



« ÉTUDE TECHNIQUE DÉTAILLÉE DES TRAVAUX
DE CONSTRUCTION ET DE BITUMAGE DE LA
ROUTE NATIONALE N°21 DIDYR-TOMA-TOUGAN :
CAS DU TRONÇON TOMA-TOUGAN (DU PK 151+474
AU PK 162+195) »

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC
GRADE DE MASTER
OPTION : GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE

Présenté et soutenu publiquement le 02 juillet 2019 par :
Lamine Abdel Aziz FORGO (2013 0455)

Directeur de Mémoire : **Moussa LO, Enseignant**, Département GCH, 2iE

Maître de stage : **BELKADI Sid Ahmed Abdelaziz**, Chef de la mission de Contrôle

Structure d'accueil du stage : Direction Générale des Infrastructures Routières (DGIR)

Jury d'évaluation du Stage :

Président : **Dr. Abdou LAWANE**

Membres et Correcteurs : **Mme Marie Therese GOMIS**

Dr. Seick Omar SORE

Promotion [2018/2019]

DÉDICACES

- ♥ A mon père et ma mère que j'aime de tout mon cœur, sans qui je n'aurai pas abouti à ce stade de fin de cycle, puisse Dieu toujours m'aider à les honorer.

- ♥ A ceux que j'aime profondément :
Mes frères FORGO Abdina, FORGO Rahim et mes sœurs FORGO Rahina, FORGO Ouzzephath ; mes cousins et cousines, Eliezer, Hannelle, Amiratou, Shaïna, Ibrahim, Omar...

- ♥ A toi DRABO Salif, puisse ton âme toujours reposé en paix

- ♥ A toute la grande famille FORGO, oncles, tantes et grands parents

- ♥ A tous mes vrais amis, pour leurs soutiens et leurs affections...
SINON Abdoul Aziz, KOMBASSERE Pacôme, Ezaïe KONE, ZONGO Salif, KANTAGBA Razack, SANGARE Aboubacar, ZOUNGRANA Lionel, YAMEOGO Bertrand, ZONGO Aristide, ROUSSOU Paul, OUEDRAOGO Ben Idriss...

- ♥ Particulièrement à Madame Maïza SEREME, pour sa confiance envers ma personne...

- ♥ A toi Loetitia Flavie SAWADOGO pour ta présence et ton soutien...



CITATION

« Rien de grand ne s'est accompli dans le monde sans passion »

HEGEL

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de ce stage pour l'obtention du diplôme d'ingénieur ainsi que toutes ces personnes qui m'ont guidé et éclairé lors de la rédaction de ce rapport. Je vous dis merci pour toute votre sollicitude...

Qu'il me soit permis de remercier particulièrement :

- ✚ M. le Directeur Général de l'Institut 2iE et ses collaborateurs, l'administration, les professeurs pour tous les efforts consentis pour notre éducation et le partage de savoir ;
- ✚ M. Moussa LO, enseignant chercheur junior à 2iE, mon directeur de mémoire, pour sa disponibilité et sa confiance envers ma personne ;
- ✚ M. Franck Ollo KANSIE, Directeur Général de la DGIR, pour avoir agréé ma demande de stage ;
- ✚ M. Roger ZANGRE, Chef de projet des travaux de construction et de bitumage de la RN21, pour m'avoir permis d'intégrer votre équipe ;
- ✚ M. BELKADI Sid Ahmed Abdelaziz, Chef de la mission de Contrôle ;
- ✚ M. Angelino NONFON, Ingénieur Topographe de la mission de contrôle, merci pour votre disponibilité ;
- ✚ M. et Mme ANDRIANANTENAINA pour leurs attentions
- ✚ M. Koye KONE, responsable de la section Topographie à la Compagnie Sahélienne d'Entreprise, pour m'avoir soutenu durant tout le stage ;
- ✚ M. aboubacary SOULAMA, secrétariat de la mission de contrôle ;
- ✚ M. Sayouba TIONO et Mr Dieudonné KINI, tous Ingénieurs structures, pour leurs conseils précieux dans le cadre de mes études ;
- ✚ Tous mes camarades et étudiants de 2iE, pour la fraternité et le partage.

RÉSUMÉ

Le projet d'aménagement de la route Didyr-Toma-Tougan objet de notre étude est intitulée « Etude technique détaillée des travaux de construction et de bitumage de la route nationale n°21 Didyr-Toma-Tougan : cas du tronçon Toma-Tougan (du PK 151+474 au PK 162+195) », est définie sur un tronçon de 10,8 kilomètres. Il s'insère dans le cadre du projet de transport et de désenclavement des infrastructures urbains (PTDIU), accompagné par la BOAD.

En effet, certaines études ont été préalablement menées en vue de reconnaître le site du projet. Il s'agit notamment des études topographiques, des études géotechniques, des études hydrologiques, également des études environnementales, économiques et sociales.

Le dimensionnement structurel de la chaussée, s'appuyant sur les études géotechniques, nous a permis d'obtenir une couche de chaussée composée de 20 cm de grave latéritique en couche de fondation et également 20 cm de grave latéritique en couche de base, et une couche de roulement en enduit superficiel bicouche d'épaisseur 3 cm.

Les résultats des études d'aménagements ont abouti à une largeur de plateforme de 12,20m en agglomération et 10,20m en rase campagne.

Les études hydrologiques et hydrauliques ont permis de déterminer les caractéristiques des bassins versant, pour ensuite concevoir et dimensionner les ouvrages de franchissements et d'assainissements. Ces ouvrages sont constitués de caniveau de section 80cm x 80cm, long de 2000 m, un (1) dalot de 4 x (2,00 x 1,50), un (1) dalot de 3 x (2,00 x 1,50), un (1) dalot de 2 x (2,00 x 1,00), et sept (7) dalots de 1 x (1,00 x 1,00)

Ce projet est constitué aussi d'un carrefour giratoire situé au PK 162+195 en plus de quelques amorces.

L'étude financière du projet a conclu un coût global de huit milliards trois cent cinquante-quatre millions neuf cent trente-deux mille six cent soixante-huit Francs CFA TTC (8 354 932 668 FCFA TTC)

Mot clés : Didyr, dimensionnement de chaussée, aménagement routier, étude hydrologique, dalot

ABSTRACT

The project for the development of the Didyr-Toma-Tougan road, which is the topic of our study entitled "Detailed technical study of the construction and asphaltting works of the Didyr-Toma-Tougan national road n ° 21, Lot n ° 2, Toma-Tougan, section of the KP. 151 + 474 to PK 162 + 195 ", 10.835 kilometers long. It is part of the project of transport and opening up of urban infrastructures (PTDIU), supported by the BOAD.

Indeed, studies such as topographic studies, geotechnical studies, hydrological studies, environmental and economic studies, have been done previously to locate and recognize the project site:

The structural dimensioning of the pavement, leaning on geotechnical studies allowed us to obtain a pavement layer composed of 20 cm of lateritic gravity in a foundation layer, and also 20 cm of lateritic gravity in a base layer and a double-layer surface coating.

The results of fitting out studies have given a width of platform of 12.20m in urban areas and 10.20m in the country.

