 0,5h) = 0,42 - 0,18 + 0,1 = 0,42$$

$$M_{\text{fict.}} = 18,44 \times 0,42 = 7,74 \text{ kN.m}$$

Calcul en flexion simple :

$$\mu_u = \frac{M_{\text{fict.}} \times 10^{-3}}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{7,74 \times 10^{-3}}{1 \times 0,27^2 \times 17} = 0,06 < 0,186 \quad ; \text{ donc on est au pivot A}$$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u}) = 0,077$$

$$Z_u = d(1 - 0,4 \times \mu_u) = 0,26$$

Section d'acier théorique : ferrailage

$$A_u = \left( \frac{\frac{M_{\text{fict.}}}{Z_u} - N_u}{\sigma_s} \right) \times 10 = \left( \frac{\frac{7,74}{0,26} - 18,44}{348} \right) \times 10 = 0,3 \text{ cm}^2$$

Tableau récapitulatif des sections d'acier

	Tablier			Radier			Piédroit		Mur en aile
	lit sup. B	lit sup. A,C	lit inf	lit sup. B	lit sup. A,C	lit inf.	A, C	B	
As théorique	ELU								
	21.16	7.66	15.83	11.16	3.56	15.83	14.10	10.40	0.30
	ELS								
	16.95	6.48	12.97	9.26	3.04	6.09	11.70		
As min	3.726			3.726			3.726		3.73
As retenue	21.16	7.66	15.83	11.16	3.73	15.83	14.10	10.40	3.73
choix As	HA14	HA12	HA14	HA12	HA10	HA14	HA14	HA12	HA10
espacement	10	15	10	10	20	10	10	10	20
Asreel	21.99	7.7	16.08	11.31	3.93	16.08	15.39	11.31	3.93
Ar = Asret/4	5.29	1.92	3.96	2.79	0.93	3.96	3.53	2.60	0.93

ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE BUTUMAGE DE LA BRETELLE DE  
DANAJI AU NIGER SUR UN TRONÇON DE DANAJI 17 KM

A min	3.726	3.726	3.726	3.726	3.726	3.726	3.726	3.726	3.73
Ar retenue	5.29	3.73	3.96	3.73	3.73	3.96	3.73	3.73	3.73
choix Ar	HA12	HA10	HA12	HA10	HA10	HA12	HA10	HA10	HA10
espacement	20	20	25	20	20	25	20	20	20
Areel	5.65	3.93	4.52	3.93	3.93	4.52	3.93	3.93	3.93

Annexe 7: Plans du ferrailage des dalots

**Annexe 8: Devis quantitatifs et estimatifs du projet**

N° Prix	Désignation	Unité	Qté	Prix unit HT-HD	Montant HT
<b>000: Installation de chantier</b>					
1001	Installation générale de chantier	FF	1	200 000 000	200 000 000
1002	Amenée et Repli du matériel	FF	1	150 000 000	150 000 000
1003	Bases vie entreprises	FF	1	500 364 000	500 364 000
1004	Installation de la mission de contrôle	FF	1	100 000 000	100 000 000
1005	déplacement de réseaux électrique (NIGELEC)	FF	1	12 727 000	12 727 000
1006	déplacement de réseaux téléphonique (SONATEL)	FF	1	636 400	636 400
1007	Déplacement de réseaux eau (SNEE)	FF	1	6364000	6 364 000
1008	Laboratoire	FF	1	10818000	10 818 000
<b>Sous total poste: 000</b>					<b>980 909 400</b>
<b>100 : Dégagement et travaux préparatoire de terrain</b>					
101	Abattage des petits arbres : > 100cm	U	9	50000	450 000
102	Décapage de sol végétal aux bords de la chaussée	m3	6 840	2 000	13 680 000
103	Démolition de radier buse existant	U	6	15 300	91 800
104	Démolition de dalot	U	3	30 000	90 000
105	Démolition de murettes existantes	U	2	130 000	260 000
<b>Sous total poste: 100</b>					<b>14 571 800</b>
<b>200: Terrassement</b>					
201	Déblais	m3	34146	2415	82462590

**ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE BUTUMAGE DE LA BRETELLE DE  
DANAJI AU NIGER SUR UN TRONÇON DE DANAJI 17 KM**

