



# **AMÉNAGEMENT DE LA VOIE D'ACCÈS À LA NOUVELLE CIMENTERIE DE KOSSODO**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU  
**MASTER.2**

OPTION : Routes et Ouvrages d'arts

Présenté et soutenu publiquement le : 28/06/2013

Par

**Hervé TAMALGO**

**Travaux dirigés par : Dr Abibou CISS**

Enseignant Chercheur du 2ie au

CENTRE COMMUN DE RECHERCHE SUR L'ENERGIE ET HABITAT DURABLE

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Abibou CISS

Membres et correcteurs :

J.Rémi.MINANE

Césaire HEMA

**Promotion 2013**

« Quand on n'a pas de talent, on dit tout.  
L'homme de talent choisit et se contient ».

QUINTILIEN

## DÉDICACE

Nous dédions ce travail signe de succès à :

- Dieu tout puissant a qui nous rendons grâce pour la santé, la protection et l'assistance.
- À mon père TAMALGO Dominique pour tous les efforts qu'il a consenti pour nous, et surtout pour la grande confiance qu'il a placée en nous. Que votre fierté soit manifeste.
- À ma mère SAWADOGO Berthe Emma, arrachée très tôt à notre affection, que votre fierté soit toujours notre source d'inspiration et que la terre vous soit légère.
- A mon grand-père TAMALGO Jacques et à ma grand-mère TAMALGO/KIMA Monique noyau vital de ma réussite à l'école. Vous qui avez été autant proches de moi comme un père et une mère ceci est donc votre fierté. Soyez bénis en abondance.
- À mon grand-père YOUGBARE Emmanuel je me souviendrai de votre contribution et de votre soutien tout particulier dans cette réussite.
- À mon oncle TAMALGO Charles et sa femme TAMALGO Mireille, plus que vous ne le sachiez votre soutien tout particulier a été d'un apport capital.
- À ma grand-mère sœur Berthe TAMALGO, toute ma reconnaissance pour vos divers conseils, prières et vos encouragements.
- À mes deux petits frères Kevin et Cyriaque TAMALGO que ceci soit votre source d'inspiration. Sachez que la moelle la plus douce se trouve dans l'os le plus dur.

## REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont particulièrement à :

- Dr Abibou CISS, mon directeur de mémoire pour sa disponibilité son assistance, et surtout ses conseils.
- Dr NACOULMA Ousmane, Directeur Général de CAEM Sarl pour sa disponibilité et son attention particulière.
- M. Aboulaye RAHIM, mon maitre de stage pour sa disponibilité et son assistance assidue.
- M. YAMEOGO Wilfrid pour toute son assistance et son soutien.
- M.SOMDA Éloge dont la contribution est une valeur ajoutée à ce travail.
- Mme ZOUNGRANA/TAMALGO Julie pour sa contribution à ce travail.
- A tout le personnel de CAEM Sarl : l'ambiance et la collaboration ont été plus que fraternelles.
- A tout le personnel de 2iE : l'originalité de l'école se trouve dans votre rigueur.
- A tout le personnel de la filière génie civil du 2iE : la qualité et la rigueur de la formation n'a rien à envier aux autres écoles d'ingénieur de conception.
- À ma bien aimée SAVADOGO Nafissatou pour son accompagnement durant ces cinq dernières années.
- À mon cher ami MOUSTAPHA MAHAMA Hissene pour son soutien permanent.

## RÉSUMÉ

Le projet de notre mémoire de fin d'étude a porté sur l'aménagement d'une voie d'accès au site d'une nouvelle cimenterie situé a Kossodo à Ouagadougou (Burkina Faso). Il s'agit d'aménager une voie existante, d'une longueur d'environ 4.4Km, reliant la Route Nationale 3 à la cimenterie.

Notre mémoire d'une durée de trois mois s'est déroulé avec le Cabinet Africain d'Études et de Maitrise d'œuvres (CAEM) sis à Ouaga 2000 sous la tutelle de M. Aboulaye RAHIM notre maître de stage et de Dr Abibou CISS notre encadreur.

Le but de notre étude est de proposer l'aménagement de la voie existante, de dimensionner la chaussée, de prévoir un drainage des eaux pluviales et enfin de mener une étude d'impact environnementale.

Pour sa réalisation, divers outils informatiques et techniques ont été utilisés dont le logiciel « Piste » pour le tracé de route, « Alizé » pour le dimensionnement de la chaussée et « Autodesk Autocad 2012 » pour le dessin des ouvrages d'assainissement et de décharges. Parmi les documents techniques, nous pouvons citer des documents du Centre Expérimental de recherche et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP), du Service d'Étude Technique de Routes et Autoroutes( SETRA.) et des supports de cours de Mécanique de sols, Aménagement routier et des géotechniques routières.

À la fin du projet, beaucoup de propositions ont été faites à savoir : le revêtement de la chaussée en béton bitumineux, le dimensionnement béton armé des caniveaux pour l'assainissement transversal, ainsi que celui des dalots pour servir de décharge. Enfin des mesures de prévention et d'atténuation pour la limitation d'impacts environnementaux sont proposées.

### Mots Clés :

- 
- 1 –aménagement urbain**
  - 2 –voie d'accès**
  - 3 – CIMBURKINA**
  - 4–Revêtement de chaussée**
  - 5-Kossodo**

## **ABSTRACT**

The project involves the construction of an access road to a newly constructed cement company at Kossodo in Burkina Faso. This is to develop a dirt track with a total length of 4.4Km connecting the National Highway3 to the cement company.

This project for a period of three months was held with the Office of African Studies and Master of works (CAEM) in Ouaga 2000 under the tutelage of my supervisor and my mentor M. Aboulaye RAHIMM .Abibou Ciss.

The goal of this project is to make the road's layout, size the road, and provide drainage and finally conduct an environmental impact.

The aim of this project is to make a layout of thee road, to calculate the dimensions, to propose drainage and to prevent and to limit the environmental impacts.

For its achievement, various computer tools and techniques were used with in "Piste" for the different layers of the road, "Alizé"for pavement design and "Autodesk Autocad 2012"for the design of structures such as culverts and drains.

Among the technical documents, we can cite documents of Experimental Research and Studies of Building and Public Works (CEBTP), the Technical Study Service Roads and Highways(SETRA.) and course materials, Mechanics soil, road traffic and Planning geotechnical.

At the end of the project, solutions were proposed for each case and within these solutions; we proposed gutters with various dimensions for transversal cleaning, scupper and buzzard for longitudinal cleaning, anasphalting bya layer of 5cm and prevention and attenuation's measure to limit the environmental impact.

### **Key words:**

- 
- 1 –Arrangement**
  - 2 –Track**
  - 3 –CIMBURKINA**
  - 4 –Coating**
  - 5-Kossodo**

## **LISTE DES ABRÉVIATIONS**

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

ARP : Aménagement des Routes Principales.

BV: Bassin Versant

CAEM: Cabinet Africain d'Études et de Maîtrise d'œuvres

CBR: California Bearing Ratio

CEBTP : Centre Expérimental de recherche et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics

GPS: Global Positioning System

LNBTTP : Laboratoire National de Bâtiment et des Travaux Public

ONEA : Office National de l'Eau et de l'Assainissement

PHE : Plus Hautes Eaux

PK : Point kilométrique

PL : Poids Lourds

RN : Route Nationale

SETRA : Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes

SITARAIL : Société Internationale de Transport Africain par Rail.

TC : Trafic Cumulé

TJMA: Trafic Journalier Moyen Annuel

TMJPL : Trafic Moyen Journalier de Poids Lourds

TDR : Termes De référence

TN : Terrain Naturel

Vr : Vitesse de Référence

APS : Avant-Projet Sommaire

AEP : Adduction d'Eau Potable

APD : Avant-Projet Détaillé

## TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	5
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL.....	6
1. Brève description de CAEM .....	6
2. Adresses et contacts .....	6
3. Domaines d'interventions .....	6
4. Ressources humaines.....	7
5. Expériences internationales.....	7
CHAPITRE 2 : PRESENTATION GENERALE DU PROJET .....	9
1. Présentation du projet.....	9
2. Présentation du site du projet .....	9
3. État des lieux du site du projet .....	10
CHAPITRE 3 : ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES.....	11
1. Études topographiques .....	11
1.1. Phase terrain .....	11
1.2. Phase bureau.....	12
1.3. Tracé en plan .....	12
1.4. Profil en long TN .....	14
2. Études géotechniques .....	15
2.1. Investigations géotechniques.....	15
2.2. Les essais géotechniques au laboratoire.....	15
2.3. Bases de classification des portances des sols de la plate-forme.....	16
2.4. Dimensionnement des structures de la chaussée .....	16
CHAPITRE 4 : ETUDES DE DRAINAGE DES EAUX PLUVIALES .....	22
1. Assainissement longitudinal.....	22
1.1. Choix des ouvrages d'assainissement .....	22
1.2. Calcul des débits .....	22
1.3. Pré dimensionnement des caniveaux.....	24
1.4. Calcul des sollicitations et choix des armatures .....	25
2. Assainissement transversale .....	26
2.1. Détermination du débit de crue décennale .....	27
2.2. Pré dimensionnement des ouvrages. ....	28

CHAPITRE 5 : CONCEPTION ET AMENAGEMENT DE LA VOIRIE .....	29
1. Généralités.....	29
2. Éléments de conception de la voirie.....	29
2.1. Définition des critères d'aménagement .....	29
2.2. Hypothèses de tracés. ....	29
3. Conception du trace des voies .....	29
4. Profil en long des voies .....	30
5. Profils en travers de la voie .....	30
6. Signalisation routière.....	31
6.1. La signalisation horizontale .....	31
6.2. Signalisation verticale .....	31
7. Éclairage public.....	32
CHAPITRE 6 : AUTRES ELEMENTS DU PROJET.....	35
1. Impacts environnementaux.....	35
1.1. État environnemental du site avant le projet .....	35
1.2. Les mesures environnementales à mettre en œuvre .....	36
2. Devis quantitatif et estimatif .....	41
3. Difficultés rencontrées et solutions proposées .....	41
CONCLUSION .....	42
RECOMMANDATIONS - PERSPECTIVES .....	43
ANNEXES .....	45

**LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1: paramètres géométriques du tracé en plan .....	12
Tableau 2: axe en plan.....	13
Tableau 3: paramètres géométriques du profil en long.....	14
Tableau 4: profil en long .....	14
Tableau 5: classification selon LE CEBTP .....	16
Tableau 6: Classe de trafic selon le CEBTP .....	17
Tableau 7: Tableau de dimensionnement suivant le CEBTP 1980.....	18
Tableau 8: types de variantes .....	19
Tableau 9: hypothèses de départ pour la simulation dans Alizé-LCPC avec la variante 1.....	20
Tableau 10: hypothèses de départ pour la simulation dans Alizé-LCPC avec la variante 2....	20
Tableau 11: résultats des contraintes et déformations pour la variante 2.....	21
Tableau 12: résultats des contraintes et déformations pour la variante 3.....	21
Tableau 13: caractéristiques des bassins versants .....	23
Tableau 14: débit d'engorgement des caniveaux avec proposition de section .....	24
Tableau 15: débit d'érosion des caniveaux .....	25
Tableau 16: Sections retenues pour chaque caniveau .....	25
Tableau 17: Sollicitations et sections d'armatures .....	26
Tableau 18: caractéristiques des bassins versants .....	27
Tableau 19: sections d'aciers d'armatures .....	28
Tableau 20: signalisations verticales.....	31
Tableau 21: les mesures environnementales préconisées .....	37
Tableau 22: Récapitulatif du devis estimatif.....	41

**LISTE DES FIGURES**

Figure 1:vue aérienne de la zone du projet ..... 9  
Figure 2: variante1 ..... 33  
Figure 3:variante 2 ..... 34

## INTRODUCTION

Pays en voie de développement, le BURKINA FASO est en plein chantier. Ce vaste chantier connaît très souvent beaucoup de retard dans les délais d'exécution. Ces retards sont en partie dus aux manques de matériaux disponibles tel le ciment. Pour pallier à cela une société de la place a décidé de construire une usine de production de ciment. C'est dans ce cadre qu'a été prévu l'aménagement d'une voie pour faciliter l'accès à cette nouvelle usine de production de ciment.

Pour l'aménagement de cette voie d'accès, la nouvelle société de ciment nommée CIMBURKINA a confié à CAEM Sarl l'étude de l'avant-projet sommaire, avant-projet détaillé, l'étude d'impacts environnementaux et l'élaboration du dossier d'appel d'offre du projet dénommé : « travaux de construction et de bitumage de la voie d'accès au site de la nouvelle cimenterie sis a Kossodo ».

Il est question dans ce présent document de l'étude technique détaillée de la voie d'accès à la nouvelle cimenterie de Kossodo. Il est donc impératif et judicieux de connaître au préalable cette zone de projet pour voir s'il existe ou pas des données sur la topographie et sur l'hydrologie. En plus de cela, il faut nécessairement connaître les caractéristiques géotechniques (la portance et le trafic) de la plate-forme ainsi que celles des matériaux qui devraient constituer la chaussée. Quelles seront les classes et les types de sols de la plate-forme ? quel type de trafic devra subir la chaussée pendant sa durée de vie ? comment protéger la route contre la venue des eaux ? quels seront les ouvrages d'assainissement à prévoir ? quel sera l'impact de ce projet sur l'environnement et sur les êtres vivants ?

Pour l'atteinte de nos objectifs nous allons travailler de la façon suivante :

- Présentation du projet et de la structure d'accueil ;
- Études techniques détaillées ;
- Étude de drainage des eaux pluviales ;
- Conception et aménagement de la voirie ;
- Autres éléments du projet.

## CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

### 1. Brève description de CAEM

CAEM est un bureau d'étude répondant au nom de : Cabinet Africain d'Études et de Maîtrise d'œuvres qui a son siège social à Ouaga2000. Créé en 1995 avec une vingtaine d'ingénieurs et de Techniciens provenant des différents pays, ce cabinet opère déjà dans beaucoup de pays de la sous-région et intervient aussi dans plusieurs domaines.

### 2. Adresses et contacts

E-mail : [caem@fasonet.bf](mailto:caem@fasonet.bf)

Site web: [www.caem-ingenierie.com](http://www.caem-ingenierie.com)

Téléphone : (+226) 50 37 66 19

Fax : (+226) 50 37 66 54

Boite postale : 01 BP 6615 Ouagadougou 01 Burkina Faso

### 3. Domaines d'interventions

Les domaines dans lesquels, CAEM intervient sont :

- **Génie-Civil**
  - bâtiments
  - travaux publics
  - assainissement
  - construction métallique
  - aéronautique
- **Génie-Rural**
  - retenue d'eau
  - aménagement
- **hydraulique**
  - Adduction d'eau
  - Forage
  - AEP
  - Assainissement collectif
- **Environnement**
  - étude d'impact
  - Gestion déchets

#### **4. Ressources humaines**

Le staff de CAEM, depuis sa création en 1995, a acquis une grande expérience professionnelle dans les domaines tels que :

- Études et conceptions (APS, APD, étude d'exécution, élaboration de dossiers d'appel d'offres)
- Contrôle et suivie de chantiers (maîtrise d'œuvres)
- Assistance aux entreprises
- Formations

Les compétences humaines de CAEM se composent d'un personnel permanent et des collaborateurs extérieurs (consultants).

L'équipe permanente du siège comprend :

- Un directeur Général, Docteur Ingénieur en génie civil de l'ENPC de Paris.
- Un ingénieur routier, Chef Département Technique ;
- Deux ingénieurs Génie-Rural ;
- Deux ingénieurs Génie-Civil ;
- Un technicien Supérieur en Génie-Rural ;
- Deux brigades complètes de topographes ;
- Quatre Techniciens Supérieurs en bâtiment ;
- Deux Techniciens Supérieurs en topographie ;
- Une Secrétaire de Direction ;
- Un Chef de Département Administratif et Financier (DAF)
- Des Agents Administratifs ;
- Des chauffeurs ;
- Un chargé d'accueil.