The hydrological and hydraulic study, enabled us to determine the characteristics of the watersheds and then to conceive the crossings and sanitation works. These works are constituted of section gutter 80cm x 80cm, long of 2,000 m, 1 box of 4 x (2.00 x 1.50), 1 box of 3 x (2.00 x 1.50), 1 box of 2 x (2.00 x 1.00), 7 boxes of 1 x (1.00 x 1.00)

This project is also constituted of a roundabout at the PK 162+195 and some primer.

A financial study gives us a global cost of 8,354,932,668 FCFA TTC

Keywords : Didyr, dimensioning of the pavement, road development, hydrological studie, box

LISTES DES ABREVIATIONS

- 2IE** : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
- BAEL** : Béton Armé aux Etats Limites
- BOAD** : Banque Ouest Africaine de Développement
- BV** : Bassin Versant
- C** : Coefficient de Ruissellement
- CBR**: Californian Bearing Ratio
- CCTP** : Cahier de Clauses Techniques et Particulières
- CEBTP** : Centre Expérimental de recherche de d'étude du bâtiment et des travaux publics
- CEIH** : Comité inter africain d'études hydrauliques
- EIE** : Etude d'Impact Environnemental
- ELU** : Etat Limite Ultime
- ELS** : Etat Limite de Service
- Fc28** : Résistance caractéristique du béton à 28 jours
- HA** : Haute adhérence
- IP** : Indice de plasticité
- Kr₁₀** : Coefficient de Ruissellement décennal
- LCPC** : Laboratoire Central des Ponts et Chaussée
- LNBTP** : Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics
- Mu** : Moment Fléchissant à l'ELU
- Mser** : Moment Fléchissant à l'ELS
- N** : Effort Normal
- OPM**: Optimum Proctor Modifié
- PTDU** : Projet de Transport et de Désenclavement des infrastructures Urbains
- SETRA** : Service d'Etude Technique des Routes et Autoroutes
- SIDA** : Syndrome de l'Immunodéficience Acquisse
- TMJA** : Trafic Moyen Journalier Annualisé
- WL** : Limite de liquidité
- WP** : Limite de plasticité

TABLE DES MATIERES

DÉDICACES	i
CITATION	ii
REMERCIEMENTS	iii
RÉSUMÉ.....	iv
ABSTRACT	v
LISTES DES ABREVIATIONS.....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	4
LISTES DES FIGURES.....	5
INTRODUCTION.....	6
I. PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D’ACCUEIL ET DU PROJET.....	7
I.1. Présentation de la structure d’accueil	7
I.2. Présentation du projet	9
I.2.1. Contexte du projet.....	9
I.2.2. Justification du projet.....	9
I.2.3. Diagnostics et état des lieux.....	10
I.2.4. Zone du projet.....	10
I.2.5. Données de bases	11
II. METHODOLOGIE DE CONCEPTION	12
II.1. La collecte des données	12
II.2. Démarche adoptée pour la réalisation de l’étude.....	12
III. ETUDE TECHNIQUE.....	13
III.1. Étude topographique et conception géométrique.....	13
III.2. Étude géotechnique	19
III.2.1. Reconnaissance du sol de plateforme.....	19
III.2.2. Prospection des sites d’emprunts	21
III.2.3. Dimensionnement de la chaussée.....	23
III.3. CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES.....	31
III.3.1. Détermination de la crue du projet.....	31
III.3.2. Dimensionnement hydraulique des dalots	34

III.3.3.	Dimensionnements hydrauliques des caniveaux	38
III.3.4.	Dimensionnement des fossés latéraux	39
III.3.5.	Dimensionnement structural des dalots	42
III.3.6.	Dimensionnement structural des caniveaux.....	46
III.4.	SIGNALISATION ET SECURITE ROUTIERE	49
III.4.1.	La signalisation horizontale	49
III.4.2.	La signalisation verticale.....	51
III.5.	ECLAIRAGE PUBLICQUE	52
IV.	NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET ESTIMATION DU COÛT DU PTOJET	55
IV.1.	NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL.....	55
IV.1.1.	Rappel du cadre législatif.....	55
IV.1.2.	Identification et évaluation des impacts du projet.....	56
IV.1.3.	Plan de gestion environnementale et sociale.....	64
IV.2.	ESTIMATION DU COUT DU PROJET	65
	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	67
	BIBLIOGRAPHIE	68
	ANNEXES	69
	ANNEXE I : CONCEPTION GEOMETRIQUE.....	70
I.1.	Axe en plan.....	70
I.2.	Profil en long projet.....	73
	ANNEXE II : ETUDE GEOTECHNIQUE.....	78
II.1.	Extrait du tableau donnant le dimensionnement des chaussées correspondant aux classes de trafic T1 – T2 en fonction du sol support	78
II.2.	Vérification des calculs sur alizé Lcpc.....	79
	ANNEXE III : CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT	80
III.1.	Récapitulatif des débits de projet calculé par la méthode rationnelle.....	80
III.2.	Récapitulatif des débits de projet calculé par la méthode superficielle de Caquot	82
III.3.	Récapitulatif des débits calculés par la méthode de ORSTOM	83
III.4.	Dimensionnement hydraulique du dalot 4x(2,00x1,50)	86
III.5.	Dimensionnement hydraulique des caniveaux	88
III.6.	Dimensionnement structurale du dalot 4x(2,00x1.50)	89
III.7.	Dimensionnement structural des caniveaux de section 80x80cm.....	118
	ANNEXE IV : ETUDE IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL.....	133

IV.1. Grille d'interrelation entre les sources des impacts et les composantes du milieu pendant les différentes phases du projet.....	133
IV.2. Evaluation des impacts environnementaux du projet.....	139
ANNEXE V : ESTIMATION DU COUT DU PROJET	142
ANNEXE VI : PLAN D'AMENAGEMENT ET PLAN D'EXECUTION.....	148

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Paramètres cinématiques	13
Tableau 2: Récapitulatif des paramètres du tracé en plan	14
Tableau 3: Synthèse des caractéristiques du tracé en plan	14
Tableau 4: Récapitulatifs des paramètres du tracé du profil en long	15
Tableau 5: Récapitulatif des différents paramètres de construction des ilots séparateurs	18
Tableau 6: Récapitulatifs des caractéristiques géotechniques des sols de plateforme de notre tronçon (Pk 151+474 au Pk 162+195)	20
Tableau 7: Caractéristiques des sites d'emprunt de la zone de projet.....	22
Tableau 8: Résultats des essais sur les produits rocheux des 2 carrières.	23
Tableau 9: Classe de trafic(source guide du CEBTP).....	26
Tableau 10: Résultats des vérifications sur alizé	29
Tableau 11: Résultats des vérifications sur alizé	30
Tableau 12: caractéristique du bassin versant 19 et son débit de projet.....	32
Tableau 13 : Récapitulatif des débits calculés par la méthode rationnelle.....	33
Tableau 14: récapitulatifs des débits issus des eaux collectées par la chaussée.....	33
Tableau 15: résultats des calculs de débit par la méthode superficielle de Caquot.....	34
Tableau 16: Récapitulatif des calculs hydrauliques des dalots	37
Tableau 17: Récapitulatif des calculs hydrauliques des caniveaux.....	39
Tableau 18: Paramètre de calcul du coefficient de ruissellement équivalent.....	41
Tableau 19: récapitulatif des valeurs de longueur à mettre en place.....	42
Tableau 20: Les sollicitations retenues pour le calcul des sections d'aciers.....	45
Tableau 21: Le récapitulatif du ferrailage du dalot 4 x 2 x 1,5	46
Tableau 22 : Les sollicitations de calcul et le ferrailage retenu.	48
Tableau 23 : Ferrailage Caniveau 80x80	48
Tableau 24: Types de modulation des lignes discontinues	50
Tableau 25 : Les panneaux de signalisation verticale	51
Tableau 26: Types de candélabres.....	52
Tableau 27: Récapitulatif des principaux types d'implantation des points lumineux.....	53
Tableau 28: Estimation du cout du projet	66