202	Remblais d'emprunt	m3	11513	7100	81742300
203	Plus-value de transport des matériaux de déblais ou remblais au -delà de 5km	m3xkm	16300	400	6520000
<b>Sous total poste 200</b>					<b>170724890</b>
<b>300 : Chaussée</b>					
301	Couche de fondation en graveleux latéritiques naturels	m3	56 775	7 733	439 041 075
302	Couche de base en graveleux latéritiques naturels	m3	34 146	8 011	273 543 606
303	plus-value de transport au prix de 201 et 202 au-delà de 5Km	m3xkm	20 400	500	10 200 000
<b>Sous total poste: 300</b>					<b>722 784 681</b>
<b>400 : Revêtement</b>					
401	Mise en œuvre de l'imprégnation	m2	171 000	1 153	197 163 000
402	Fourniture de cut back0/1	t	171	1034464	176 893 344
403	Mise en œuvre de l'enduit superficiel monocouche	m2	171 000	4 445	760 095 000
404	Fourniture de bitume pour enduits superficiels monocouche	t	305	1 034 464	315 511 520
405	Granulats pour enduits superficiels monocouche (6/10)	m3	1 077	2 783	2 997 291
406	Granulats pour enduits superficiels bicouche (6/10)	m3	2 054	2 783	5 716 282
407	mise en œuvre de l'enduit superficiel bicouche	m2	119 700	929	111 201 300

408	Pavé autobloquant pour trottoir	m2	6 000	19 820	118 920 000
<b>Sous total Poste 400</b>					<b>1 688 497 737</b>
<b>500: Assainissement</b>					
5.01	Bordure type T2	ml	2 000,00	900	1 800 000
5.02	Descente d'eau	ml	64	96 300	6 163 200
	Dalot cadre en béton Armé (y compris armature : ratio = 110kg/m3)				
503,1	Dalot : 1*1*1	ml	121,20	800 000	96 960 000
503,2	Dalot : 2*3*1,50	ml	76,6	3 750 000	287 250 000
503,3	Dalot : 1*3*1,50	ml	23,50	2 430 000	57 105 000
505	Fourniture et mise en œuvre de gabions	m3	288	59 708	17 195 904
5.12	Fourniture et mise en œuvre des Pères maçonnés	m2	173,88	22 381	3 891 608
5.13	Fourniture et mise en œuvre des enrochements	m3	196,52	26 911	5 288 550
<b>Sous total : 500</b>					<b>475 654 262</b>
<b>600 : Sécurité et signalisation</b>					
	<b>Signalisation verticale</b>				
6.01	Panneau de signalisation de type A (signalisation de danger)	u	18	132 078	2 377 404
6.02	Panneau de signalisation de type AB	u	21	302 551	6 353 571
6.03	Panneau de signalisation de type EB	u	13	180 000	2 340 000
6.04	Ralentisseur	u	4	370 893	1 483 572
	<b>Signalisation horizontale</b>				
6.11	Lignes discontinues (T1) d'axe largeur 10cm	ml	3 913,00	1 060	4 147 780

**ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE BUTUMAGE DE LA BRETELLE DE  
DANAJI AU NIGER SUR UN TRONÇON DE DANAJI 17 KM**

6.12	Lignes discontinues de rives (T2)	ml	15 790,00	1 134	17 905 860
	<b><i>Eclairage Public</i></b>				
6.15	Fourniture et pose des candélabres dans le traversé d'agglomération	FF	50	2 500 000	125 000 000
<b>Sous total : 500</b>					<b>159 608 187</b>
<b>700: Environnement et Travaux connexes</b>					
7.01	Plantation d'alignement et d'ombrages	u	1 300,00	35 000	45 500 000
7.03	Construction de salle de classes	u	13	15 000 000	195 000 000
	construction mur clôture	ml	15000	35 000	525 000 000
	Aire de jeux équipés pour l'école jardin d'enfants	FF	3	3 000 000	9 000 000
7.04	Provision pour le programme de suivi environnement	FF	1	6 000 000	6 000 000
<b>Sous total : 700</b>					<b>780 500 000</b>
<b>TOTAL GENERAL EN FRANCS CFA HORS TAXES</b>					<b>4 993 250 957</b>