#### **5. Expériences internationales**

CAEM développe progressivement une vocation régionale; ainsi il intervient déjà dans les pays suivants :

- CONGO BRAZZAVILLE
- COTE D'IVOIRE
- GUINEE BISSEAU
- GUINEE CONAKRY

- NIGER
- REPUBLIQUE CENTRAFRICAINE
- TOGO

## CHAPITRE 2 : PRESENTATION GENERALE DU PROJET

### 1. Présentation du projet

Dans le cadre de la mise en œuvre de la stratégie cohérente et dynamique du développement du secteur des industries au Burkina Faso, une nouvelle société de la place a entrepris des travaux d'aménagement de la voie d'accès à son site sis à Kossodo.

L'étude technique a pour but de déterminer, concevoir et quantifier la nature des interventions et aménagements à appliquer sur cette route pour des travaux de construction y compris le bitumage.

L'objectif spécifique de ce projet est de faciliter l'accès au site de la nouvelle cimenterie.

Par ailleurs ce projet permettra également de contribuer à l'objectif général.

### 2. Présentation du site du projet



Figure 1:vue aérienne de la zone du projet

Source : Google Earth.

Le site dudit projet se trouve dans la zone industrielle de Kossodo. La voie pour y accéder commence juste à l'arrière EST de l'abattoir frigorifique de Ouagadougou depuis la route nationale N°3 (soit la rue 25 205). Elle longe les rails et au bout de 4.4km il se trouve à droite des rails là.

### **3. État des lieux du site de projet**

Dans l'ensemble du projet, on constate qu'une voie avait été aménagée. On note également la présence d'un chemin de fer tout au long de la voie d'accès au site. On observe également quelques sentiers menant vers des habitations. L'emprise de la voie existante varie de 25 à 60 m. La présence de quelques sociétés industrielles au début de la voie d'accès fait que l'on note la présence d'une couverture du réseau électrique, téléphonique et même d'eau potable. En profondeur la voie n'est pas couverte par un réseau électrique mais une ligne électrique de haute tension la traverse.

## CHAPITRE 3 : ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES

### 1. Études topographiques

Les opérations topographiques ont été faites par notre structure d'accueil. En tant que futur ingénieur nous étions associés à cette équipe afin de suivre les opérations.

#### 1.1. Phase terrain

Pour la réalisation des travaux topographiques de terrain, l'équipe mobilisée était constituée d'une brigade de levée tachéométrique à la station totale. Le personnel et le matériel suivant ont été mobilisés :

##### 1.1.1. Personnel

- Un opérateur topographique
- Deux porteurs de canne
- Deux aides topographes
- Un chauffeur

##### 1.1.2. Matériel

- Une station totale de marque LEICA et ses accessoires
- Un GPS
- Du petit matériel : piquets, marteaux, chaîne, pioches, etc.

##### 1.1.3. Logistique

- Un véhicule 4x4 tout terrain
- Un ordinateur portable

##### 1.1.4. Méthodologie adoptée

Les levés ont porté sur la mise en place d'une polygonale de base sur laquelle se sont appuyés tous les levés de détails ainsi que les travers.

Une polygonale de base a été matérialisée et observée à la station totale au distance-mètre infrarouge. Les angles horizontaux ont été observés deux fois ainsi que les distances, l'une en cercle à gauche et l'autre en cercle à droite.

Il a été observé en moyenne cinq (05) points par profil en travers. Le nombre de points levés a été augmenté de cinq (05) à dix (10) dans les zones de dépressions ou les lignes de ruptures de pente sont assez importantes, c'est-à-dire susceptibles d'abriter des ouvrages.

Les petites agglomérations, les ouvrages (dalots et radiers), les regards, les réseaux

(électriques et téléphoniques) qui ont parsemé le site ont fait l'objet d'un levé de détail.

## 1.2. Phase bureau

Le transfert des données de terrain est fait à l'aide de logiciel : « Leïla Survey office », le calcul est fait avec un logiciel topographique du nom de « Topo Bonjour ». C'est ce qui a permis d'avoir les coordonnées X, Y, Z les points de la polygonale, des profils en travers, et des détails. La conception du tracé géométrique et la définition de la ligne rouge sont effectuées à l'aide du logiciel Piste 5. Les plans ainsi générés sont habillés et réalisés à l'aide du logiciel de dessin technique Autodesk AutoCAD 2012.

**NB** : Les coordonnées planimétriques X et Y ont été rattachées au système de base GWS 84. Les coordonnées altimétriques Z ont été rattachées au système local que nous avons-nous même créé. Tout ceci nous a permis de monter le tracé en plan de la route et le profil en long du terrain naturel.

## 1.3. Tracé en plan

Le tracé en plan est la projection sur un plan horizontal de l'axe de la route. Cet axe est constitué par des points reliés entre eux par des segments de droite. Ces segments de droite sont raccordés entre eux par des courbes qui peuvent être soit des cercles, soit des clothoïdes, soit une combinaison des deux. Dans le cas présent nous avons utilisé les cercles comme courbe. La combinaison de ces éléments doit respecter au maximum les contraintes topographiques, économiques, sécuritaires et de confort.

En fonction de la vitesse de référence adoptée, des valeurs minimales des rayons permettant d'atteindre le confort et la sécurité sont données dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 1: paramètres géométriques du tracé en plan**

Désignation du paramètre		Symbole et unité	Catégorie de la route					
			4 <sup>e</sup>	3 <sup>e</sup>	2 <sup>e</sup>	1 <sup>er</sup>	Except	
Vitesse de référence		Vr (km /h)	40	60	80	100	120	
Tracé en plan	Devers maximal	$\delta M(\%)$	7	7	7	7	7	
	Rayon en plan RH (m)	Minimal absolu (dévers $\delta M$ )	RHm	40	120	240	425	665
		Minimal	RHN ( $\delta\%$ )	120 (5%)	240	425	665	1000

	normal (devers)			(5%)	(5%)	(4%)	(4%)
	Au dévers minimal	RH' (2.5%)	250	450	650	900	1500
	Non déversé	RHnd	400	600	900	1300	1800

Source :ARP( Aménagement des routes principales) (SETRA)

**Tableau 2:axe en plan**

**AXE EN PLAN**

Elém	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			0.000	666819.236	1372847.685
D1	ANG = 154.562g	2699.980			
			2699.980	664778.256	1374615.252
C1	XC= 664581.858 YC= 1374388.475 R = 300.000	0.039			
			2700.020	664778.226	1374615.278
D2	ANG = 154.571g	1096.597			
			3796.617	663949.188	1375333.066
C2	XC= 663818.276 YC= 1375181.864 R = 200.000	39.016			
			3835.632	663917.395	1375355.575
D3	ANG = 166.990g	75.342			
			3910.974	663851.957	1375392.914
C3	XC= 663772.661 YC= 1375253.946 R = 160.000	45.288			
			3956.262	663809.989	1375409.531
D4	ANG = 185.009g	31.107			
			3987.369	663779.741	1375416.788
C4	XC= 663742.413 YC= 1375261.203 R = 160.000	33.130			
			4020.499	663746.957	1375421.138
D5	ANG = 198.192g	111.329			
			4131.829	663635.673	1375424.301
C5	XC= 663631.128 YC= 1375264.365 R = 160.000	33.794			
			4165.623	663602.042	1375421.699
D6	ANG = 211.638g	99.467			
			4265.090	663504.232	1375403.617
C6	XC= 663540.590 YC= 1375206.950 R = 200.000	25.958			
			4291.048	663479.084	1375397.257
D7	ANG = 219.900g	53.448			
			4344.496	663428.227	1375380.821
LONGUEUR DE L'AXE 4344.496					

#### 1.4. Profil en long TN

De façon générale, le profil en long TN est celui de la voie aménagée existante sur la zone de projet. Il est composé par des éléments rectilignes caractérisés par des pentes et des raccordements paraboliques caractérisés par leur rayon.

Pour des raisons de confort dynamique et de confort visuel, les paramètres géométriques du profil en long doivent respecter les caractéristiques limites résumées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 3: paramètres géométriques du profil en long**

Désignation du paramètre		Symbole et unité	Catégorie de la route					
			4	3	2	1	Except	
Vitesse de référence		V <sub>r</sub> (km /h)	40	60	80	100	120	
Profil en long	Déclivités maximales en rampe	δM (%)	8	7	6	5	4	
	Rayon en angle saillant RV (m)	Minimal absolu	RV <sub>m</sub>	500	1500	3000	6000	12000
		Minimal normal	RV <sub>N</sub>	1500	3000	6000	12000	12000
	Rayon en angle rentrant RV' (m)	Minimal absolu	RV <sub>m</sub> '	700	1500	2200	3000	4200
		Minimal normal	RV <sub>N</sub> '	1500	2200	3000	4200	6000

Source : ARP ( Aménagement des routes principales)SETRA

**Tableau 4: profil en long**

**PROFIL EN LONG**

Elém	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0.000	295.502
D1	PENTE= 0.458 %	1752.796		
			1752.796	303.531
PAR1	S= 1747.2989 Z= 303.5182 R = 1200.00	0.092		
			1752.888	303.531
D2	PENTE= 0.486 %	1691.537		
			3444.425	311.410
PAR2	S= 3455.6034 Z= 311.4358 R = -2400.00	8.280		
			3452.705	311.434
D3	PENTE= 0.121 %	492.877		
			3945.382	312.029
PAR3	S= 3948.2803 Z= 312.0308 R = -2400.00	9.237		
			3954.618	312.022
D4	PENTE= -0.264 %	389.877		
			4344.496	310.993
LONGUEUR DE L'AXE 4344.496				

## 2. Études géotechniques

Les études géotechniques ont été conduites par deux laboratoires différents : le laboratoire national de bâtiment et des travaux publics (LNBTP) et un laboratoire privé de la place. En tant que futur ingénieur nous avons été associés aux travaux de terrain.

### 2.1. Investigations géotechniques

Les études géotechniques du LNBTP ont porté essentiellement sur la reconnaissance géotechnique du sol de plate-forme et les essais de laboratoire effectués sur les différents échantillons prélevés. Au total 16 sondages manuels en zigzag ont été effectués sur la zone de projet.

L'étude géotechnique du laboratoire privé a porté sur la recherche de matériaux d'emprunt pour les travaux de terrassement : une zone d'emprunt a été localisée non loin de notre zone de projet en partant de la RN3 vers Ziniaré à 7.33 km de notre PK0.

Des sondages manuels à maille de 50x50 m ont été effectués sur la zone d'emprunt. Des mélanges homogènes ont été constitués sur la base des échantillons prélevés. Ces mélanges ont fait l'objet d'essais (analyse granulométrique, limites d'Atterberg, Proctor modifié et CBR) pour donner les caractéristiques des matériaux d'emprunt et leur utilisation possible.

### 2.2. Les essais géotechniques au laboratoire

À la suite de la phase de terrain, les échantillons prélevés sur la zone de projet ont fait l'objet des essais suivants :

Pour les échantillons de la plate-forme :

- -Essais d'identification (analyse granulométrique et limite d'Atterberg) pour chaque échantillon de sondage.
- Essai Proctor modifié et CBR.
- Pour les échantillons d'emprunt, chaque mélange homogène a fait l'objet des essais suivants :
- -Analyse granulométrique
- -Limites d'Atterberg
- -Proctor modifié
- -Essai CBR

### 2.3. Bases de classification des portances des sols de la plate-forme

Afin de permettre de procéder à un dimensionnement conséquent des structures de chaussée pour la réalisation du projet, nous nous sommes servi du Guide du CEBTP (Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux).

Les spécifications techniques des classifications des sols en fonction de leur portance selon le CEBTP sont :

**Tableau 5: classification selon LE CEBTP**

Portance CBR	
CBR < 5	S1
5 < CBR < 10	S2
10 < CBR < 15	S3
15 < CBR < 30	S4
CBR > 30	S5

### 2.4. Dimensionnement des structures de la chaussée

Le dimensionnement de la structure de chaussée de la voie du projet est basée sur :

- La classe de portance du sol support des couches de chaussée.
- Le trafic considéré en termes d'essieux équivalents de 13 tonnes pendant la durée de vie définie.
- Les caractéristiques des matériaux pour chaussée répondant aux exigences de la portance du sol et du trafic pour la durée de vie définie.

#### 2.4.1. Portance des sols support du projet

Étant donné que le LNBTP n'a pas encore fourni les résultats de portance, nous allons donc

considérer un sol de portance S3. Partant de cette hypothèse nous purgerons tous les sols de portance inférieure à S3.

#### 2.4.2. Détermination du trafic

**Tableau 6: Classe de trafic selon le CEBTP**

Essieu équivalent de 13 tonnes (NE)		
	<b>T1</b>	<b>&lt; 5x10<sup>5</sup></b>
<b>5x10<sup>5</sup>&lt;</b>	<b>T2</b>	<b>&lt; 1.5x10<sup>6</sup></b>
<b>1.5x10<sup>6</sup>&lt;</b>	<b>T3</b>	<b>&lt; 4x10<sup>6</sup></b>
<b>4x10<sup>6</sup>&lt;</b>	<b>T4</b>	<b>&lt; 10<sup>7</sup></b>
<b>10<sup>7</sup>&lt;</b>	<b>T5</b>	<b>&lt; 2x10<sup>7</sup></b>

##### a. Données d'appréciation et d'estimation du trafic

###### Analyse d'appréciation du trafic

À cette phase de détermination du trafic actuel et futur à considérer pour le dimensionnement des structures de chaussée, différentes contraintes se posent :

- Les termes de référence ne donnent pas d'indication sur le trafic à considérer ;
- Les termes de référence ne prévoient pas d'études de trafic dans des sites similaires pour pouvoir faire une estimation et une projection réaliste ;
- Le maître d'ouvrage ne dispose pas de données de trafic sur la voie existante.

En l'absence de données de trafic, nous estimerons le trafic à considérer en nous basant sur l'hypothèse suivante :

Nous choisirons comme durée de vie du projet 15 ans.

Il nous a été communiqué qu'au démarrage de l'usine il sera transporté par année une quantité de produit allant jusqu'à 1200000 tonnes. Ces produits seront transportés par des camions de 30 tonnes. Cela nous montre que par année il y aura 40.000 passages de camions qui vont circuler au compte de ladite usine. Ramené en jour on a environ 110 camions.

Une estimation du trafic lors des investigations topographiques et géotechniques nous avait montré que plus de 100 camions circulent déjà par jour sur cette route.

A la mise en service on aura environ un trafic de 210 PL/jour

On aura donc :

TMJPL : 210PL.

Taux de croissance annuel : 5%

Le trafic cumulé ( $T_c$ ) est le nombre de véhicules qui passeront sur la route pendant sa durée de vie. Nous considérons une évolution exponentielle du trafic car c'est le cas le plus défavorable.

Estimation du trafic

En se référant au guide pratique de dimensionnement de chaussée pour les pays tropicaux (CEBTP) et dans le cas d'une croissance exponentielle, l'utilisation de la formule de calcul du trafic donne un trafic cumulé poids lourd de  $1,82.10^6$  ; ce qui donne une classe de trafic T3 pour le tronçon.