LISTES DES FIGURES

Figure 1: Organigramme de la DGIR.....	9
Figure 2: Localisation de la zone d'étude.	11
Figure 3: Récapitulatif des profils en travers type	17
Figure 4: Les paramètres de construction des ilots séparateurs pour un rayon de giratoire $R_g \geq 15$	18
Figure 5: Plan d'aménagement du carrefour giratoire de Tougan	19
Figure 6: Classe de portance de la plateforme.	20
Figure 7: conditions de fonctionnement selon le type d'écoulement.	35
Figure 8: Géométrie du dalot	43
Figure 9: Principe de chargement des différents éléments.....	47
Figure 10: Illustration des différents types de modulations utilisés dans notre projet.....	50

INTRODUCTION

Le Burkina Faso est un pays enclavé situé au cœur de l'Afrique occidentale dans un climat de type sahélien. C'est un pays en voie de développement dont le réseau routier progresse tant en linéaire qu'en qualité. Cependant, il demeure toujours insuffisant pour évacuer le trafic qui croît de jours en jours. Le développement des infrastructures de transport constitue un facteur important de développement socio-économique car un réseau national bien structuré permet d'une part de développer les échanges entre provinces et d'autre part de désenclaver les régions à fortes potentialités de production agro-pastorale ou minière. Cela permet par ailleurs d'assurer la desserte administrative des chefs-lieux de département ainsi que les évacuations sanitaires des villages vers les centres urbains. C'est dans cette perspective que le Burkina Faso a signé un accord de subvention avec la BOAD pour le financement d'un programme visant à lutter contre la pauvreté à travers des interventions en matière de transport et d'infrastructures sociales. C'est ainsi que le tronçon Didyr-Tougan de la route nationale n°21, long de 84 kilomètres bénéficiera du projet intitulé : « Travaux de construction et de bitumage de la route nationale n°21 (RN21) Didyr-Toma-Tougan ». Notre projet de fin d'étude s'inscrit dans ce cadre et a pour thème : « ÉTUDE TECHNIQUE DÉTAILLÉE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION ET DE BITUMAGE DE LA ROUTE NATIONALE N°21 DIDYR-TOMA-TOUGAN : CAS DU TRONÇON TOMA-TOUGAN (DU PK 151+474 au PK 162+195) »

Afin de mener à bien ce projet, les études se feront autour des thématiques suivantes :

- ↳ Une présentation de la structure d'accueil, le projet et la méthodologie utilisée ;
- ↳ Une étude topographique, hydrologique et hydraulique et géotechnique ;
- ↳ Une étude impact environnemental et social et une estimation du coût du projet.

I. PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET

I.1. Présentation de la structure d'accueil

La Direction Générale des Infrastructures Routières (DGIR) est une structure administrative publique relevant du Ministère des Infrastructures du Burkina Faso. Elle est située au secteur n°6 de Ouagadougou, sur l'Avenue Kadiogo. La DGIR agit en tant que maître d'ouvrage et ou maître d'ouvrage délégué dans la gestion et la réalisation des projets d'aménagement routier. En effet, c'est l'organe responsable de la mise en œuvre de la politique de développement des infrastructures routières au Burkina Faso.

❖ *Attributions de la DGIR.*

Au compte de ces attributions régies par l'arrêté N°2017-0047/MI/SG/DGIR, nous citons :

- ✓ La gestion administrative des projets de constructions neuves et de réhabilitations ;
- ✓ La mise en application des normes et stratégies de construction des routes du réseau classé ;
- ✓ Le contrôle technique ou de la supervision du contrôle des travaux de constructions neuves et de reconstructions (renforcement et/ou réhabilitation) des routes du réseau classé et des ouvrages spécifiques exécutés à l'entreprise en relation avec la DGNET ;
- ✓ La participation à la réception provisoire et définitive des travaux routiers du réseau classé pour le compte de l'administration ou de tiers ;
- ✓ La vérification et du suivi de décomptes ;
- ✓ La préparation des marchés de travaux du réseau routier classé à soumettre à la DMP ;
- ✓ Le suivi des opérations de constructions neuves d'infrastructures spécifiques ;
- ✓ L'analyse des dossiers d'exécution des projets d'aménagement et de construction d'infrastructures spécifiques réalisés par d'autres services techniques avant production des dossiers définitifs ;
- ✓ Toute autre mission à elle confiée par le Ministre et relevant de ses compétences.

❖ *ORGANISATION DE LA DGIR*

La Direction Générale des Infrastructures Routières pour bien fonctionner comporte en son sein, un Secrétariat Particulier, un Service Administratif et Financier, un Service Passation et Gestion des Marchés, un Service Informatique et de la Documentation.

Outre ces services, nous avons aussi 2 principales directions dont :

➤ **La Direction des Travaux Routiers (DTR)**

La DTR est chargée de la gestion administrative et technique, du contrôle technique ou de la supervision des travaux de constructions neuves et de reconstructions des routes du réseau classé et ouvrages d'art exécutés à l'entreprise, de la vérification et/ou du contrôle des quantités et des métrés qui découlent de l'exécution des travaux, de la participation aux réceptions provisoires et définitives des travaux et de la gestion des décomptes.

➤ **La Direction des Ouvrages Spécifiques (DOS).**

Elle a pour mission, entre autres, la gestion administrative et technique, du contrôle technique ou de la supervision des travaux des ouvrages spécifiques exécutés à l'entreprise, de la participation aux réceptions provisoires et définitives des travaux des ouvrages spécifiques pour le compte de l'Administration et de la gestion des décomptes.

La figure n°1 ci-dessous présente l'organigramme de la DGIR.