**b. Dimensionnement structurale de la chaussée**

– **Abaques de dimensionnement.**

**Tableau 7: Tableau de dimensionnement suivant le CEBTP 1980**

Trafic T3-T4		S1		S2		S3		S4		S5	
		T3	T4	T3	T4	T3	T4	T3	T4	T3	<b>T4</b>
R	Béton bitumineux	5		5		5		5		5	
B	Graveleux latéritique naturel	20		20		20		20		25	
F	Graveleux latéritique naturel	40		30		20		15		0	
R	Béton bitumineux	5	7	5	7	5	7	5	7	5	
B	Graveleux latéritique ou grave naturelle améliorée au ciment.	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
F	Graveleux latéritique naturel ou grave naturelle O/D	45	50	25	30	20	25	15	20	0	
R	Béton bitumineux	5	7	5	7	5	7	5	7	5	<b>7</b>
B	Concassé 0/d	20	25	20	25	20	25	20	25	20	<b>25</b>
F	Graveleux latéritique naturel	40	45	30	30	25	25	20	20	0	<b>0</b>

	ou grave naturelle O/D ou tout venant concassé										
R	Béton bitumineux	5	7	5	7	5	7	5	7	5	<b>7</b>
B	Concassé 0/d	60	65	45	50	40	45	30	35	20	<b>25</b>
F											
R	Béton bitumineux	5		5		5		5		5	
B	Grave naturelle, grave latéritique naturelle ou concassé O/D	25		25		25		25		20	
F	Sable argileux	45		30		25		20		0	
R	Béton bitumineux	5		5		5		5		5	
B	Sable argileux amélioré au ciment	20		20		20		20		20	
F	Sable argileux.	55		35		25		20		0	

– **Choix de la structure de chaussée.**

Pour le couple T3 S3, il existe plusieurs variantes (voir tableau ci-dessus). Nous allons considérer deux variantes et à l'issue de la vérification avec le logiciel Alizé-LCPC, une variante sera choisie.

**Tableau 8:types de variantes**

<b>Variantes</b>	<b>Couche de roulement</b>	<b>Couche de base</b>	<b>Couche de fondation</b>
Variante 1	5 cm de béton bitumineux	20 cm de grave naturelle améliorée au ciment (4%)	20 cm graveleux latéritique naturel
Variante 2	4 cm de béton bitumineux	15 cm de grave bitume	25 cm graveleux latéritique naturel

– **Vérification par Alizé-LCPC**

Paramètres

Nombre moyen de poids lourds journalier par sens de circulation : 210 PL

Coefficient d'agressivité : 1

Taux d'accroissement géométrique : 5%

Les hypothèses.

**Tableau 9: hypothèses de départ pour la simulation dans Alizé-LCPC avec la variante 1**

Couches	Nature	Module de Young	Condition des interfaces	Coefficient de poisson
Couche de roulement	Béton bitumineux	5400	collé	0.35
Couche de base	Grave naturelle améliorée au ciment	25000		0.25
Couche de fondation	Grave latéritique naturelle	400		0.35
Plate-forme		50		0.35

**Tableau 10: hypothèses de départ pour la simulation dans Alizé-LCPC avec la variante 2**

Couches	Nature	Module de Young	Condition des interfaces	Coefficient de poisson
Couche de roulement	Béton bitumineux	5400	collé	0.35
Couche de base	Grave bitume	7000		0.35
Couche de fondation	Grave naturelle ou concassée	400		0.35
Plate-forme		50		0.35

Pour valider les structures choisies, certaines vérifications s'avèrent nécessaires. Ces vérifications concernent les critères de ruptures qui sont :

- -La contrainte verticale  $\sigma_t$  à la surface du sol support doit être inférieure à la contrainte admissible  $\sigma_{t adm}$ :  $\sigma_t < \sigma_{t adm}$
- -La déformation verticale  $\epsilon_t$  à la surface du sol support doit être inférieure à la contrainte admissible  $\epsilon_{t adm}$ :  $\epsilon_t < \epsilon_{t adm}$

- -La déformation verticale  $\epsilon_z$  à la surface des autres couches doit être inférieure à la contrainte admissible  $\epsilon_{z adm} : \epsilon_z < \epsilon_{z adm}$

**Tableau 11: résultats des contraintes et déformations pour la variante 1**

Contraintes et déformations	$\epsilon_z$ (μdéf)	$\epsilon_t$ (μdéf)	$\sigma_t$ (MPa)
Valeurs calculées	214.1	-72.4	0.001
Valeurs admissibles	499.7	73.2	0.964

**Conclusion** : la variante 1 est vérifiée

**Tableau 12: résultats des contraintes et déformations pour la variante 2**

Contraintes et déformations	$\epsilon_z$ (μdéf)	$\epsilon_t$ (μdéf)	$\sigma_t$ (MPa)
Valeurs calculées	422.8	-161.6	0.001
Valeurs admissibles	499.7	73.2	0.964

**Conclusion** : la variante 2 est vérifiée.

Les conditions de contraintes et de déformations sont bien vérifiées pour les deux variantes. Pour des raisons économiques, il est préférable d'améliorer le graveleux latéritique disponible dans les carrières voisines que de chercher à importer la grave bitume. Ainsi la variante 1 sera retenue comme variante définitive.

## **CHAPITRE 4 : ETUDES DE DRAINAGE DES EAUX PLUVIALES**

Cette partie des études va nous permettre dans un premier temps de déterminer les paramètres hydrologiques des différents bassins versants afin de calculer les différents débits et dans un second temps de dimensionner les différents ouvrages d'assainissement et de décharge.

### **1. Assainissement longitudinal**

#### **1.1. Choix des ouvrages d'assainissement**

Les ouvrages choisis pour l'assainissement de la route sont des caniveaux rectangulaires en béton armé. Ils sont disposés des deux côtés de la chaussée. Ces ouvrages sont conçus pour recueillir les eaux de pluie provenant de la chaussée, des côtés bas et des quartiers périphériques.

Pour faciliter le passage au niveau des intersections, Les caniveaux seront recouverts par des dalles semi-lourdes.

Ces caniveaux sont placés à 3m de la chaussée et à 2m des clôtures.

#### **1.2. Calcul des débits**

Ce calcul de débit concerne le débit capable de l'ouvrage d'assainissement et le débit que peut apporter une pluie décennale, sur le bassin versant constitué de la chaussée et des habitations. Pour éviter les inondations suite au débordement des caniveaux, il faut que le débit provenant de la pluie décennale soit inférieur au débit capable de l'ouvrage d'assainissement.

La délimitation des bassins versants a été faite sur la base d'une carte topographique, d'une carte de lotissement et d'une carte hydrographique de la zone de Kossodo. La limite des bassins versants des caniveaux ainsi que leur superficie ont été tracé sur le plan topographique à l'aide du logiciel auto-CAD 2012.

Pour le calcul du débit des caniveaux la méthode utilisée est celle de CAQUOT, recommandée par le : « schéma directeur d'assainissement de la ville de Ouagadougou rapport final » mis en œuvre par le groupe BCEOM et SAHEL CONSULT.

Cette méthode qui dérive de la méthode rationnelle fait l'objet d'adaptation de la ville de Ouagadougou et donne des coefficients qui lui sont propres. Cette méthode est applicable aux bassins versants dont la superficie est inférieure à 400 ha et la pente comprise entre 0.002 et 0.05 m/m.

La formule de CAQUOT ici s'écrit comme suit :

$$Q(F) = K \cdot C^m \cdot I^n \cdot A^p$$

Ou :

Q (F) : est le débit maximal à l'exutoire de fréquence F, (m<sup>3</sup>/s)

C : est le coefficient de ruissellement

I : pente moyenne du bassin versant (m/m)

A : superficie du bassin versant en ha

K, m, n, p sont des coefficients et exposants dépendant des unités choisies et des coefficients de Montana.

Les coefficients de Montana ont été considérés pour une durée inférieure à une heure (1h) pour l'ensemble du réseau.

Ainsi l'expression générale de la formule devient donc :

$$Q(F) = \frac{1000 \cdot a}{9 \cdot (1,1)^b} \cdot C^{1,16} \cdot I^{(3b/8)} \cdot A^{0,95-0,2b} \cdot \left(\frac{L}{2A^{0,5}}\right)^{-0,6b}$$

Avec L comme la longueur du plus long chemin hydraulique

Pour la ville de Ouagadougou, l'expression de la formule de Montana selon la durée de retour est la suivante :

$$Q1 = 1,28 I^{0,23} A^{0,82} C^{1,16};$$

$$Q2 = 1,52 I^{0,23} A^{0,82} C^{1,16};$$

$$Q5 = 2,03 I^{0,23} A^{0,82} C^{1,16};$$

$$Q10 = 2,38 I^{0,23} A^{0,82} C^{1,16}.$$

**Tableau 13: caractéristiques des bassins versants**

Désignation	Bassin versant N°1	Bassin versant N°2
Superficie (ha)	8.69	0.16
Longueur (m)	3795.9m	511.1
Côte maximale(m)	313.5	311.29
Côte minimale(m)	295.30	310.43
Pente moyenne	0.048	0.017
Coefficient de ruissellement	0.70	0.70
Coefficient de ruissellement de la chaussée	0.95	0.95
Superficie de la chaussée	3.42	0.46
Superficie totale	12.11	0.62

Coefficient de ruissellement équivalent	0.71	0.89
Débit décennale $Q_5$ (m <sup>3</sup> /s)	5.25	0.47
Débit décennale $Q_{10}$ (m <sup>3</sup> /s)	6.15	0.55

### 1.3. Pré dimensionnement des caniveaux

Nous allons dans cette phase tenir compte du débit d'engorgement et du débit d'érosion pour la détermination des sections de nos différents caniveaux.

#### 1.3.1. Calcul du débit d'engorgement.

Le débit d'engorgement est le débit pour lequel le caniveau est débordé.

Pour le calcul de ce débit nous allons utiliser la formule de MANNIG et STRICKLER qui s'écrit comme suit :

$$Q_{en} = K_s \cdot S \cdot R h^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I}$$

Ou

$Q_{en}$  : débit d'engorgement

$K$  : le coefficient de ruissellement. Dans notre cas ce coefficient est égal à 67 car nos caniveaux sont en béton armé.

$S$  : la section mouillée du caniveau en m<sup>2</sup>

$R$  : le rayon hydraulique exprimé en mètre

$I$  : la pente longitudinale du caniveau.

**Tableau 14: débit d'engorgement des caniveaux avec proposition de section**

désignations	$K_s$	$S$ (m <sup>2</sup> )	$P$ (m)	$Rh$ (m)	Pente (%)	$Q_{en}$ (m <sup>3</sup> /s)
BV 1 : caniveau d'ouverture 1.50x1.50	67	2.25	4.5	0.50	0.5	6.72
BV 2 : caniveau d'ouverture 1.00x0.50	67	0.50	2	0.25	0.5	0.94

#### 1.3.2. Calcul du débit d'érosion

C'est le débit au-delà duquel le caniveau peut être endommagé par le phénomène d'érosion.

Ce débit est fonction de la vitesse maximale admissible ; cette vitesse est également fonction de la nature de l'ouvrage. Le débit d'érosion a pour expression :

$$Q_{ér} = S \cdot V_{lim}$$

V : la vitesse maximale admissible qui vaut 3.5m /s dans notre cas.

**Tableau 15: débits d'érosion des caniveaux**

Désignations	S (m <sup>2</sup> )	Vlim (m /s)	Qér (m3/s)
BV 1 : caniveau d'ouverture 1.50m x1.50m	2.25	3.5	7.875
BV 2 : caniveau d'ouverture 1.00m x0.50m	0.50	3.5	1.75

**1.3.3. Choix définitif de la section des caniveaux.**

Pour caller la section de nos caniveaux, nous allons prendre en compte la condition suivante :

Si  $Q_{10} < \min(Q_{er} ; Q_{en})$  alors nous garderons la section fixée à la base pour le calcul des débits sinon

Nous allons faire varier la section ou la pente longitudinale pour nous retrouver dans le premier cas.

**Tableau 16: Sections retenues pour chaque caniveau**

désignations	Base (cm)	Hauteur (cm)	Epaisseur (cm)
Caniveau N°1 (BV 1)	150	150	15
Caniveau N°2 (BV 2)	100	50	15

**1.4. Calcul des sollicitations et choix des armatures**

– **Règlements**

Règles BAEL 91 et Additif 99

– **Caractéristiques des Matériaux**

- Béton

Dosage : 350 kg /m<sup>3</sup> de CPA 45 ou de classe équivalente

Résistances caractéristiques :  $f_{c28} = 25$  MPa ;  $f_{t28} = 2,1$  MPa

Coefficient de sécurité :  $\gamma_b = 1.5$

Contrainte admissible:  $\bar{\sigma}_{bc} = 0,6 \times f_{c28} = 15$  MPa

Facteur d'équivalence contraintes aciers/contraintes béton :  $n = 15$

- Aciers

Aciers à haute adhérence (HA) de nuance Fe E 400

Limite d'élasticité Fe = 400 MPa

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

Coefficient d'adhérence :  $\eta = 1,6$

Contrainte admissible :  $\bar{\sigma}_s = 201,6\text{MPa}$

La fissuration préjudiciable ; le calcul sera effectué à l'ELS

– **Sol de fondation**

Poids volumique des terres :  $\gamma = 20\text{ KN/m}^3$

Coefficient De Poussée :  $K_p = 0,33$

Surcharges De Remblai :  $Q = 10\text{ KN/m}^2$

Contrainte Admissible :  $\sigma_a = 0,15\text{ MPa}$

– **Principe de calcul des efforts et sollicitations**

De manière générale, on mènera les calculs par bande de 1,00 mètre linéaire de longueur des caniveaux.

**Tableau 17: Sollicitations et sections d'armatures**

Caniveau	Eléments	Effort normal max (KN)	Etat	Moment max (KN.m/ml)	Section d'acier As (cm <sup>2</sup> )	Choix armature
150x150	Piédroit	5.625	ELU	4.05	1.63	6HA6
			ELS	4.51		
	Radier	9.90	ELU	-14.71	6.22	6HA12
			ELS	-15.30		
100x0.50	Piédroit	1.875	ELU	0.14	1.63	6HA6
			ELS	0.25		
	Radier	3.3	ELU	-5.625	2.29	5HA8
			ELS	-5.43		

**2. Assainissement transversale**

À ce niveau le problème d'assainissement ne se pose pas car sur la voie existante on note la présence de quatre ouvrages transversaux à savoir trois dalots et une buse. Néanmoins nous

avons proposé la mise en place de deux ouvrages transversaux. Ces ouvrages vont jouer le rôle de décharge ; c'est-à-dire ils vont recueillir les eaux venant du côté gauche de la route et les déverser dans le caniveau du côté droit ou elles seront drainées.

### 2.1. Détermination du débit de crue décennale

Étant donné que nous sommes toujours dans le cas des petits bassins versant, nous avons utilisé la méthode de CAQUOT pour la détermination des débits.

Cette formule s'écrit comme suit :

$$Q_{10} = 2,38 I^{0,23} A^{0,82} C^{1,16}$$

**Avec :**

C : est le coefficient de ruissellement

I : pente moyenne du bassin versant (m/m)

A : superficie du bassin versant en ha

**Tableau 18:caracteristiques des bassins versants**

Désignation	Bassin versant N°1	Bassin versant N°2
Superficie (ha)	0.48	0.16
Longueur (m)	530	511.1
Côte maximale(m)	298.88	311.29
Côte minimale(m)	295.240	310.43
Pente moyenne	0.67	0.017
Coefficient de ruissellement	0.70	0.70
Coefficient de ruissellement de la chaussée	0.95	0.95
Superficie de la chaussée	0.48	0.46
Superficie totale	0.96	0.62
Coefficient de ruissellement équivalent	0.83	0.89
Débit décennale $Q_{10}$ (m <sup>3</sup> /s)	0.96	0.55

## 2.2. Pré dimensionnement des ouvrages.

### 2.2.1. Dalot

Nous avons opté pour un dalot cadre simple d'une hauteur D qui fait 0.5m d'une base qui fait 1m et d'une épaisseur qui fait 0.15m soit une section de **1x1x0.5**

### 2.2.2. Calcul de section et choix des armatures

Nous avons récapitulé tous ces éléments dans le tableau ci-dessous

**Tableau 19:sections d'aciers d'armatures**

	Tablier			Radier			Piédroit		
	Section (Cm <sup>2</sup> )	armatures	Espacement (cm)	Section (Cm <sup>2</sup> )	armatures	espacement	Section Cm <sup>2</sup>	armatures	espacement
<b>Lit supérieur</b>	4.84	7HA10	15	1.55	6HA6	20cm	0.92	4HA6	30cm
<b>Lit inférieur</b>	1.56	6HA6	20	4.38	6HA10	20cm			
<b>armatures transversal es</b>	2.13	8HA6	15cm	1.98	7HA6	15cm	12.35	9HA14	12.5cm

## **CHAPITRE 5 : CONCEPTION ET AMENAGEMENT DE LA VOIRIE**

### **1. Généralités**

L'aménagement de la voirie partant de l'examen minutieux de la zone de projet dans son état actuel et conformément au TDR et aux études de bases menées vise essentiellement à :

- Mettre en place le drainage des eaux pluviales de la zone par :  
La construction des ouvrages d'assainissements (des caniveaux)  
La création des ouvrages de franchissement (des dalots) pour drainer les eaux sous la chaussée.
- Assurer la mise en œuvre de la couche de roulement du corps de la chaussée (couche de fondation et de base).
- Assurer le revêtement de la chaussée.
- Mettre en place une signalisation verticale et horizontale.
- Assurer l'éclairage public de la voie.

### **2. Éléments de conception de la voirie**

#### **2.1. Définition des critères d'aménagement**

Les voies seront aménagées en tenant compte des critères suivants :

- La fonction de la voie
- La vitesse de référence
- L'emprise disponible
- Le choix de la ligne rouge de manière à réduire les mouvements de terre
- La structure et le niveau de trafic

#### **2.2. Hypothèses de tracés.**

- Vitesse de référence : 60km/h
- Catégorie de la route : troisième catégorie
- Dévers maximum : 7%
- Rayon horizontal mini (pour le tracé en plan) : 120m
- Rayon vertical (pour le profil en long) : angle saillant : 1600m, angle rentrant : 2200m

Ces paramètres sont représentés dans le tableau N°1

### **3. Conception du tracé des voies**

La longueur totale de voie à aménager et à revêtir est 4400mètres linéaires soit 4,4km

Les éléments suivants seront à la base de la conception du projet.

La conception géométrique du tracé respectera en plan et en profil les prescriptions d'une route de vitesse de base 60km/h.

Le profil en travers sera de 7ml de chaussée et d'un accotement de 2m du côté droit de la chaussée pour le profil en travers type 1 et à gauche pour le profil en travers type 2 (soit au total 9ml)

Pas de terreplein central soit un dévers unique.

Les ouvrages de décharges (transversales) sont des dalots.

L'assainissement général consistera à la mise en place de caniveaux rectangulaires couverts de dalettes aux traversées.

La sécurité routière sera assurée par des panneaux de signalisation et des marquages sur la chaussée.

Le dimensionnement de la chaussée a suivi les règles de l'art en respectant les prescriptions et méthodes ci-dessus définies au plan géotechnique et débouche sur :

La couche de fondation qui est en graveleux latéritique naturel

La couche de base qui est en grave améliorée au ciment (4%)

Le revêtement qui est réalisé en béton bitumineux

#### **4. Profil en long des voies**

D'une manière générale la ligne rouge de la voie est voisine du profil en long terrain naturel. Cette conception présente l'avantage de minimiser le volume des terrassements.

Dans tous les cas le calage de la ligne rouge a été conditionné par :

- Le raccordement à la chaussée existante (la RN 3)
- Le profil en travers type retenu pour la voie
- Les seuils des concessions riveraines
- Les caractéristiques géométriques de la voie
- La nécessité d'assainissement longitudinal et transversal.

#### **5. Profils en travers de la voie**

Les caractéristiques des profils en travers types que nous avons adopté pour notre voirie sont :

- Emprise de la voie : déjà définie car voie existante (de 20 à 60m)
- Type de chaussée : bitumée
- Largeur de la chaussée : 7m

- Nombre de chaussée : 1
- Largeur de l'accotement : 2m
- Nombre d'accotement : 1
- Largeur totale de la plate-forme : 9m
- Pente du profil a dévers unique : 2.5%
- Pente accotement : 2.5%
- Distance parcelle-bord caniveau : 2m

## 6. Signalisation routière

### 6.1. La signalisation horizontale

Elle regroupe l'ensemble des marquages peints sur la route et qui indiquent aux usagers quel comportement adopter à ces endroits. Elle est faite en général de peinture blanche rétro-réfléchissante.

Dans ce présent projet nous projetons sur une signalisation horizontale constituée de :

#### Aperçu



#### Signalisation

**Ligne de rive :** trait de 3m intervalle de 3,50m ; sépare la chaussée de l'accotement, peut être franchie pour s'arrêter ou stationner. Dans les sens uniques, la ligne de rive à gauche est continue.

**Ligne axiale :** trait blanc séparant la chaussée en deux voies de circulation

### 6.2. Signalisation verticale

La signalisation verticale est l'ensemble des signaux conventionnels implantés verticalement sur le domaine routier et destinés à assurer la sécurité des usagers de la route soit en les informant des dangers et des prescriptions relatifs à la circulation ainsi que des éléments utiles à la prise de décision, soit en leur indiquant les repères et équipements utiles à leurs déplacements. Elle regroupe ainsi les signalisations par panneaux, par balisage ou par feux.

Les différentes signalisations verticales que nous prévoyons pour ce projet sont :

#### Tableau 20: signalisations verticales

Panneaux	Signalisation
 B14	Limitation de vitesse
 AB4	Stop
	Attention école

### 7. Éclairage public

Il s'agit d'assurer l'éclairage de la route qui va de la SONABEL à CIMBURKINA vue que c'est le seul tronçon qui n'est pas éclairé. Cet éclairage est assuré par des candélabres ou lampadaires. Ceci garantira la sécurité et limitera les accidents liés à la faible visibilité nocturne ; car une voie non ou mal éclairée se prête facilement aux dangers bien que la signalisation routière soit parfaitement mise en place. La disposition des candélabres sera de type unilatéral.

Pour l'éclairage moyen, nous respecterons les paramètres géométriques suivants :

$$H > L$$

NB : au-dessus d'une hauteur  $H=1.5L$ , le flux lumineux est mal utilisé. Pour avoir une bonne uniformité longitudinale de luminance, le guide recommande de prendre :

$$\frac{e}{H} \leq 3.5$$

Avec H : hauteur de feu

L : largeur de la chaussée =9m

e : intervalle entre deux lampadaires.

A partir de ces deux conditions nous retenons :

$$H=1.2L=10.8\text{m}$$

$$e=3.5H=38.7 \text{ soit } 40\text{m}$$

Conclusion : de la SONABEL à la nouvelle cimenterie CIMBURKINA nous placerons au total 50 lampadaires espacés de 40mètres.

Le choix du candélabre doit être aussi bien écologique qu'économique. Ainsi, nous proposerons deux(02) variantes de candélabres et deux modes de raccordements (raccordement au réseau électrique et le raccordement au photovoltaïque) :



**Figure 2: variantel**



**Figure 3:variante 2**

La variante N°1 est un candélabre solaire alors que la variante N°2 est un candélabre avec raccordement au réseau électrique.

## **CHAPITRE 6 : AUTRES ELEMENTS DU PROJET**

### **1. Impacts environnementaux**

Nous allons englober dans les impacts environnementaux tous les aspects aussi bien positifs que négatifs qu'aurait engendré la réalisation du présent projet de voirie et de drainage des eaux pluviales pour l'aménagement de la voie d'accès à CIMBURKINA. Ce projet n'échappera pas à la tutelle du code de l'environnement du ministère de l'environnement et du cadre de vie(MECV) au Burkina Faso.

Nous ferons en cette partie du présent rapport, à défaut d'une étude environnementale détaillée, une approche analytique et prospective aux fins de l'identification et de l'évaluation des incidences dudit projet sur l'environnement.

#### **1.1. État environnemental du site avant le projet**

L'emprise du site est abritée par un couvert végétatif moins dense caractérisant la flore. On note la présence de quelques arbustes dispersés. Les arbres fruitiers rencontrés sont très rares et composés de karités et de néré. Sur l'emprise du projet on n'a pas de forêt sacrée ou classée ni domaines protégés, néanmoins, on note la culture de sorgho à petite échelle sur l'emprise par les occupants.

La flore du site ne permet pas la survie des grands animaux sauvages. la faune est donc pauvre. On ne rencontre que de petits animaux sauvages tels que les rats et les écureuils.

Les points d'eau permanents en surface sont inexistants. On ne note que quelques branches de cours d'eau saisonnier. On note également que l'air est pollué à certains endroits surtout à proximité du centre de traitement des eaux usées de l'ONEA.

De façon générale on peut dire que le site du projet présente un environnement un peu agréable. Ainsi l'étude du présent projet devra incorporer des dispositions environnementales d'atténuation, d'optimisation, de compensation, et d'amélioration afin de:

- Assurer la qualité de l'environnement aux populations, pour leur garantir un cadre de vie sain.
- Gérer rationnellement les ressources naturelles et mieux contribuer au développement économique de la population.
- Rendre les ressources naturelles accessibles à toutes les couches sociales pour lutter contre la pauvreté.

## **1.2. Les mesures environnementales à mettre en œuvre**

Afin d'atteindre les objectifs environnementaux que nous nous sommes fixés, nous récapitulons les mesures à mettre en œuvre dans le tableau n°21 ci-dessous.

Ces mesures sont très nécessaires et sont d'une importance capitale. Elles sont à observer avant, pendant, et après les travaux.

**Tableau 21: les mesures environnementales préconisées**

Composante affectée	Activité source d'impact	Appréciation de l'impact	Description de l'impact	Mesures envisagées
<b>MILIEU BIOPHYSIQUE</b>				
<b>sol</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Travaux de terrassement ;</li> <li>- Travaux en zones d'emprunt ;</li> <li>- coulage du béton bitumineux.</li> </ul>	<b>négatif</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tassement et érosion du sol ;</li> <li>- Pollution du sol par le déchet solide et les hydrocarbures.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prévoir le réaménagement du site après les travaux;</li> <li>- Choisir des véhicules adaptés à la nature du sol.</li> </ul>
<b>air</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Travaux de terrassement ;</li> <li>- transport et circulation des engins ;</li> <li>- travaux d'assainissement.</li> </ul>	<b>négatif</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- altération de la qualité de l'air.</li> <li>- Risque de maladies respiratoires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Éviter la circulation de véhicules lourds et la réalisation de travaux bruyants en dehors des heures normales de travail à proximité des zones habitées ;</li> <li>- Maintenir les véhicules de transport et la machinerie en bon état de fonctionnement afin de minimiser les émissions gazeuses et le bruit.</li> </ul>

Aménagement de la voie d'accès à la nouvelle cimenterie de Kossodo

<b>Eaux de surface</b>	Travaux d'assainissement et drainage.	négatif	- Perturbation de l'écoulement des eaux naturelles	Ne pas modifier le sens d'écoulement des eaux mais plutôt l'accompagner.
<b>Végétation (flore)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Déboisement, décapage</li> <li>- Installation du chantier</li> </ul>	négatif	-modification de la couverture végétale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Restaurer la végétation après la fin des travaux.</li> <li>- Définir clairement les aires de coupe afin d'y restreindre le déboisement</li> </ul>
<b>faune</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Déboisement, décapage</li> <li>- Travaux de terrassement.</li> <li>- exploitation de la route.</li> </ul>	négatif	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perturbation des mouvements migratoires ou déplacements de la faune</li> <li>- Destruction et modification d'habitat faunistique</li> <li>- perte d'animaux par braconnage et accident.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prévoir des points de passage pour le bétail sur la route ;</li> <li>- ne pas réaliser des travaux dans les aires de reproduction de la faune.</li> </ul>
<b>MILIEU HUMAIN</b>				
<b>sécurité</b>	- Déplacement des lampadaires existants ;	positif	- Interruption de la source d'énergie ;	- Prévoir une source d'énergie alternative ou réaliser le déplacement des lampadaires

Aménagement de la voie d'accès à la nouvelle cimenterie de Kossodo

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise en place des nouveaux lampadaires.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Éclairage de tout le tronçon</li> <li>- Augmentation du risque d'accidents associés à l'augmentation du trafic et des véhicules</li> </ul>	<p>dans un délai restreint et de préférence la journée.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Renforcer la sécurité des équipements.</li> </ul>
<b>Santé</b>	Phase de construction de la route	positif	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Accident de travail ;</li> <li>- Facilité d'accès au soin grâce à la fluidité de la circulation.</li> <li>- risque de maladies respiratoires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Installer un poste dispensaire d'urgence</li> <li>- Installer et orienter les équipements d'émission des poussières et bruits en fonction de la direction du vent dominant ;</li> <li>- Arroser la route avant le passage du camion</li> </ul>
<b>Économie et emploi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recrutement des ouvriers.</li> </ul>	positif	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Création de nouveaux emplois ;</li> <li>- Création d'un marché sur le long de la route.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- accompagner les nouveaux employés vers des projets durables.</li> </ul>
<b>Circulation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- transport;</li> <li>- Travaux d'entretien et réfection.</li> </ul>	Positif	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perturbation de la circulation durant le projet</li> <li>- Fluidité de la circulation après le projet.</li> </ul>	<p>-</p> <p>prévoir une déviation de la route.</p>

Aménagement de la voie d'accès à la nouvelle cimenterie de Kossodo

---

<b>Tradition et culture</b>	Travaux de terrassement ; Travaux d'assainissement ; Coulage du béton bitumineux.	négatif	- Perturbation du mode de vie de la population.	Impliquer les populations durant le projet.
-----------------------------	---	---------	--	---

## 2. Devis quantitatif et estimatif

La présente partie vise essentiellement à donner les coûts des aménagements retenus pour les travaux de voirie et d'assainissement de notre projet. Cette estimation des coûts est basée essentiellement sur:

- Le dimensionnement de la chaussée,
- Les différents types de profils en travers appliqués,
- Les ouvrages d'assainissement,
- L'option de béton bitumineux pour le revêtement de toute la chaussée.

Le tableau ci-dessous récapitule les coûts entrant dans l'exécution des travaux.

**Tableau 22: Récapitulatif du devis estimatif**

<b>Montant total des travaux</b>	<b>2899568000</b>
Surveillance et contrôle des travaux (7% travaux)	<b>202971020</b>
Imprévus physiques 1.5%(travaux +contrôle)	<b>31025570</b>
<b>Total investissements H-TVA</b>	<b>3133582590</b>
Montant TVA (18%)	<b>564044867</b>
<b>Total investissements TTC</b>	<b>3697627456</b>
<b>Coût au km investissement TTC</b>	<b>840369877</b>

## 3. Difficultés rencontrées et solutions proposées

Comme tout projet nous avons rencontré quelques difficultés. Parmi ces difficultés nous pouvons citer :

- La position des rails par rapport à la voie existante. La société SITARAIL nous a imposé une marge de 4m entre les rails et la nouvelle chaussée.
- Le manque de données sur l'hydrologie et sur le trafic de la zone de projet.

Face à ces difficultés nous avons proposé un certain nombre de solutions à savoir :

- Concevoir une seule chaussée à deux voies de circulation du côté droit des rails, pour éviter de casser certaines clôtures situées à gauche des rails.
- Faire une chaussée à devers unique afin de placer les caniveaux d'un seule côté de la chaussée.
- Installer des lampadaires solaires pour réduire les charges d'exploitations a long terme.

## CONCLUSION

Ce projet s'inscrit très bien dans le cadre de fin de formation d'ingénieurs et constitue un très bon moyen de s'autoévaluer après tant d'années de formation et d'apprentissage.

Comme tout autre projet, nous avons rencontré de nombreuses difficultés durant les études parmi lesquels la présence de rails sur la piste et l'exigence de SITARAIL à laisser une distance de 4m entre la nouvelle route et les rails et le déplacement des poteaux électriques d'une distance de 7m.