❖ *Organigramme de la direction générale des infrastructures routières*

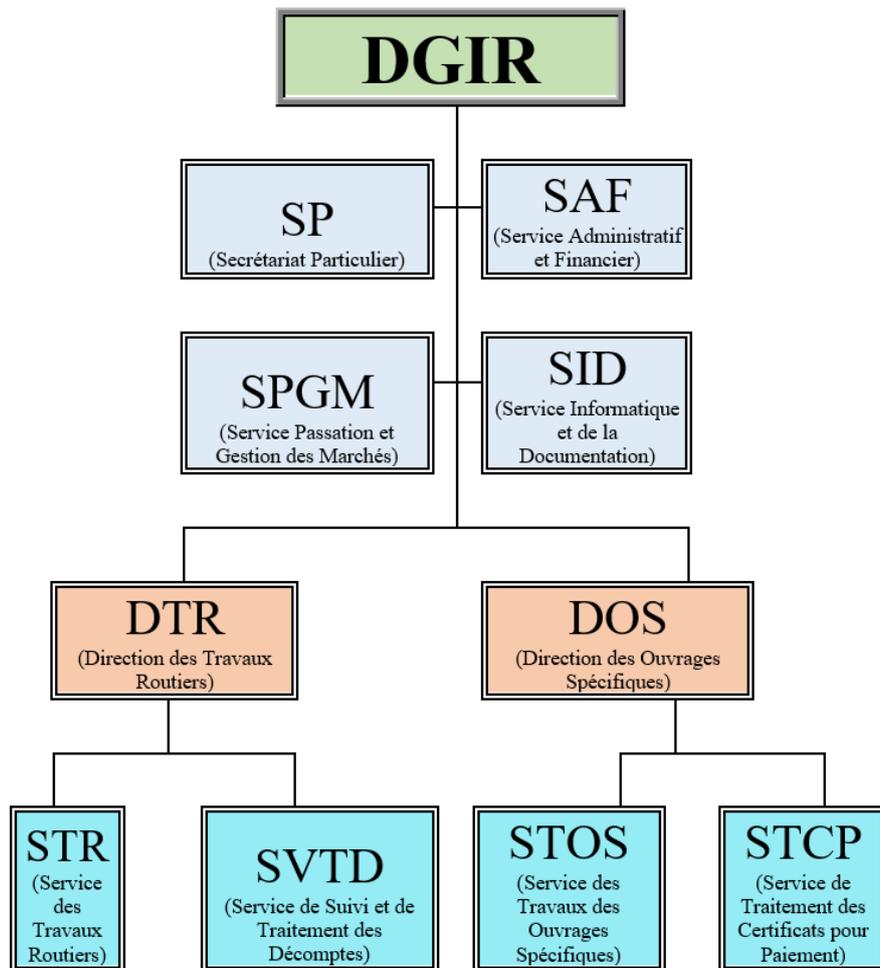


Figure 1: Organigramme de la DGIR

I.2. Présentation du projet

I.2.1. Contexte du projet

Le gouvernement burkinabè à travers le ministère des Infrastructures, s'est engagé à relever le défi du désenclavement du territoire national pour maximiser l'exploitation des potentialités agro-pastorales de la zone du projet et revaloriser les revenus des populations de ces régions. C'est dans cette optique que la banque ouest africaine de développement a décidé de l'accompagner le gouvernement du Burkina Faso à travers un accord de subvention dans le domaine des transports et des infrastructures sociales.

I.2.2. Justification du projet

Dans le cadre de ce projet de bitumage de la route nationale n°21 Didyr-Toma-Tougan, le gouvernement s'est fixé les objectifs suivants :

- ✓ Désenclaver la zone de projet afin de pouvoir lutter contre la pauvreté ;
- ✓ Maintenir le réseau dans de bons états afin de diminuer les coûts d'exploitations des véhicules, accroître la sécurité des usagers et renforcer les activités productrices et commerciales ;
- ✓ Assurer la desserte administrative des chefs-lieux de département et soutenir les efforts en faveur de la décentralisation ;
- ✓ Faciliter les évacuations sanitaires des villages vers les centres urbains.

I.2.3. Diagnostics et état des lieux

D'une longueur de 84 kilomètres, le tronçon de route Didyr-Toma-Tougan est présentement en terre. Ce tronçon est très dégradé donc difficilement praticable. En effet, on y rencontre de nombreux nids de poules et des rigoles d'érosions. Il a été aménagé, à certains points kilométriques des ouvrages hydrauliques tels que des dalots et des radiers.

I.2.4. Zone du projet

Pour ce qui est de ce projet, les travaux de construction et de bitumage commencent à Didyr(PK0) et finissent à Tougan(PK84).

En outre l'environnement immédiat de la route est constitué d'écosystème agricole, de savane arbustive à arborée, de glacis, de fourrés, de zone d'horticulture et d'établissement humain.

De plus, les activités socio-économiques menées dans les agglomérations traversées sont diverses et variées.

Par ailleurs quelques infrastructures socio-économiques situées sur l'emprise de la route nécessiteront un déplacement involontaire.

Notre projet d'étude porte sur un tronçon de 10,8 kilomètres du lot n°2 Toma-Tougan, à partir du PK 151+474, dans le village de Kassan jusqu'au PK 162+195 dans la ville de Tougan (fin du projet). Les coordonnées géographiques pour localisation du projet sont :

Début projet : $\begin{cases} \textit{longitude: } 13^{\circ} 04' 18,49'' \textit{ N} \\ \textit{Latitude: } 03^{\circ} 04' 08,29'' \textit{ W} \end{cases}$

Fin projet : $\begin{cases} \textit{longitude: } 12^{\circ} 46' 55,99'' \textit{ N} \\ \textit{Latitude: } 02^{\circ} 54' 47,16'' \textit{ W} \end{cases}$