Toutes ces difficultés nous ont amenés à concevoir une route de neuf mètres de large à double voie unique avec une pente de 2.5%.

Nous avons eu aussi à faire face à d'autres difficultés comme les manques de données sur l'hydrologie et de données sur le trafic. Pour cela, nous avons eu à estimer le trafic par comptage et à délimiter les bassins versant afin d'obtenir les débits à évacuer par les ouvrages.

Durant ce projet, tant de contacts professionnels et variés a été observé et nous a été d'un grand bénéfice. Parmi ces contacts, il y avait un topographe, un géotechnicien, un environnementaliste et des ingénieurs. Des échanges et des discussions avec ces professionnels nous ont apporté une énorme contribution et la confrontation de ses différents domaines nous a permis d'observer de façon claire et nette les limites de chaque domaine.

D'un point de vue personnel, ce projet m'a permis d'approfondir et de perfectionner mes connaissances dans le domaine des routes, de comprendre que chaque projet routier présente des problématiques particulières nécessitant des solutions particulières.

De façon brève et sommaire, les difficultés rencontrées, les problèmes exposés et les solutions proposées m'ont tous amené à développer non seulement mes connaissances théoriques et pratiques mais améliorer aussi ma façon de travailler et surtout repousser mes limites.

## **RECOMMANDATIONS - PERSPECTIVES**

La subtilité de la fonction d'ingénieur lui impose de pouvoir concilier l'aspect sécuritaire du dimensionnement avec une offre budgétaire optimal .C'est dans l'optique de satisfaire à ces exigences que nous recommandons vivement à notre structure d'accueil d'effectuer un contrôle relatif à la portance des sols parce que dans les considérations de base du projet nous avons un sol de type S3 alors que le résultat final a donné une classe de portance allant de S3 à S5.Nous préconisons de ne pas mettre de remblai sur les sols de type S4 à S5 car d'une part le remblai sera de portance moindre et d'autre part cela permettra d'économiser beaucoup d'argent.

**BIBLIOGRAPHIE**

2ie, support de cours en hydraulique routière appliqué par le Dr BIAOU Angelbert

2ie, support de cours de Géotechnique routière dispensé par le Dr Abibou CISS.

2ie, support de cours sur les ouvrages d'Art-conception et dimensionnement des petits ouvrages d'Art dispensé par le Dr Adamah MESSAN.

BCEOM : Manuel d'exécution de petits ouvrages routiers en Afrique 1975, Ministère de la Coopération

CEBTP-Guide pratique de dimensionnement de chaussée pour les pays tropicaux, Ministère de la coopération française, Paris 1980

SETRA /LCPC : conception et dimensionnement des structures de chaussée-Guide technique édition 1994.

# ANNEXES

**ANNEXES**

ANNEXE I:LES DIFFERENTS TRACES..... II  
ANNEXE II: TRACÉ DES OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT ..... III  
ANNEXE III:DIMENSIONNEMENT BETON ARME DES DALOTS .....IV  
ANNEXE III:DIMENSIONNEMENT BETON ARME DES CANIVEAUX ..... XXI  
ANNEXE IV:BORDEREAUX DES PRIX ..... XXVIII

**ANNEXE I:LES DIFFERENTS TRACES**

I-tracé en plan

II-tracé combiné

III-profil en travers courant en déblai

IV-profil en travers courant en remblai

**ANNEXE II: TRACÉ DES OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT**

I-Section du module

II-Ferraillage caniveau de 150x150

III-Ferraillage caniveau d 100x50

IV-Ferraillage du module

V-Cahier de ferraillage

### ANNEXE III: DIMENSIONNEMENT BETON ARME DES DALOTS

#### Calcul structurelle du dalot

#### I) Hypothèses de calcul

##### Normes utilisées pour les calculs

- B.A.E.L 91 révisé 99
- Fascicules 61 (titre II) concernant les charges d'exploitation-conception calcul et épreuve des ouvrages d'art.
- Formulaire des cadres simples de KLEINLOGEL

#### 2) Caractéristiques des matériaux

##### Béton

- dosage :  $350\text{kg/m}^3$  de CPA 45 ou de classe équivalente
- poids volumique :  $\gamma_{\text{béton}}=25\text{Kn/m}^3$
- résistance à la compression à 28 jours :  $f_{c28}=25\text{ MPa}$
- résistance à la traction à 28 jours :  $f_{t28}=0.6+0.06f_{c28}=2.1\text{MPa}$
- coefficient de sécurité  $\gamma_b=1.5$
- résistance de calcul du béton en compression à l'ELU :  $f_{bu}=0.85\frac{f_{c28}}{\gamma_b}=14.16\text{MPa}$
- contrainte limite de béton comprimé à l'ELS  $\sigma_{bc}=0.6f_{c28}=15\text{MPa}$  —

##### Acier

- Acier à haute adhérence (HA) de nuance **FeE400**
- Limite d'élasticité  $f_e=400\text{Mpa}$
- Coefficient de sécurité  $\gamma_s=1.15$
- Coefficient d'adhérence :  $\eta=1.6$
- Contrainte limite des aciers à l'ELS, pour une fissuration préjudiciable:  
 $\sigma_s=\min(\frac{2}{3}f_e; 110\sqrt{\eta \times f_{t28}})=201.63\text{MPa}$
- $\sigma_{st}=\frac{f_e}{\gamma_s}=348\text{Mpa}$

##### Sol

- Poids volumique des remblais :  $\gamma_d=21\text{kN/m}^3$

- Coefficient de poussée : **ka=0.33**
- Contrainte admissible du sol de fondation :  **$\sigma_{sol}=0.15MPa$**

3) Principe de calcul des efforts et des sollicitations

Les calculs seront faits par bande de 1 mètre linéaire de la longueur du dalot.

4) Etat limite de calcul considéré

La fissuration est considéré comme préjudiciable donc le calcul des armatures sera fait à l'état limite de service ELS.

II) Pré-dimensionnement des épaisseurs du dalot

Pour un souci d'uniformité, on adoptera la même épaisseur pour le tablier, les piédroits et le radier.

L'épaisseur de la traverse supérieure peut être déterminée par la formule suivante :

$$e = \frac{l}{32} + 0.125 \text{ où } l \text{ désigne l'ouverture biaise de l'ouvrage.}$$

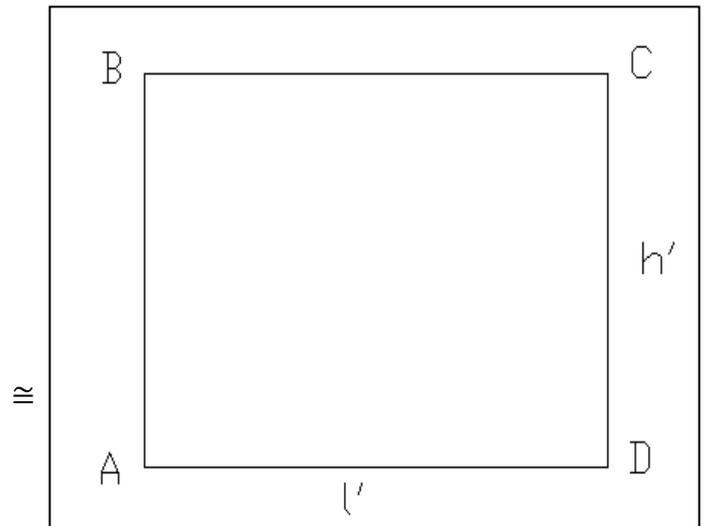
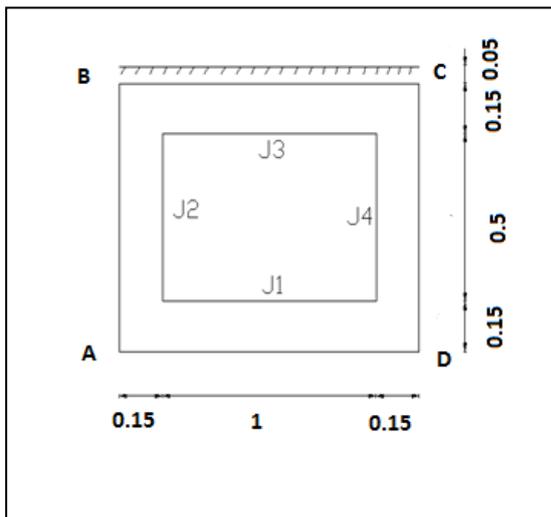
$$e = \frac{1}{32} + 0.125$$

$$e = 0.15m.$$

III) Caractéristiques du dalot

- Dalot cadre de  $1 \times 1 \times 0.5$
- Largeur du dalot = 1.30m (largeur de la chaussée +  $2 \times 0.5m$ )
- Largeur roulable  $L_r = 9m$
- Largeur chargeable  $L_c = 9m$
- Nombre de voies  $n = \frac{L_c}{3} = 3$  voies
- Classe du pont : pont de 1<sup>ère</sup> classe car  $L_r > 7m$
- Epaisseur du remblai sur le dalot = 0cm

1) Schéma statique du cadre simple



Avec :

$$l' = 1 + 0.15 = 1.15 \text{ m}$$

$$h' = 0.5 + 0.15 = 0.65 \text{ m}$$

$$J1 = J2 = J3 = J4 = \frac{b \times e^3}{12} = \frac{1 \times 0.15^3}{12} = 0.000281 \text{ m}^4$$

2) Calcul des constantes

- $k1 = \frac{J3}{J1} = 1$
- $k2 = \frac{J3}{J2} \times \frac{h'}{l'} = 0.57$
- $K1 = 2k2 + 3 = 4.14$
- $K2 = 3k1 + 2k2 = 4.14$
- $K3 = 3k2 + 1 - \frac{k1}{5} = 2.51$
- $K4 = \frac{6}{5}k1 + 3k2 = 2.91$
- $F1 = K1 \cdot K2 - k2^2 = 16.81$
- $F2 = 1 + k1 + 6k2 = 5.42$

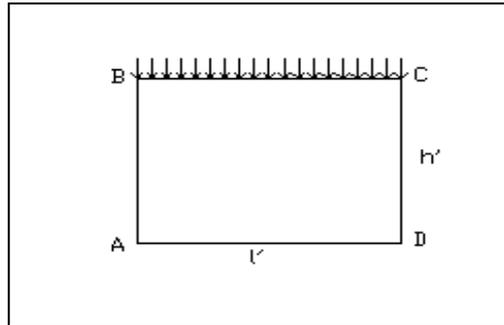
IV) Calcul des sollicitations aux seins des différents éléments de structure du cadre simple sous l'action des différentes charges qui s'y appliquent

**A) CHARGES PERMANENTES**

A-1) Charges permanentes sur le tablier

- Poids propre du tablier =  $25 \times 0.15 \times 1.15 \times 1 = 4.312 \text{ kN}$
- La charge permanente sur le tablier est  $g = 4.312 \text{ kN}$
- Cette charge appliquée par mètre linéaire dans le sens de l'ouverture du dalot est  $g = \frac{3.312}{2} = 2.156 \text{ kN}$

a) Calcul des moments sur appuis



- $M_A = M_D = -\frac{gl^2}{4F_1}(k_1.K_1 - k_2) = -\frac{2.156 \times 1.15^2}{4 \times 16.81}(1 \times 4.14 - 0.57) = -0.151 \text{ kN.m}$

$$M_A = M_D = -0.151 \text{ kN.m}$$

- $M_B = M_C = -\frac{gl^2}{4F_1}(K_2 - k_1.k_2) = -\frac{2.156 \times 1.15^2}{4 \times 16.81}(4.14 - 1 \times 0.57) = -0.151 \text{ kN.m}$

$$M_B = M_C = -0.151 \text{ kN.m}$$

b) Efforts normaux

- $N_1 = -N_3 = \frac{M_B - M_A}{h'} = 0$

$$N_1 = -N_3 = 0 \text{ KN.}$$

- $N_2 = N_4 = \frac{gl'}{2} = \frac{2.156 \times 1.15}{2} = 1.24 \text{ KN}$

$$N_2 = N_4 = 1.24 \text{ KN}$$

c) Moments à mi-travées

- $M_{(A-D)} = \frac{gl'^2}{8} + M_A = \frac{2.156 \times 1.15^2}{8} - 0.151 = 0.21 \text{ kN.m}$

$$M_{(A-D)} = 0.21 \text{ kN.m}$$

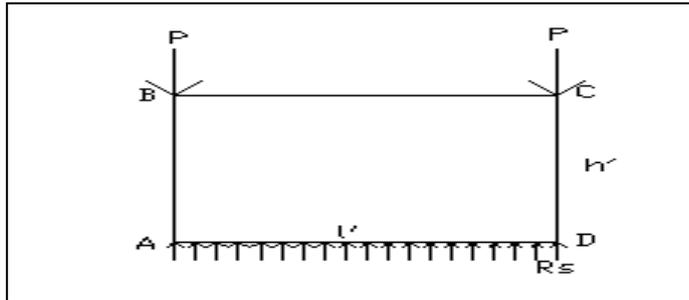
- $M_{(B-C)} = \frac{gl'^2}{8} + M_B = \frac{2.156 \times 1.15^2}{8} - 0.151 = 0.21 \text{ kN.m}$

$$M_{(B-C)} = 0.21 \text{ kN.m}$$

- $M_{(A-B)} = M_{(C-D)} = \frac{M_A + M_B}{2} = \frac{-0.151 - 0.151}{2} = -0.151 \text{ kN.m}$

$$M_{(A-B)} = M_{(C-D)} = -0.151 \text{ kN.m}$$

## A-2) Charges permanentes dues aux piédroits



Poids propre des piédroits :  $P = 25 \times 0.65 \times 0.15 \times 1 = 2.438 \text{ kN}$

La réaction du sol est :  $R_s = \frac{2P}{l'} = \frac{2 \times 2.438}{1.15} = 4.24 \text{ kN}$

### a) Moments sur appuis

- $M_A = M_D = -\frac{P \times l' \times k_1 \times K_1}{2F_1} = -\frac{2.438 \times 1.15 \times 1 \times 4.14}{2 \times 16.81} = -0.345 \text{ kN.m}$

$$M_A = M_D = -0.345 \text{ kN.m}$$

- $M_B = M_C = \frac{P \times l' \times k_1 \times k_2}{2F_1} = \frac{2.438 \times 1.15 \times 1 \times 0.57}{2 \times 16.81} = 0.048 \text{ kN.m}$

$$M_B = M_C = 0.048 \text{ kN.m}$$

### b) Efforts normaux

- $N_1 = -N_3 = \frac{3 \times P \times l' \times k_1 \times (1+k_2)}{2 \times h' \times F_1} = \frac{3 \times 2.438 \times 1.15 \times 1 \times (1+0.57)}{2 \times 0.65 \times 16.81} = 0.60 \text{ kN}$

$$N_1 = -N_3 = 0.60 \text{ kN}$$

- $N_2 = N_4 = P = 2.438 \text{ kN}$

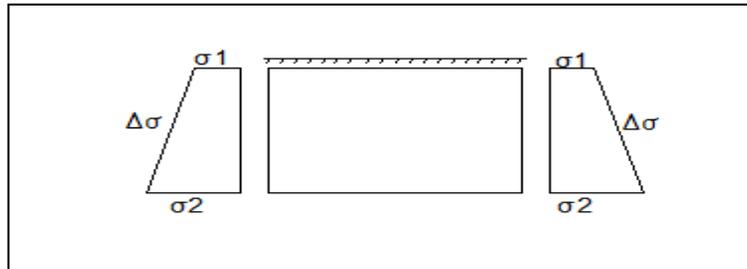
### c) Moments en mi-travées

- $M_{(A-D)} = \frac{R_s \times l'^2}{8} + M_A = \frac{4.24 \times 1.15^2}{8} - 0.345 = 0.355 \text{ kN.m}$

$$M_{(A-D)} = 0.355 \text{ kN.m}$$

- $M_{(B-C)} = \frac{M_B + M_C}{2} = \frac{0.048 + 0.048}{2} = 0.048 \text{ kN.m}$   
 $M_{(B-C)} = \mathbf{0.048 \text{ kN.m}}$
- $M_{(A-B)} = \frac{M_A + M_B}{2} = \frac{-0.345 + 0.048}{2} = -0.149 \text{ kN.m}$   
 $M_{(A-B)} = \mathbf{-0.149 \text{ kN.m}}$
- $M_{(C-D)} = \frac{M_C + M_D}{2} = \frac{0.048 - 0.345}{2} = -0.149 \text{ kN.m}$   
 $M_{(C-D)} = \mathbf{-0.149 \text{ kN.m}}$

### A-3) Calcul des sollicitations sous l'action des poussées des terres



$$\sigma_1 = ka \times \gamma_d \times e_{\text{remblai}} = 0.33 \times 21 \times 0 = 0 \text{ kPa}$$

$$\sigma_2 = ka \times \gamma_d \times (h' + e_{\text{remblai}}) = 0.33 \times 21 \times (0.65 + 0) = 4.5 \text{ kPa}$$

$$\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1 = 4.5 \text{ kPa}$$

#### a) Moments sur appuis

$$\begin{aligned} M_A = M_D &= -\frac{k^2(k^2+3)}{4F_1} \times \sigma_1 \times h'^2 - \frac{k^2(3k^2+8)}{20F_1} \times \Delta\sigma \times h'^2 \\ &= -\frac{0.57(0.57+3)}{4 \times 16.81} \times 0 \times 0.65^2 - \frac{0.57(3 \times 0.57+8)}{20 \times 16.81} \times 4.5 \times 0.65^2 \end{aligned}$$

$$M_A = M_D = \mathbf{-0.031 \text{ kN.m}}$$

$$\begin{aligned} M_B = M_C &= -\frac{k^2(3k^1+K^2)}{4F_1} \times \sigma_1 \times h'^2 - \frac{k^2(7k^1+2k^2)}{20F_1} \times \Delta\sigma \times h'^2 \\ &= -\frac{0.57(3 \times 1+0.57)}{4 \times 16.81} \times 0 \times 0.65^2 - \frac{0.57(7 \times 1+2 \times 0.57)}{20 \times 16.81} \times 4.5 \times 0.65^2 \end{aligned}$$

$$\mathbf{M_B=M_c=-0.026kN.m}$$

b) Efforts normaux

$$\begin{aligned} \bullet \quad N_1 &= \frac{\sigma_1+2\sigma_2}{6} \times h' + \frac{M_B-M_A}{h'} + \frac{M_D-M_A}{l'} \\ &= \frac{0+2 \times 4.5}{6} \times 0.65 + \frac{-0.026+0.031}{0.65} + \frac{-0.031+0.031}{1.15} \end{aligned}$$

$$\mathbf{N_1=0.98kN}$$

$$\bullet \quad \mathbf{N_2=N_4=0}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad N_3 &= \frac{2\sigma_1+2\sigma_2}{6} \times h' + \frac{M_A-M_B}{h'} + \frac{M_C-M_B}{l'} \\ &= \frac{2 \times 0 + 2 \times 4.5}{6} \times 0.65 + \frac{-0.031+0.026}{0.65} + \frac{-0.026+0.026}{1.15} \end{aligned}$$

$$\mathbf{N_3=0.97kN}$$

c) Moments à mi-travées

$$\begin{aligned} \bullet \quad M_{(A-B)}=M_{(C-D)} &= \frac{\sigma_1 \times h'^2}{8} + \frac{\Delta\sigma \times h'^2}{12} + \frac{M_A+M_B}{2} \\ &= \frac{0 \times 0.65^2}{8} + \frac{4.5 \times 0.65^2}{12} + \frac{-0.031+0.026}{2} \end{aligned}$$

$$\mathbf{M_{(A-B)}=M_{(C-D)}=0.156kN.m}$$

$$\bullet \quad M_{(A-D)} = \frac{M_A+M_D}{2}$$

$$\mathbf{M_{(A-D)}=-0.031kN.m}$$

$$\bullet \quad M_{(B-C)} = \frac{M_B+M_C}{2}$$

$$\mathbf{M_{(B-C)}=-0.026kN.m}$$

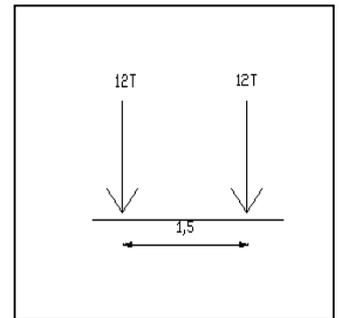
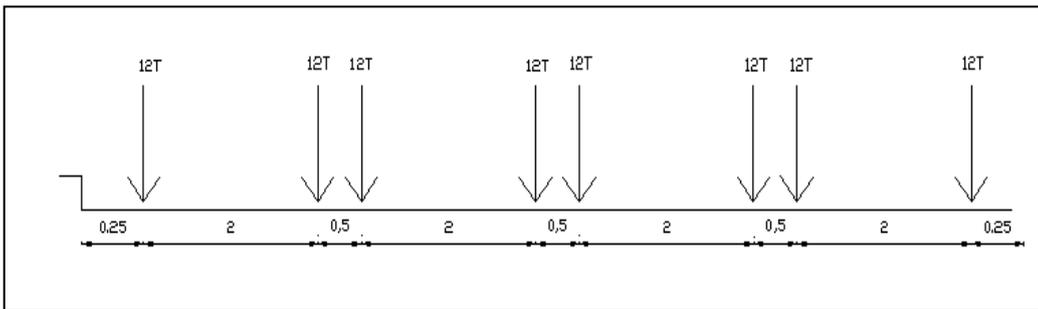
## B) Charges d'exploitation

### B-1) Calcul des surcharges sous l'action du système B

#### a) Cas du sous-système Bc

Le système Bc est un convoi composé d'une file de deux camions de 30 tonnes chacun. Selon le fascicule 61 titre II, on ne peut pas disposer plus de file que de voies, même si cela est possible.

- Dans notre cas, nous pouvons disposer 3 files de 2 essieux de 12T chacun cote à cote soit 960kN au total.



- Le coefficient majorateur de la charge,  $b_c=1.1$  car dalot de 1<sup>ère</sup> classe à 3 voies.
- La surface la plus contraignante d'encombrement de la surcharge à la surface de roulement est  $S=1 \times 10$  d'où  $S=10m^2$  correspondant à une charge de 960kN.

- La charge répartie est

$$q_{bc} = \frac{960}{S} \times b_c = \frac{960}{10} \times 1.1$$

$$q_{bc} = 79.2 \text{ kN/m}^2$$

- Calcul du coefficient de majoration dynamique  $\delta$

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

$$L = \max(L_r; \text{portée de la travée}) = \max(9m; 1) = 9m$$

G=poids du tablier

$$= 25 \times 0.15 \times 14 \times 1.15$$

$$G = 38.81 \text{ kN}$$

S=960kN la surcharge des essieux

Ainsi

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 9} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 38,81}{960}}$$

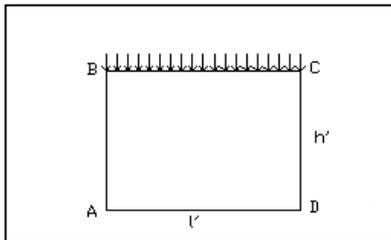
$$\delta = 1,66$$

- Calcul de la charge répartie finale q du au sous-système Bc:

$$q = \delta \times q_{bc}$$

$$q = 131,47 \text{ kN/m}^2$$

#### B-4) Calcul des sollicitations sous l'action du système B<sub>c</sub>



##### a) Moments d'appuis

$$M_A = M_D = -\frac{ql'^2}{4F1}(k1 \times K1 - k2) = -\frac{131,47 \times 1,15^2}{4 \times 16,81}(1 \times 4,14 - 0,57) = -9,23 \text{ kN.m/ml}$$

$$M_A = M_D = -9,23 \text{ kN.m}$$

$$M_B = M_C = -\frac{ql'^2}{4F1}(K2 - k1k2) = -\frac{131,47 \times 1,15^2}{4 \times 16,81}(4,14 - 1 \times 0,57) = -9,23 \text{ kN.m/ml}$$

$$M_B = M_C = -9,23 \text{ kN.m}$$

##### b) Efforts normaux

$$N_1 = N_3 = \frac{M_B - M_A}{h'} = 0$$

$$N_1 = N_3 = 0$$

$$N_2 = N_4 = \frac{ql'}{2} = \frac{131,47 \times 1,15}{2} = 75,60 \text{ kN}$$

$$N_2 = N_4 = 75,60 \text{ kN}$$

##### c) Moments en mi-travées

$$M_{(A-D)} = \frac{ql'^2}{8} + M_A = \frac{131,47 \times 1,15^2}{8} - 9,23$$

$$M_{(A-D)} = 12,5 \text{ kN.m}$$

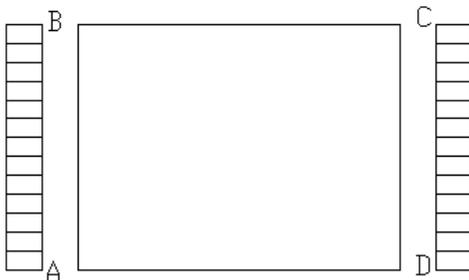
- $M_{(B-C)} = \frac{ql^2}{8} + M_B = \frac{131.47 \times 1.15^2}{8} - 9.23$

**$M_{(B-C)} = 12.5 \text{ kN.m}$**

- $M_{(A-B)} = M_{(C-D)} = \frac{1}{2} M_A + \frac{1}{2} M_B = -9.23$

**$M_{(A-B)} = M_{(C-D)} = -9.23 \text{ kN.m}$**

B-5) Calcul des sollicitations sous l'action des surcharges routière de remblai d'accès



Cette surcharge est de  $q = 10 \text{ kN/m}^2$ .

a) Calcul de la charge

- la contrainte horizontale  $\sigma$  est  $\sigma = ka \times q = 3.33 \text{ kN/m}^2$
- la résultante  $R = \sigma \times h' = 2.164 \text{ kN/m}^2$

b) Moments aux appuis

- $M_A = M_D = M_B = M_C = -\frac{k^2(k^2+3)}{4F_1} \times \sigma \times h'^2 = -\frac{0.57(0.57+3)}{4 \times 16.81} \times 3.33 \times 1.15^2 = -0.133 \text{ kN.m}$

**$M_A = M_D = M_B = M_C = -0.133 \text{ kN.m}$**

c) Efforts normaux

- $N_2 = N_4 = 0 \text{ kN}$ .
- $N_1 = N_3 = \frac{\sigma \times h'}{2} = \frac{3.33 \times 0.65}{2} = 1.08 \text{ kN}$

**$N_1 = N_3 = 1.08 \text{ kN}$**

d) Moments en mi-travées

- $M_{(A-B)} = \frac{\sigma h'^2}{8} + \frac{M_A + M_B}{2} = \frac{3.33 \times 0.65^2}{8} - 0.033 = 0.143 \text{ kN.m}$

**$M_{(A-B)} = 0.143 \text{ kN.m}$**

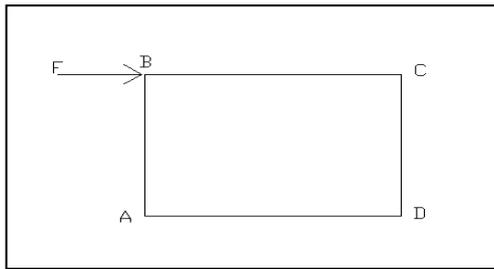
- $M_{(A-D)} = \frac{M_A + M_D}{2} = -0.133 \text{ kN.m}$

**$M_{(A-D)} = -0.133 \text{ kN.m}$**

- $M_{(B-C)} = -\frac{M_B + M_C}{2}$

**$M_{(B-C)} = 0.133 \text{ kN.m}$**

**B-6) Calcul des sollicitations sous l'action des forces de freinage**



a) Calcul de la force de freinage

On considère 2 essieux de 12 tonnes placés simultanément cote à cote sur le dalot. La force de freinage F est :

$$F = \frac{120 \times 2}{5}$$

**$F = 48 \text{ kN/ml}$**

b) Moments sur appuis

- $M_A = M_D = \frac{F \times h'}{2F_2} \times K3 = \frac{48 \times 0.65}{2 \times 5.42} \times 2.51 = 7.22 \text{ kN.m}$

**$M_A = M_D = 7.22 \text{ kN.m}$**

- $M_B = -M_C = \frac{F \times h'}{2F_2} \times K4 = \frac{48 \times 0.65}{2 \times 5.42} \times 2.91 = 8.38 \text{ kN.m}$

- **$M_B = M_C = 8.38 \text{ kN.m}$**

c) Efforts normaux

- $N_4 = -N_2 = \frac{F \times h'}{l \times F_2} \times K4 = \frac{48 \times 0.65}{1.15 \times 5.42} \times 2.91 = 14.57 \text{ kN}$

**$N_4 = -N_2 = 14.57 \text{ kN}$**

- $N_3 = \frac{F}{2} = 24 \text{ kN}$

**$N_3 = 24 \text{ kN}$**

- $N_1 = \pm \frac{F}{2} = \pm 24 \text{ kN}$

**$N_1 = \pm 24 \text{ kN}$**

d) Moments en mi-travée

- $M_{(A-B)} = -M_{(C-D)} = \frac{-M_A + M_B}{2} = \frac{-7.22 + 8.38}{2} = 0.58 \text{ kN.m}$

$M_{(A-B)} = -M_{(C-D)} = \mathbf{0.58 \text{ kN.m}}$

- $M_{(B-C)} = M_{(A-D)} = \mathbf{0 \text{ kN.m}}$

Tableau récapitulatif des efforts et sollicitations du dalot

	MA	M (A-B)	M(B)	M (B-C)	MC	M (A-D)	M(D)	M(C-D)	N1	N2	N3	N4	
	-0.151	-0.151	-0.15	0.21	-0.15	0.21	-0.151	-0.151	0	1.24	0	1.24	
	-0.345	-0.149	0.048	0.048	0.048	0.355	-0.345	-0.149	0.60	2.438	-0.60	2.438	
	-0.031	0.156	0.026	-0.026	-0.026	0.031	-0.031	0.156	0.98	0	0.97	0	
	-9.23	-9.23	-9.23	12.5	-9.23	12.5	-9.23	-9.23	0	75.60	0	75.60	
	-0.133	0.143	0.133	0.133	-0.133	-0.133	-0.133	-0.133	1.08	0	1.08	0	
	7.22	0.58	8.38	0	-8.38	0	7.22	-0.58	24	14.57	24	14.57	
<b>A</b>	<b>1+2+3</b>	<b>-0.527</b>	<b>-0.144</b>	<b>0.129</b>	<b>0.232</b>	<b>0.076</b>	<b>0.596</b>	<b>0.527</b>	<b>-0.144</b>	<b>1.58</b>	<b>3.678</b>	<b>0.37</b>	<b>3.678</b>
<b>B</b>	<b>4+5+6</b>	<b>-2.143</b>	<b>-8.507</b>	<b>0.973</b>	<b>12.63</b>	<b>17.48</b>	<b>12.367</b>	<b>-2.133</b>	<b>-9.94</b>	<b>25.08</b>	<b>90.17</b>	<b>25.08</b>	<b>90.17</b>

V) Calcul des armatures

Rappels des hypothèses

Béton

- dosage :  $350 \text{ kg/m}^3$  de CPA 45 ou de classe équivalente
- poids volumique :  $\gamma_{\text{béton}} = 25 \text{ Kn/m}^3$
- résistance à la compression à 28 jours :  $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$
- résistance à la traction à 28 jours :  $f_{t28} = 0.6 + 0.06 f_{c28} = 2.1 \text{ MPa}$
- coefficient de sécurité  $\gamma_b = 1.5$
- résistance de calcul du béton en compression à l'ELU :  $f_{bu} = 0.85 \frac{f_{c28}}{\gamma_b} = 14.16 \text{ MPa}$
- contrainte limite de béton comprimé à l'ELS  $\sigma_{bc} = 0.6 f_{c28} = 15 \text{ MPa}$

Acier

- Acier à haute adhérence (HA) de nuance **FeE400**
- Limite d'élasticité **Fe=400Mpa**
- Coefficient de sécurité  $\gamma_s=1.15$
- Coefficient d'adhérence :  $\eta=1.6$
- Contrainte limite des aciers à l'ELS :  $\sigma_s=\min(\frac{2}{3} f_e; 110\sqrt{\eta \times ft28})=201.63\text{MPa}$
- $\sigma_{st}=\frac{fe}{\gamma_s}=348\text{Mpa}$

Les calculs seront faits pour une bande de 1 mètre linéaire de longueur de dalot d'épaisseur 15 cm. La fissuration est considérée comme préjudiciable donc les calculs se feront à l'ELS.