SITUATION DU PROJET

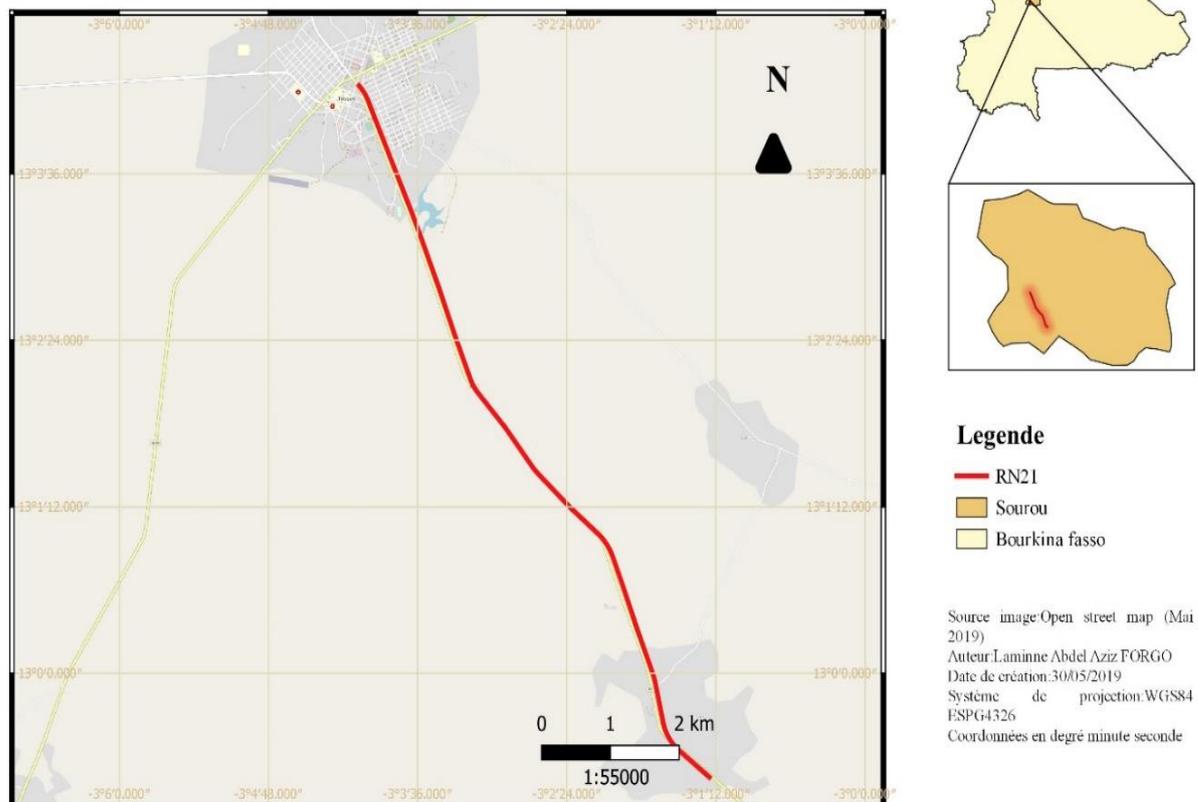


Figure 2: Localisation de la zone d'étude.

I.2.5. Données de bases

Les données de bases du projet d'étude sont entre autres :

- ↪ Un fond de plan topographique issu d'une campagne de levé effectué par une équipe de topographe et des semis de points ;
- ↪ Les résultats des études géotechniques menées par le LNBTP, tels que les résultats des sondages et des reconnaissances des sols du tracé ;
- ↪ Un rapport sur les ouvrages hydrauliques existants ;
- ↪ Les données relatives à la pluviométrie.

II. METHODOLOGIE DE CONCEPTION

Afin de mener à bien notre étude, les démarches suivantes ont été menées :

II.1. La collecte des données

Cette étape consiste à réunir les pièces directement liées à notre projet. Parmi ces pièces, nous avons :

- ✓ Le rapport topographique ;
- ✓ Le rapport géotechnique ;
- ✓ Les données du trafic de la zone ;
- ✓ Les spécifications techniques données par le CCTP ;
- ✓ Les données hydrologiques et pluviométriques

II.2. Démarche adoptée pour la réalisation de l'étude

Nous commençons l'étude technique par l'étude topographique et la conception géométrique sur le logiciel « COVADIS V.15 » afin d'avoir un tracé optimal.

Ensuite vient l'étude géotechnique. C'est elle qui nous permet de déterminer l'épaisseur des différentes couches constitutives de notre route grâce aux données fournies lors des sondages et reconnaissances de sols et l'étude du trafic. Pour finir nous vérifions la structure de chaussée adoptée sur le logiciel « ALIZE-LCPC » pour savoir si la chaussée sera résistante au trafic prédéterminé.

En plus, le confort et la sécurité des usagers étant primordial, nous avons étudié la possibilité de mettre en place des aménagements pour la signalisation routière et l'éclairage public.

De plus, pour que la route soit mise hors de l'eau, nous avons effectués une étude hydrologique et hydraulique afin de pouvoir concevoir et dimensionner des ouvrages adéquats pour drainer les eaux hors de la chaussée. Le calcul de ces ouvrages est fait selon les règles de dimensionnement en béton armé « BAEL91 modifié 99 ».

Pour finir, une étude de coût et une étude d'impact environnemental et social sera faite afin d'évaluer les enjeux du projet et situer les différents acteurs du projet.

III. ETUDE TECHNIQUE

III.1. Étude topographique et conception géométrique

Les équipes de topographe lors des opérations, ont relevé les détails rencontrés le long et au voisinage de la route, des détails nécessaires à l'aménagement du tronçon. Le déroulement de ces différentes opérations s'est basé sur une polygonale de base calculé et préalablement mise en place. Les résultats issus des relevés topographiques ont permis d'avoir l'ensemble des données pour la conception. Parmi les détails relevés on a entre autres, Il s'agit notamment, la chaussée existante, le terrain naturel et autres éléments caractéristiques se trouvant dans la zone du projet.

Pour ce qui est de la conception routière, elle est faite en fonction du type de route que l'on souhaite offrir aux usagers pour un confort optimal. Cependant la détermination des paramètres fondamentaux dépend d'un paramètre important, la vitesse de référence. Dans le cadre de notre projet, la vitesse de référence adoptée est $V_r = 100 \text{ km/h}$. C'est donc à partir de cette vitesse que nous allons choisir les paramètres adéquats pour le tracé en plan et le profil en long, en s'appuyant sur le guide d'Aménagement des Routes Principales (ARP) du SETRA, publié en Août 1994.

Ci-dessous le tableau n°1 présentant les paramètres cinématiques pour une route de vitesse de référence T100.

Tableau 1: Paramètres cinématiques

Paramètres cinématiques	Vitesse du véhicule		V (km/h)	40	60	80	100	120
	Longueur de freinage		d0(m)	15	35	60	105	170
	Distance d'arrêt en alignement		d1 (m)	40	70	105	160	230
	Distance d'arrêt en courbe		d2 (m)	45	80	120	180	280
	Distance de visibilité de dépassement	Minimale	dd (m)	150	250	325	400	500
		Normale	dD (m)	250	350	500	625	800
	Distance de visibilité de manœuvre de dépassement		dMd (m)	70	120	200	300	400

(1) Le dévers minimal est 2,5 % pour une chaussée en béton bitumineux et de 2 % pour une chaussée en béton de ciment.

❖ *Tracé en plan*

C'est la représentation de l'axe de la route dans le plan. Cette représentation se fait suivant la catégorie de route choisie et des valeurs limites de rayon afin d'assurer confort et sécurité.

Le tableau n°2 suivant nous donne les vitesses limites pour chaque catégorie de route.

Tableau 2: Récapitulatif des paramètres du tracé en plan

Désignation du paramètre		Symbole et unité	Catégorie de route				Except	
			4e	3e	2e	1e		
Vitesse de référence		Vr (km/h)	40	60	80	100	120	
Tracé en plan	Dévers maximal		7	7	7	7	7	
	Rayon en plan RH (m)	Minimal absolu (dévers δM)	RHm	40	120	240	425	665
		Minimal normal (dévers)	RHN (δ %)	120 (5 %)	240 (5 %)	425 (5 %)	665 (4 %)	1 000 (4 %)
		Au dévers minimal (1)	RH'' (2,5 %)	250	450	650	900	1500
Non déversé		RH'	400	600	900	1300	1800	

Dans le cas de notre projet, l'axe en plan est constitué d'une succession de droites raccordées entre elles par des courbes.

Le tableau n°3 montre les caractéristiques du tracé en plan.

Tableau 3: Synthèse des caractéristiques du tracé en plan

	Plus grand alignement droit	Plus grand rayon	Plus petit rayon	Total alignement droit	Total courbe	Longueur du projet
Valeur [m]	852,68	1300	375	9247,16	1587,96	10835,12
Pourcentage [%]	-	-	-	85,34	14,66	100

❖ *Le profil en long*

C'est l'un des principaux facteurs qui conditionne le coût de réalisation des constructions. En effet, c'est une représentation plane de la surface du terrain naturel suivant un plan vertical contenant l'axe de la route. Afin d'assurer un confort visuel et dynamique, les caractéristiques données par le tableau n°4 seront à respecter.

Tableau 4: Récapitulatifs des paramètres du tracé du profil en long

Désignation du paramètre			Symbole et unité	Catégorie de route					
				4e	3e	2e	1e	Except.	
Vitesse de référence			V _r (km/h)	40	60	80	100	120	
Profil en long	Déclivité maximale en rampe		πM (%)	8	7	6	5	4	
	Rayon en angle saillant RV (m)	Chaussée unidirectionnelle (route à 4 voies ou à 2 chaussées)	Minimal absolu	RVm1	500	1500	3000	6000	12000
			Minimal normal	RVN1	1500	3000	6000	12000	12000
		Chaussée bidirectionnelle (route à 2 ou 3 voies)	Minimal absolu	RVm2	500	1600	4500	10000	-
			Minimal normal	RVN2	1600	4500	10000	17000	
	Rayon en angle rentrant RV' (m)	Minimal absolu		RVm'	700	1500	2200	3000	4200
		Minimal normal		RVN'	1500	2200	3000	4200	6000
Rayon assurant la distance de visibilité de dépassement minimale sur route à 2 ou 3 voies			RVD (m)	2500	6500	11000	17000	28000	

❖ *Le profil en travers type*

Le profil en travers type est la coupe transversale de notre chaussée. Il présente la configuration de la chaussée ainsi que ses différents éléments constitutifs. Pour notre étude nous avons 2 profils en travers types (En agglomération et en rase campagne) :

➤ *En agglomération*

- Avec aire de stationnement

Le profil en travers type en agglomération est composé de :

- 2 voies roulables de 4,1 m de large chacune ;
 - 1 aire de stationnement sur un côté de la chaussée de 2,5m de large ;
 - Des caniveaux bétonnés et protégés ;
 - Pente transversale de la chaussée = 2,5% ;
 - Pente transversale du fond de forme =2,5% ;
 - Pente des talus de déblai = 2 /3 ;
 - Pente des talus de remblais =2 /3 ;
- Avec accotement

Ce profil en travers type en agglomération est composé de :

- 2 voies roulables de 4,1 m de large chacune ;
- 1 accotement de part et d'autre de la chaussée de 2 m de large ;
- Des caniveaux bétonnés et protégés ;
- Pente transversale de la chaussée = 2,5% ;
- Pente transversale du fond de forme =2,5% ;
- Pente des accotements =4% ;
- Pente des talus de déblai = 2 /3 ;
- Pente des talus de remblais =2 /3 ;

➤ *En rase campagne*

Le profil en travers type en rase campagne est composé de :

- 2 voies roulables de 3,6 m de large chacune ;
- 1 accotement de part et d'autre de la chaussée de 1,50 m de large ;
- Des fossés latéraux triangulaires faits avec la lame de la niveleuse et bétonnés en certaines sections ;
- Pente transversale de la chaussée = 2,5% ;
- Pente transversale du fond de forme =2,5% ;
- Pente des accotements =4% ;
- Pente des talus de déblai = 2 /3 ;
- Pente des talus de remblais =2 /3.

La figure ci-dessous nous propose les différents profils en travers type.

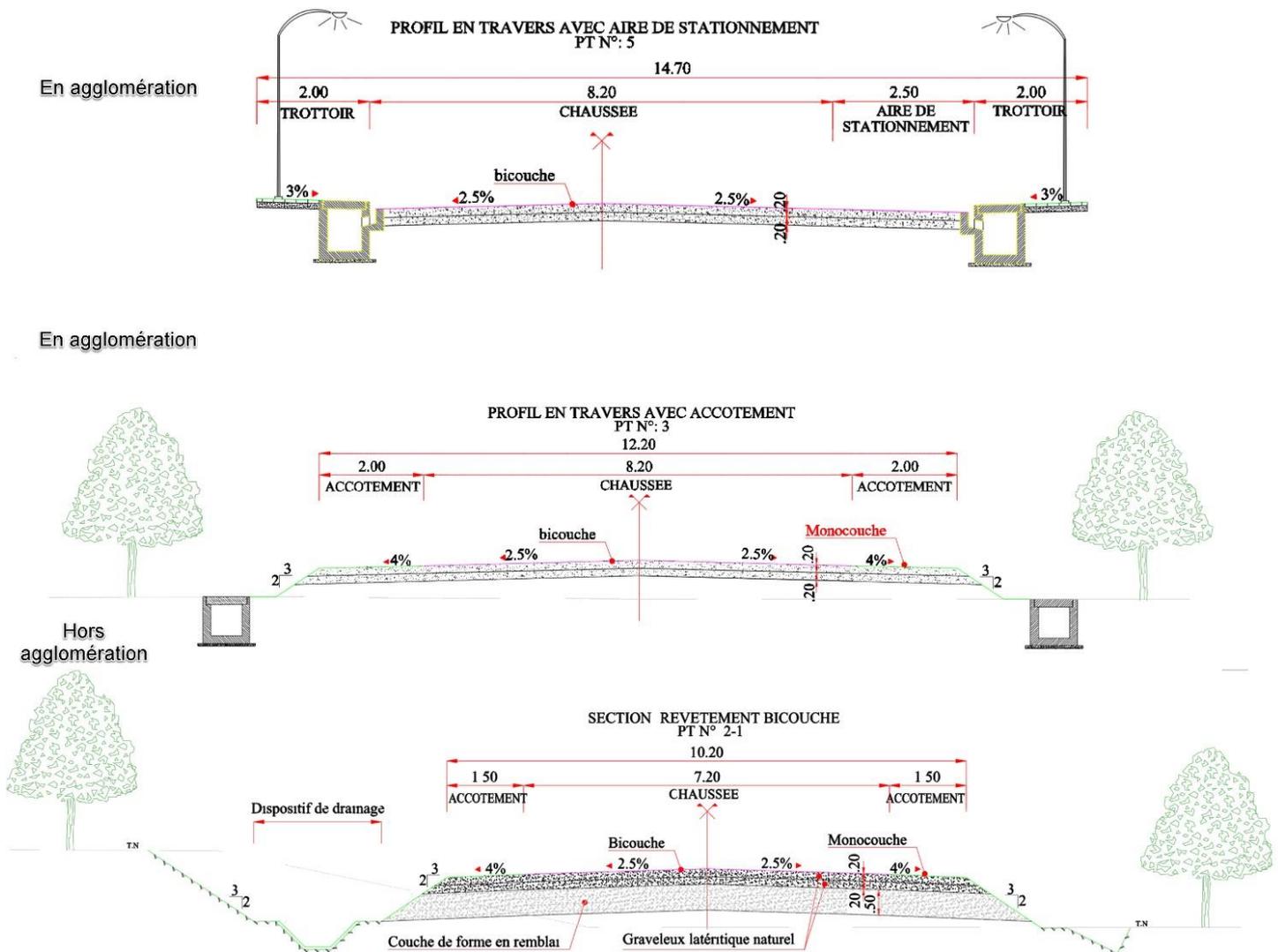


Figure 3: Récapitulatif des profils en travers type

❖ Les aménagements routiers

Entrant dans le cadre de ce projet, divers aménagements ont été effectués, parmi lesquels nous avons l'aménagement des amorces et l'aménagement d'un carrefour giratoire au PK 165+195.