A) Calcul des armatures du tablier

	Éléments à calculer	Le tablier			
	Section considéré	en B	en C	en mi-travée	
	<b>Données</b>	Mg en kN.m	0.129	0.129	0.232
		Mq en kN.m	0.973	0.973	12.63
		Ng en kN	0.37	0.37	0.37
		Nq en kN	25.08	25.08	25.08
	<b>ELS</b>	<b>Mser=Mg+Mq</b> en kN.m	1.102	1.102	12.862
		<b>Nser=Ng+Nq</b> en kN.m	25.45	25.45	25.45
	<b>excentricité e en m</b>	$\frac{Mser}{Nser}$	0.076	0.076	0.51
	<b>conclusion partielle</b>	flexion composée	flexion composée	flexion composée	
		partiellement tendue	partiellement tendue	partiellement tendue	
	<b>calcul des armatures en flexion composé partiellement tendue</b>				
$\bar{\alpha}_1$	$\frac{15 \times \bar{\sigma}_{bc}}{15 \times \bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_s}$	0.39	0.39	0.39	

<b>Mrb en MN</b>	$\frac{1}{2} \times \bar{\alpha}_1 \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_1}{3}\right) b_0 \times d^2 \times \bar{\sigma}_{bc}$	0.05	0.05	0.05
<b>Mser<sub>A</sub> en kN</b>	$M_{serA} = M_{max} + N_{max} \left(d - \frac{h}{2}\right)$	11.88	11.88	-0.12
<b>Zb</b>	$d \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_1}{3}\right)$	0.12	0.12	0.12
<b>A<sub>ser</sub></b>	$\frac{M_{ser}}{z_b \times \bar{\sigma}_s}$	4.84cm <sup>2</sup>	4.84cm <sup>2</sup>	-0.05cm <sup>2</sup>
<b>A</b>	$A_{ser} - \frac{N_{max}}{\sigma_{st}}$	4.77cm <sup>2</sup>	4.77cm <sup>2</sup>	-0.12cm <sup>2</sup>
<b>A<sub>min</sub></b>	$0.23 \frac{f_{t28}}{f_e} b_0 d \times \frac{e - 0.45d}{e - 0.185d}$	-1.91cm <sup>2</sup>	-1.91cm <sup>2</sup>	1.56cm <sup>2</sup>
<b>A retenu</b>		<b>4.84cm<sup>2</sup></b>	<b>4.84cm<sup>2</sup></b>	<b>1.56cm<sup>2</sup></b>
<b>choix des aciers</b>		<b>7HA10</b>	<b>7HA10</b>	<b>6HA6</b>
<b>soit</b>		<b>5.50cm<sup>2</sup></b>	<b>5.50cm<sup>2</sup></b>	<b>1.70cm<sup>2</sup></b>

B) Calcul des armatures du radier

	Éléments à calculer	Le radier			
	Section considéré	en A	en D	en mi-travée	
	<b>Données</b>	Mg en kN.m	0.527	0.527	0.596
		Mq en kN.m	2.143	2.143	12.367
		Ng en kN	1.58	1.58	1.58
		Nq en kN	25.08	25.08	25.08
	<b>ELS</b>	<b>Mser=Mg+Mq</b> en kN.m	2.67	2.67	12.963
		<b>Nser=Ng+Nq</b> en kN.m	26.66	26.66	26.66
	<b>excentricité e en m</b>	$\frac{M_{ser}}{N_{ser}}$	0.10	0.10	0.49
	<b>conclusion partielle</b>	flexion composée	flexion composée	flexion composée	

		partiellement tendue	partiellement tendue	partiellement tendue
<b>calcul des armatures en flexion composé partiellement tendue</b>				
$\bar{\alpha}_1$	$\frac{15 \times \bar{\sigma}_{bc}}{15 \times \bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_s}$	0.39	0.39	0.39
<b>Mrb en MN</b>	$\frac{1}{2} \times \bar{\alpha}_1 \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_1}{3}\right) b_0 \times d^2 \times \bar{\sigma}_{bc}$	0.05	0.05	0.05
<b>Mser<sub>A</sub> en kN</b>	$M_{serA} = M_{max} + N_{max} \left(d - \frac{h}{2}\right)$	10.93	10.93	-0.63
	<b>Type de section</b>	sans armatures comprimées	sans armatures comprimées	sans armatures comprimées
<b>Zb</b>	$d \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_1}{3}\right)$	0.12	0.12	0.12
<b>A<sub>ser</sub></b>	$\frac{M_{ser}}{z_b \times \bar{\sigma}_s}$	4.45cm <sup>2</sup>	4.15cm <sup>2</sup>	-0.26cm <sup>2</sup>
<b>A</b>	$A_{ser} - \frac{N_{max}}{\sigma_{st}}$	4.38cm <sup>2</sup>	4.38cm <sup>2</sup>	-0.33cm <sup>2</sup>
<b>A<sub>min</sub></b>	$0.23 \frac{f_{t28}}{f_e} b_0 d \times \frac{e - 0.45d}{e - 0.185d}$	0.85cm <sup>2</sup>	0.85cm <sup>2</sup>	1.55cm <sup>2</sup>
		<b>4.38cm<sup>2</sup></b>	<b>4.38cm<sup>2</sup></b>	<b>1.55cm<sup>2</sup></b>
<b>choix des aciers</b>		<b>6HA10</b>	<b>6HA10</b>	<b>6HA6</b>
<b>soit</b>		<b>4.71cm<sup>2</sup></b>	<b>4.71cm<sup>2</sup></b>	<b>1.70cm<sup>2</sup></b>

C) Calcul des armatures du piédroit

	Éléments à calculer	Le piédroit droit			
		en C	en D	en mi-travée	
	<b>Section considéré</b>				
	<b>Données</b>	Mg en kN.m	0.076	0.076	0.144
		Mq en kN.m	17.48	17.48	9.94
		Ng en kN	3.678	3.678	3.678
		Nq en kN	90.17	90.17	90.17

		<b>Mser=Mg+Mq</b>			
	<b>ELS</b>	en kN.m	17.556	17.556	10.084
		<b>Nser=Ng+Nq</b>	93.848	93.848	
		en kN.m			93.848
	<b>excentricité e en m</b>	$\frac{M_{ser}}{N_{ser}}$	0.19	0.19	0.11
	<b>conclusion partielle</b>		flexion composée	flexion composée	flexion composée
			partiellement tendue	partiellement tendue	partiellement tendue
<b>calcul des armatures en flexion composé partiellement tendue</b>					
$\bar{\alpha}_1$	$\frac{15 \times \bar{\sigma}_{bc}}{15 \times \bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_s}$		0.39	0.39	0.53
<b>Mrb en MN</b>	$\frac{1}{2} \times \bar{\alpha}_1 \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_1}{3}\right) b_0 \times d^2 \times \bar{\sigma}_{bc}$		0.05	0.05	0.05
<b>MserA en kN</b>	$M_{serA} = M_{max} + N_{max} \left(d - \frac{h}{2}\right)$		30.31	30.21	-37.78
<b>Zb</b>	$d \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_1}{3}\right)$		0.12	0.12	0.12
$A_{ser}$	$\frac{M_{ser}}{z_b \times \bar{\sigma}_s}$		12.35cm <sup>2</sup>	12.35cm <sup>2</sup>	-15.40cm <sup>2</sup>
<b>A</b>	$A_{ser} - \frac{N_{max}}{\sigma_{st}}$		12.08cm <sup>2</sup>	12.08cm <sup>2</sup>	-15.67cm <sup>2</sup>
$A_{min}$	$0.23 \frac{f_{t28}}{f_e} b_0 d \times \frac{e - 0.45d}{e - 0.185d}$		1.3cm <sup>2</sup>	1.3cm <sup>2</sup>	0.92cm <sup>2</sup>
<b>A retenu</b>			<b>12.35cm<sup>2</sup></b>	<b>12.31cm<sup>2</sup></b>	<b>0.92cm<sup>2</sup></b>
<b>choix des aciers</b>			<b>9HA14</b>	<b>9HA14</b>	<b>4HA6</b>
<b>soit</b>			<b>13.85cm<sup>2</sup></b>	<b>13.85cm<sup>2</sup></b>	<b>1.13cm<sup>2</sup></b>

## VI) Ferraillage du dalot

### 1) Principe

Pour le ferraillage il est à noter que :

- Pour le tablier (élément BC du cadre) : les aciers calculés en mi-travée sont les aciers du lit inférieur et ceux calculés aux appuis B et C sont les aciers du lit supérieur.

- Pour le radier (élément AD) : les aciers calculés en mi-travée sont les aciers du lit supérieur et ceux calculés aux appuis A et D sont les aciers du lit inférieur.
- Les aciers calculés sont les aciers à répartir dans le sens de la plus petite portée de la bande ; c'est-à-dire dans le sens de  $b = 1m$ .
- Le diamètre des aciers dans le sens de la plus grande portée ( $O_y$ ) soit le ferrailage transversal est déduit de celui des aciers calculés dans le sens de la plus petite portée ( $O_x$ ) par la relation suivante :

$$A_{\text{strans}} = \frac{1}{3} \times A_s$$

## ANNEXE IV: DIMENSIONNEMENT BETON ARME DES CANIVEAUX

### *Calcul des sollicitations et choix des armatures*

#### *Hypothèses de calcul de caniveau*

##### – Règlements

Règles BAEL 91 et Additif 99

##### – Caractéristiques des Matériaux

###### • Béton

Dosage : 350 kg /m<sup>3</sup> de CPA 45 ou de classe équivalente

Résistances caractéristiques :  $f_{c28} = 25$  MPa ;  $f_{t28} = 2,1$  MPa

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

Contrainte admissible:  $\bar{\sigma}_{bc} = 0,6 \times f_{c28} = 15$  MPa

Facteur d'équivalence contraintes aciers/contraintes béton :  $n = 15$

$d = 0,9h$

###### • Aciers

Aciers à haute adhérence (HA) de nuance Fe E 400

Limite d'élasticité  $f_e = 400$  MPa

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

Coefficient d'adhérence :  $\eta = 1,6$

Contrainte admissible :  $\bar{\sigma}_s = 201,6$  MPa

La fissuration préjudiciable ; le calcul sera effectué à l'ELS

##### – Sol de fondation

Poids volumique des terres :  $\gamma = 20$  KN/m<sup>3</sup>

Coefficient De Poussée :  $K_p = 0,33$

Surcharges De Remblai :  $Q = 10$  KN/m<sup>2</sup>

Contrainte Admissible :  $\sigma_a = 0,15$  MPa

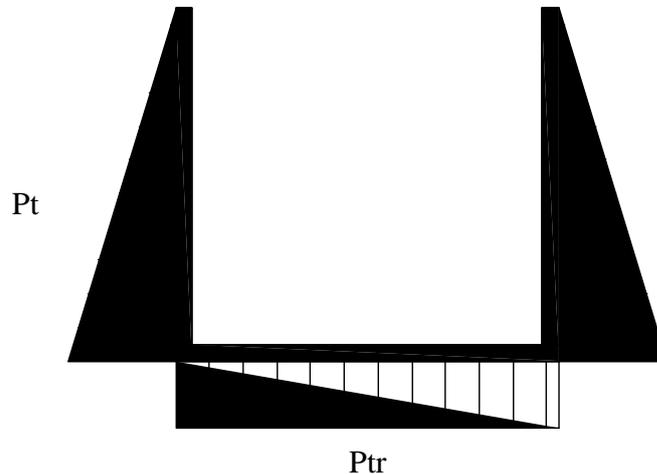
##### – Principe de calcul des efforts et sollicitations

De manière générale, on mènera les calculs par bande de 1,00 mètre linéaire de longueur des

caniveaux.

### *Calcul des sollicitations*

#### **a. Caniveau 150x150**



Poids propre de piédroit :  $P_p = 25 \cdot e \cdot h = 5.625 \text{ KN/ml}$

Poids propre du radier :  $P_r = 25 \cdot e \cdot h = 5.625 \text{ KN/ml}$

Poussée des terres sous le radier :  $P_{tr} = \frac{2(P_p + P_r)}{l} = 15 \text{ KN/ml}$

Poussée des terres :  $P_t = k \cdot \gamma_s \cdot h^2/2 = 7.425 \text{ KN/ml}$

#### **– Effort normal**

Effort normal maximal dans le piédroit :  $N_{\max} = 5.625 \text{ KN/ml}$

Effort normal maximal dans le radier :  $N_{\max} = k \cdot \gamma_s \cdot h = 9.9 \text{ KN/ml}$

#### **– Moments**

Moment maximum dû au poids du radier :  $M_p = P_r \cdot l^2/8 = 1.58 \text{ KN.m/ml}$

Moment maximum dû à la poussée des terres :  $M_{pt} = P_t \cdot h/3 = 3.71 \text{ KN.m/ml}$

Moment maximum dû à la poussée des terres sous le radier :  $M_{ptr} = -P_{tr} \cdot l^2/2 = -16.88 \text{ KN.m/ml}$

#### **– Combinaison des moments**

Moments maximum dans le radier :  $M_{\max} = M_p + M_{ptr} = -15.30 \text{ KN.m/ml}$

Moment maximum à la base de piédroit :  $M_{\max} = M_{pt} = 3.71 \text{ KN.m/ml}$

– **Calcul des aciers**

- Les aciers aux appuis de piedroit

$e = \frac{M_{max}}{N_{max}} = \frac{3.71}{5.625} = 0.66 \text{ m}$  ; Le centre de pression est hors des aciers  $\Rightarrow$  le calcul se fera en flexion composé

**Calcul à l'ELS**

$$M_{ser} = M_s + N_s \cdot (d-h/2) = 3.71 + 5.625 \cdot (0.135 - 0.15/2) = 4.05 \text{ KN.m/ml}$$

$$\alpha_{RB} = \frac{\bar{\sigma}_{bc}}{\bar{\sigma}_{bc} + \frac{\sigma_s}{15}} = \frac{15}{15 + \frac{201.6}{15}} = 0.53$$

$$M_{RB} = \frac{\alpha_{RB} \cdot b \cdot d^2 \cdot \bar{\sigma}_{bc}}{2} \cdot \left(1 - \frac{\alpha_{RB}}{3}\right) = \frac{0.53 \cdot 1.00 \cdot 0.135^2 \cdot 15}{2} \cdot \left(1 - \frac{0.53}{3}\right) = 59.65 \text{ KN.m/ml}$$

$M_{ser} < M_{RB}$ . Nous pouvons donc appliquer la méthode simplifiée avec  $y_{RB} = \alpha_{RB} \cdot d$

$$A_s = \frac{M_{ser}}{(d - \frac{y_{RB}}{3}) \cdot \sigma_s} = \frac{0.00371}{(0.135 - \frac{0.053}{3}) \cdot 201.6} = \mathbf{1.57 \text{ cm}^2}$$

**Calcul à l'ELU**

$$M_u = 1.35 \cdot M_{max} = 5.01 \text{ KN.m/ml}$$

$$\mu = \frac{M_u}{(b \cdot d^2 \cdot \sigma_{bc})} = \frac{0.00501}{(1.00 \cdot 0.135^2 \cdot 14.17)} = 0.0194$$

$$\alpha = 1.25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu}) = 1.25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0.0194}) = 0.0245$$

$$z = d \cdot (1 - 0.4 \cdot \alpha) = 0.135 \cdot (1 - 0.4 \cdot 0.0245) = 0.13368$$

$$A_u = \frac{M}{z \cdot \sigma_s} = \frac{0.00371}{0.13368 \cdot 348} = \mathbf{1.08 \text{ cm}^2}$$

**Condition de non fragilité**

$$A_{min} \geq 0.23 \cdot b \cdot d \cdot f_{t28} / f_c \Rightarrow A_{min} \geq 0.23 \cdot 1.00 \cdot 0.135 \cdot 2.1 / 400 = 1.63 \text{ cm}^2$$

Nous retenons donc **As = 1.63 cm<sup>2</sup>**

Soit pour les aciers verticaux 6HA6 espacé de 20 cm par mètre linéaire.