➤ Les amorces

Elles seront bitumées sur 25m et raccordées avec un rayon minimal de 8m afin de faciliter l'insertion des véhicules long.

➤ *Le carrefour giratoire*

Afin de garantir un meilleur niveau de sécurité aux usagers, nous avons aménagé un carrefour giratoire avec un rayon giratoire de 20m.

En effet nous nous sommes appuyés sur le guide d'aménagement des carrefours interurbains sur les routes principales du SETRA, publié en Décembre 1998.

La figure n°4 présente les paramètres de construction des îlots séparateurs pour un rayon de giratoire $R_g \geq 15$ et le tableau n°5 le récapitulatif des différents paramètres de construction des îlots séparateurs.

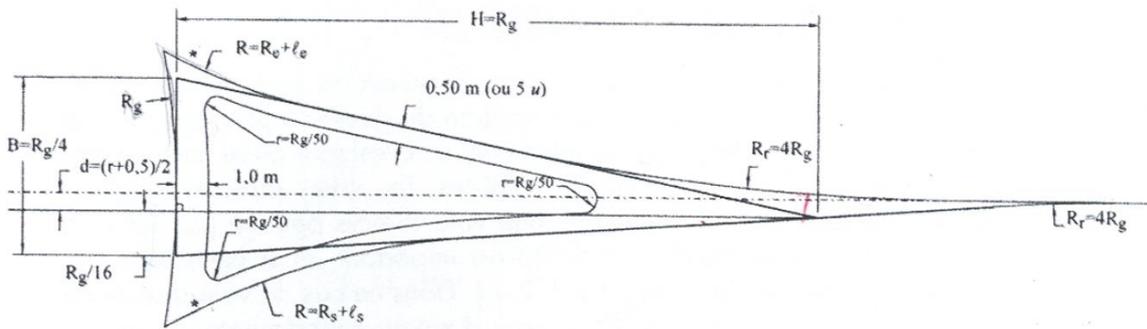


Figure 4: Les paramètres de construction des îlots séparateurs pour un rayon de giratoire $R_g \geq 15$

Tableau 5: Récapitulatif des différents paramètres de construction des îlots séparateurs

Désignation	Notation	Paramétrage	Valeurs courantes (m)			
			$R_g < 15$	$R_g = 15$	$R_g = 20$	$R_g = 25$
Rayon du giratoire	R_g		$R_g < 15$	$R_g = 15$	$R_g = 20$	$R_g = 25$
Hauteur du triangle de construction	H	$H = R_g$	12 à 15	15	20	25
Base du triangle de construction	B	$B = R_g / 4$	3 à 3,75	3,75	5	6,25
Déport de l'îlot sur l'axe	d	$D = (0,5 + R_g / 50) / 2$ ou 0	0	0,40	0,45	0,50
Rayon de raccordement des bordures	r	$R = R_g / 50$	0,25	0,30	0,40	0,50

La figure n°5 suivante présente le plan d'aménagement du carrefour giratoire de Tougan.

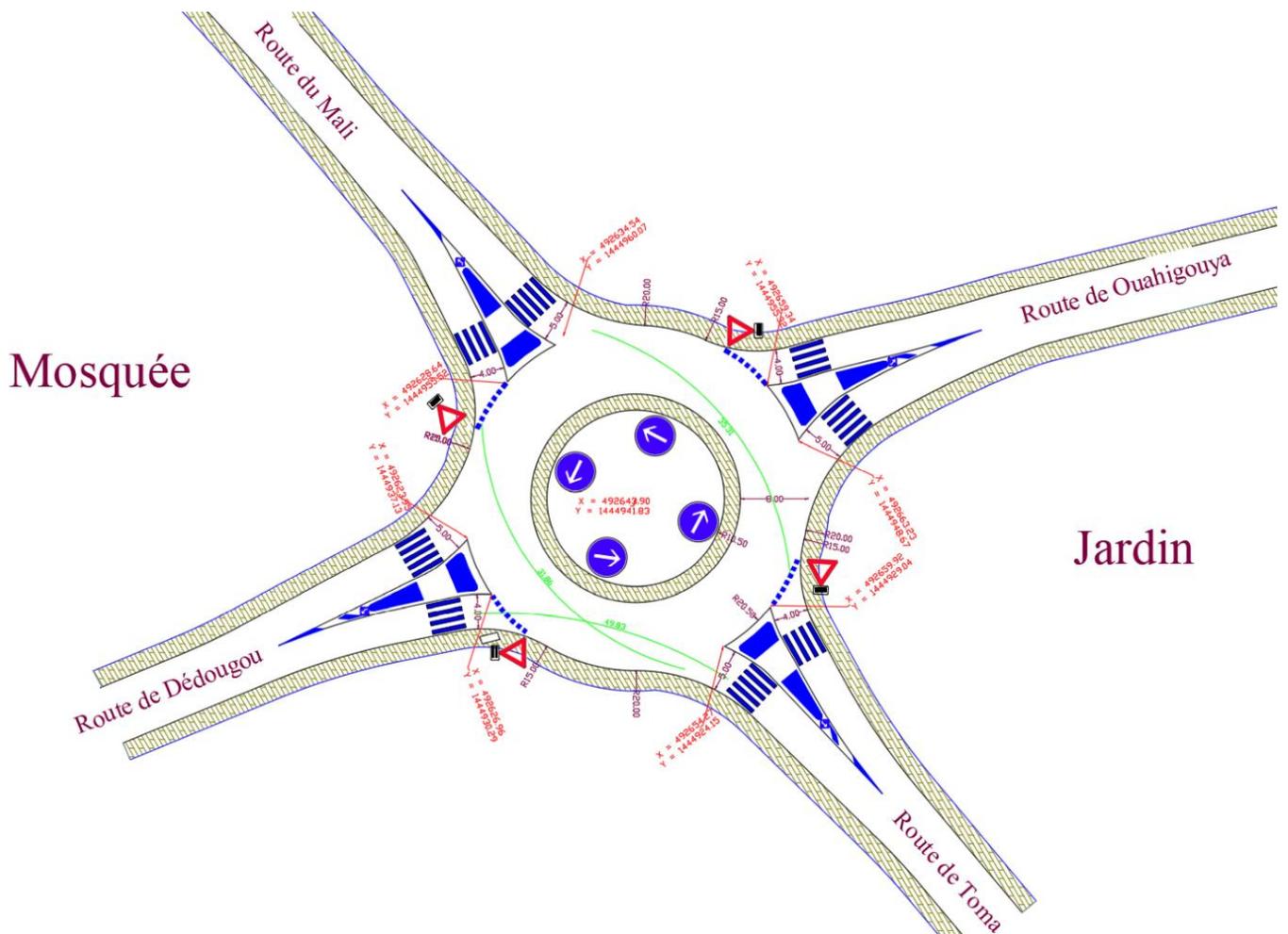


Figure 5: Plan d'aménagement du carrefour giratoire de Tougan

III.2. Étude géotechnique

Cette étude est indispensable pour la pérennité et la qualité de la route projetée. Il s'agira ici d'abord de définir les caractéristiques de la portance des sols d'assise de la chaussée. Ensuite faire l'état des emprunts disponibles ainsi que leurs capacités de production. Enfin effectuer le dimensionnement de la chaussée en considérant la classe du trafic de notre.