**Calcul des aciers de répartition**

$A_r \text{ (cm}^2\text{/m)} \geq 0.08e_1 = 0.08*0.15 = 1.2\text{cm}^2\text{/m}$ , nous retenons 4HA6 espacé de 25cm.

- Les aciers en travée du radier

$e = \frac{M_{max}}{N_{max}} = \frac{-15.30}{9.9} = -1.55 \text{ m}$  ; Le centre de pression est hors des aciers  $\Rightarrow$  le calcul se fera en flexion composé

### Calcul à l'ELS

$$M_{ser} = M_s + N_s*(d-h/2) = -15.30 + 9.9 *(0.135-0.15/2) = -14.71 \text{ KN.m/ml}$$

$$\alpha_{RB} = \frac{\bar{\sigma}_{bc}}{\bar{\sigma}_{bc} + \frac{\bar{\sigma}_s}{15}} = \frac{15}{15 + \frac{201.6}{15}} = 0.53$$

$$M_{RB} = \frac{\alpha_{RB}*b*d^2*\bar{\sigma}_{bc}}{2} * \left(1 - \frac{\alpha_{RB}}{3}\right) = \frac{0.53*1.00*0.135^2*15}{2} * \left(1 - \frac{0.53}{3}\right) = 59.65 \text{ KN.m/ml}$$

$M_{ser} < M_{RB}$ . Nous pouvons donc appliquer la méthode simplifiée avec  $y_{RB} = \alpha_{RB} * d$

$$A_s = \frac{M_{ser}}{(d - \frac{y_{RB}}{3})*\bar{\sigma}_s} = \frac{-0.01471}{(0.135 - \frac{0.053}{3})*201.6} = \mathbf{6.22 \text{ cm}^2}$$

### Calcul à l'ELU

$$M_u = 1.35*M_{max} = -20.66\text{KN.m/ml}$$

$$\mu = \frac{M_u}{(b * d^2 * \sigma_{bc})} = \frac{-0.01530}{(1.00 * 0.135^2 * 14.17)} = -0.08$$

$$\alpha = 1.25 * (1 - \sqrt{1 - 2 * \mu}) = 1.25 * (1 - \sqrt{1 + 2 * 0.08}) = -0.09627$$

$$z = d * (1 - 0.4 * \alpha) = 0.135 * (1 + 0.4 * 0.09627) = 0.1402$$

$$A_u = \frac{M}{z * \sigma_s} = \frac{-0.0153}{0.1402 * 348} = \mathbf{4.234 \text{ cm}^2}$$

### Condition de non fragilité

$$A_{min} \geq 0.23*b*d*f_{t28}/f_c \Rightarrow A_{min} \geq 0.23*1.00*0.135*2.1/400 = 1.63 \text{ cm}^2$$

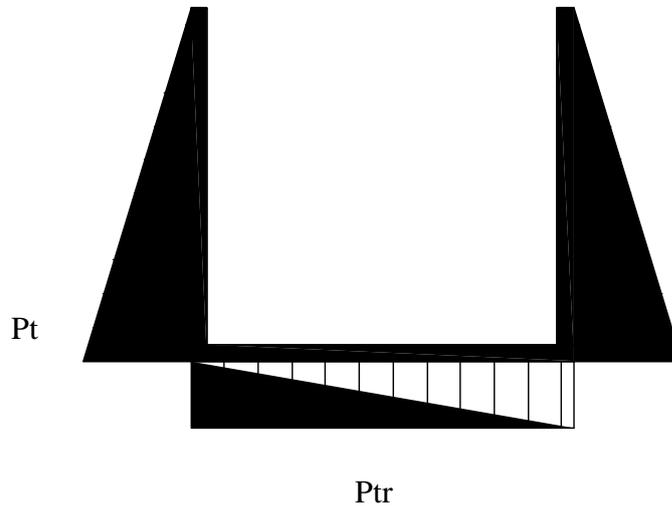
Nous retenons donc  $A_s = \mathbf{6.22 \text{ cm}^2}$

Soit pour les aciers verticaux 6HA12 espacé de 20 cm par mètre linéaire.

### Calcul des aciers de répartition

$A_r (\text{cm}^2/\text{m}) \geq 0.08e_1 = 1.2 \text{cm}^2/\text{m}$ , nous retenons 4HA6 espacé de 25cm.

**b. Caniveau 100x50**



Poids propre de piédroit :  $P_p = 25 * e * h = 1.875 \text{ KN/ml}$

Poids propre du radier :  $P_r = 25 * e * h = 3.75 \text{ KN/ml}$

Poussée des terres sous le radier :  $P_{tr} = \frac{2(P_p + P_r)}{l} = 11.25 \text{ KN/ml}$

Poussée des terres :  $P_t = k * \gamma_s * h^2 / 2 = 0.825 \text{ KN/ml}$

– **Effort normal**

Effort normal maximal dans le piédroit :  $N_{\max} = 1.875 \text{ KN/ml}$

Effort normal maximal dans le radier :  $N_{\max} = k * \gamma_s * h = 3.3 \text{ KN/ml}$

– **Moments**

Moment maximum dû au poids du radier :  $M_p = P_r * l^2 / 8 = 0.47 \text{ KN.m/ml}$

Moment maximum dû à la poussée des terres :  $M_{pt} = P_t * h / 3 = 0.14 \text{ KN.m/ml}$

Moment maximum dû à la poussée des terres sous le radier :  $M_{ptr} = -P_{tr} * l^2 / 2 = -5.625 \text{ KN.m/ml}$

– **Combinaison des moments**

Moments maximum dans le radier :  $M_{\max} = M_p + M_{ptr} = -5.16 \text{ KN.m/ml}$

Moment maximum à la base de piédroit :  $M_{\max} = M_{pt} = 0.14 \text{ KN.m/ml}$

– **Calcul des aciers**

- Les aciers aux appuis de piédroit

$$e = \frac{M_{max}}{N_{max}} = \frac{0.14}{1.875} = 0.075 \text{ m} ; \text{ Le centre de pression est hors des aciers } \Rightarrow \text{ le calcul se fera en}$$

flexion composé

**Calcul à l'ELS**

$$M_{ser} = M_s + N_s * (d-h/2) = 0.14 + 1.875 * (0.135 - 0.15/2) = 0.25 \text{ KN.m/ml}$$

$$\alpha_{RB} = \frac{\bar{\sigma}_{bc}}{\bar{\sigma}_{bc} + \frac{\bar{\sigma}_s}{15}} = \frac{15}{15 + \frac{201.6}{15}} = 0.53$$

$$M_{RB} = \frac{\alpha_{RB} * b * d^2 * \bar{\sigma}_{bc}}{2} * \left(1 - \frac{\alpha_{RB}}{3}\right) = \frac{0.53 * 1.00 * 0.135^2 * 15}{2} * \left(1 - \frac{0.53}{3}\right) = 59.65 \text{ KN.m/ml}$$

$M_{ser} < M_{RB}$ . Nous pouvons donc appliquer la méthode simplifiée avec  $y_{RB} = \alpha_{RB} * d$

$$A_s = \frac{M_{ser}}{(d - \frac{y_{RB}}{3}) * \bar{\sigma}_s} = \frac{0.00025}{(0.135 - \frac{0.053}{3}) * 201.6} = \mathbf{0.11 \text{ cm}^2}$$

**Calcul à l'ELU**

$$M_u = 1.35 * M_{max} = 0.19 \text{ KN.m/ml}$$

$$\mu = \frac{M_u}{(b * d^2 * \sigma_{bc})} = \frac{0.00019}{(1.00 * 0.135^2 * 14.17)} = 0.000732$$

$$\alpha = 1.25 * (1 - \sqrt{1 - 2 * \mu}) = 1.25 * (1 - \sqrt{1 - 2 * 0.000732}) = 0.00092$$

$$z = d * (1 - 0.4 * \alpha) = 0.135 * (1 - 0.4 * 0.00092) = 0.135$$

$$A_u = \frac{M}{z * \sigma_s} = \frac{0.00014}{0.135 * 348} = \mathbf{0.0401 \text{ cm}^2}$$

**Condition de non fragilité**

$$A_{min} \geq 0.23 * b * d * f_{t28} / f_c \Rightarrow A_{min} \geq 0.23 * 1.00 * 0.135 * 2.1 / 400 = 1.63 \text{ cm}^2$$

Nous retenons donc **As = 1.63 cm<sup>2</sup>**

Soit pour les aciers verticaux 6HA6 espacé de 20 cm par mètre linéaire.

### Calcul des aciers de répartition

$A_r (\text{cm}^2/\text{m}) \geq 0.08e_1 = 0.08*0.15 = 1.2\text{cm}^2/\text{m}$ , nous retenons 4HA6 espacé de 25cm.

- Les aciers en travée du radier

$e = \frac{M_{max}}{N_{max}} = \frac{-5.625}{3.3} = -1.70 \text{ m}$  ; Le centre de pression est hors des aciers  $\Rightarrow$  le calcul se fera en flexion composé

### Calcul à l'ELS

$M_{ser} = M_s + N_s*(d-h/2) = -5.625 + 3.3*(0.135-0.15/2) = -5.43 \text{ KN.m/ml}$

$$\alpha_{RB} = \frac{\bar{\sigma}_{bc}}{\bar{\sigma}_{bc} + \frac{\bar{\sigma}_s}{15}} = \frac{15}{15 + \frac{201.6}{15}} = 0.53$$

$$M_{RB} = \frac{\alpha_{RB} * b * d^2 * \bar{\sigma}_{bc}}{2} * \left(1 - \frac{\alpha_{RB}}{3}\right) = \frac{0.53 * 1.00 * 0.135^2 * 15}{2} * \left(1 - \frac{0.53}{3}\right) = 59.65 \text{ KN.m/ml}$$

$M_{ser} < M_{RB}$ . Nous pouvons donc appliquer la méthode simplifiée avec  $y_{RB} = \alpha_{RB} * d$

$$A_s = \frac{M_{ser}}{(d - \frac{y_{RB}}{3}) * \bar{\sigma}_s} = \frac{-0.0053}{(0.135 - \frac{0.053}{3}) * 201.6} = 2.29 \text{ cm}^2$$

### Calcul à l'ELU

$M_u = M_{max} = -7.594 \text{ KN.m/ml}$

$$\mu = \frac{M_u}{(b * d^2 * \sigma_{bc})} = \frac{-0.007594}{(1.00 * 0.135^2 * 14.17)} = -0.0294$$

$$\alpha = 1.25 * (1 - \sqrt{1 - 2 * \mu}) = 1.25 * (1 - \sqrt{1 + 2 * 0.0294}) = -0.036231$$

$$z = d * (1 - 0.4 * \alpha) = 0.135 * (1 + 0.4 * 0.036231) = 0.137$$

$$A_u = \frac{M}{z * \sigma_s} = \frac{-0.005626}{0.137 * 348} = 1.6 \text{ cm}^2$$

### Condition de non fragilité

$A_{min} \geq 0.23 * b * d * f_{t28} / f_c \Rightarrow A_{min} \geq 0.23 * 1.00 * 0.135 * 2.1 / 400 = 1.63 \text{ cm}^2$

Nous retenons donc **As = 2.29 cm<sup>2</sup>**

Soit pour les aciers verticaux 5HA8 espacé de 25 cm par mètre linéaire.

### Calcul des aciers de répartition

$A_r (\text{cm}^2/\text{m}) \geq 0.08e_1 = 1.2\text{cm}^2/\text{m}$ , nous retenons 4HA6 espacé de 25cm.

**ANNEXE V:DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF**

Réf	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire(CFA)	Montant(CFA)
<b>100</b>	<b>Travaux préparatoires</b>				
101	Installation du chantier	Fft			70000000
102	Amenée et repliement du chantier	Fft			30000000
	<b>Total série 100</b>				<b>100000000</b>
<b>200</b>	<b>Travaux préliminaires</b>				
201	Débroussaillage avant terrassement	m <sup>2</sup>	65167,5	400	26067000
202	Abattages d'arbres	u	0	50000	0
	<b>Total Série 200</b>				<b>26067000</b>
<b>300</b>	<b>Terrassement</b>				
301	Décapage sur une épaisseur de 10cm	m <sup>2</sup>	43445	350	15205750
302	Volume remblai	m <sup>3</sup>	10772	8000	86176000
303	Volume déblai	m <sup>3</sup>	20597	4000	82388000
304	Scarification et stabilisation de la plate-forme	m <sup>2</sup>	39100,5	500	19550250
305	Couche de fondation en graveleux latéritique naturelle	m <sup>3</sup>	7820,1	5000	39100500
306	Couche de base en grave naturelle amélioré au ciment	m <sup>3</sup>	7820,1	140000	1094814000
	<b>Total série 300</b>				<b>1337234500</b>
<b>400</b>	<b>Revêtement</b>				
401	Couche d'imprégnation	m <sup>2</sup>	39100,5	1500	58650750
402	Exécution de 5cm de revêtement en béton bitumineux (chaussée)	m <sup>3</sup>	391,005	200000	78201000
	<b>Total série 400</b>				<b>136851750</b>
<b>500</b>	<b>Assainissement</b>				
501	caniveau en béton armé de 100*50cm <sup>2</sup>	ml	512	150000	76800000
502	caniveau en béton armé de 150*150cm <sup>2</sup>	ml	3796	250000	949000000
503	dallette pour caniveau 150*150cm <sup>2</sup>	ml	30	100000	3000000
	<b>Total Série 500</b>				<b>1028800000</b>
<b>600</b>	<b>Ouvrage d'art (dalot)</b>				
601	fouille en pleine masse	m <sup>3</sup>	13	5500	71500
602	béton de propreté dosé à 150kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	1,3	80000	104000
603	béton dosé à 350kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	8,1	225000	1822500
604	Enrochements	m <sup>3</sup>	8,1	35000	283500

Aménagement de la voie d'accès à la nouvelle cimenterie de Kossodo

---

	<b>Total série 600</b>				<b>2281500</b>
<b>700</b>	<b>Signalisation</b>				
701	Marquage axial	ml	4344,5	9500	41272750
702	Marquage de rive	ml	8689	9500	82545500
703	Panneaux de signalisation	u	3	200000	600000
	<b>Total série 700</b>				<b>124418250</b>
<b>800</b>	<b>Éclairage public</b>				
801	Candélabres et équipements	u	50	600000	30000000
	<b>Total série 800</b>				<b>30000000</b>
<b>900</b>	<b>Mesures environnementales et social</b>	Fft			140000000
	<b>Total série 900</b>				<b>140000000</b>
	<b>TOTAL GENERAL HORS TAXE</b>				<b>2899586000</b>