III.2.1. Reconnaissance du sol de plateforme

Afin de mieux connaître l'état de portance des sols de la plateforme pour mieux dimensionner la chaussée, une campagne de sondage a été effectuée par les équipes géotechniques. Ces sondages ont été effectués tous les 500m sur une profondeur variante, entre 0,20m et 2,00m.

Les résultats de ces sondages ont montré que les sols en place sont généralement de nature graveleux latéritique argileux à argilo sableux sur des profondeurs allant de 0 à 1,00m avec quelques passages très limités de cuirasse latéritique et de sols limoneux.

Par ailleurs, selon le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux nous avons 5 classes de portance que résume la figure n°6 suivante.

Classe de sol	Portance
S1	CBR ≤ 5
S2	5 ≤ CBR ≤ 10
S3	10 ≤ CBR ≤ 15
S4	15 ≤ CBR ≤ 30
S5	CBR ≥ 30

Figure 6: Classe de portance de la plateforme.

Le tableau n°6 suivant présente le récapitulatif des caractéristiques géotechniques des sols de plateforme de notre tronçon (Pk 151+474 au Pk 162+195)

Tableau 6: Récapitulatifs des caractéristiques géotechniques des sols de plateforme de notre tronçon (Pk 151+474 au Pk 162+195)

PK	N° sondage	Portance CBR [95%]	Classe de portance	A mettre en œuvre
151+225	S57	14	S3	COUCHE DE FORME
151+725	S58	10	S2	
152+225	S59	14	S3	
152+725	S60	64	S5	ZONE DE CUIRASSE
153+225	S61	35	S5	
153+725	S62	16	S4	
154+225	S63	17	S4	
154+725	S64	9	S2	COUCHE DE FORME
55+225	S65	54	S5	ZONE DE CUIRASSE
155+725	S66	10	S2	COUCHE DE FORME
156+225	S67	14	S3	

156+725	S68	42	S5	ZONE DE CUIRASSE
157+225	S69	12	S3	COUCHE DE FORME
157+725	S70	12	S3	
158+225	S71	41	S5	ZONE DE CUIRASSE
158+725	S72	22	S4	
159+225	S73	22	S4	
159+725	S74	9	S2	COUCHE DE FORME
160+225	S75	85	S5	ZONE DE CUIRASSE
160+725	S76	12	S3	COUCHE DE FORME
161+225	S77	21	S4	ZONE DE CUIRASSE
161+725	S78	17	S4	
162+225	S79	10	S2	COUCHE DE FORME
162+725	S80	13	S3	

Nous remarquons que les classes de portance varient de S1 à S5. Pour le dimensionnement de la chaussée de notre projet, nous préconiserons de considérer un sol de plateforme de classe de portance minimale S4. Pour ce faire, nous procéderons à une reconstitution par mise en place de matériau de classe S4 sur une épaisseur minimale de 50 cm là où le sondage donne des classes inférieures à S4.

III.2.2. Prospection des sites d'emprunts

Cette prospection permet de trouver des sites pouvant fournir des matériaux de viabilité pour la mise en œuvre des différentes couches de notre chaussée. Pour se faire, les équipes géotechniques effectuent des sondages aux environs de la route. Il s'agit de sondage manuel par mailles carrées de 50x50m jusqu'à une profondeur permettant de traverser les couches d'exploitations.

Mis à part les prospections pour les matériaux de viabilités nous avons aussi des prospections pour des carrières de roche, nécessaires pour le revêtement.

Le tableau n°7 donne les résultats sur les emprunts étudiés.

Tableau 7: Caractéristiques des sites d'emprunt de la zone de projet

N° EMPRUNT	PK	VOLUME [m ³]	CBR		DESTINATION
			95%	98%	
N°35	138+400	14200	60	84	COUCHE DE BASE
N°36	144+900	18100	68	108	COUCHE DE BASE
N°37	148+600	17100	52	76	COUCHE DE FONDATION
N°38	153+600	16500	38	56	COUCHE DE FONDATION
N°39	156+600	17600	104	148	COUCHE DE BASE

Aux vues des résultats, il ressort que la disponibilité des sites d'emprunt présentant un indice portant CBR supérieur à 80 à 95% de l'OPM pour la couche de base en quantité suffisante n'est pas évidente. C'est pourquoi en se basant sur le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, nous optons de mettre légèrement l'accent sur le compactage pour augmenter le gain en portance. Ainsi, pour la mise en œuvre de la couche de base nous optons pour des matériaux en graveleux latéritique naturelle ayant un CBR supérieur à 80 à 98% de l'OPM. Cependant on s'assurera lors du compactage que le squelette du matériau ne sera pas détruit lors de la mise en œuvre en contrôlant la variation du pourcentage de fines avant et après compactage.

Le tableau n°8 suivant présente le résultat des prospections des carrières de roche pour le revêtement et le béton hydraulique.

Tableau 8: Résultats des essais sur les produits rocheux des 2 carrières.

CARRIERE	LOS ANGELES	MICRO DEVAL HUMIDE
PK3 (Axe Sabou-Koudougou)	25,7	7,4
PK79 (Axe Didyr-Tougan)	47,9	20,6

Seules les roches de la carrière du PK3 présentent des caractéristiques intrinsèques pour la fabrication de béton et pour le revêtement.

III.2.3. Dimensionnement de la chaussée

La méthode de dimensionnement tient d'abord compte de l'environnement au sein duquel la route sera construite et se fera conformément au guide pratique de dimensionnement des chaussées des pays tropicaux (CEBTP)

Ensuite ce dimensionnement tient compte des paramètres suivants :

- ✓ La qualité du sol support : il est fortement recommandé de disposer d'un sol support de bonne portance afin que le corps de la chaussée soit réalisé dans de meilleures conditions, et qu'il conserve une indéformabilité suffisante dans le temps ;
- ✓ Le trafic et la durée de vie de la chaussée : il s'agit du trafic poids lourd exprimé en nombre de passage cumulé d'un essieu standard de 13 tonnes, pour une durée de vie de 20 ans ;
- ✓ La qualité des matériaux de structure de chaussée.

De façon pratique, le dimensionnement de la chaussée revient à déterminer l'épaisseur des différentes couches de matériaux pouvant permettre à la route de supporter un certain trafic cumulé tout au long de sa durée de vie.

- ✓ La déformation du sol soit inférieure à la déformation admissible du sol ;
- ✓ La déformation des matériaux constitutifs de la chaussée soit inférieure à la déformation admissible de ces matériaux.

La vérification de ces déformations verticales sera faite sur le logiciel ALIZE LCPC.

❖ *Présentation de quelques méthodes pratiques de dimensionnement*

➤ *Abaques du TRRL (Road note 31 du TRRL en 1966)*

Ce guide insiste sur deux aspects essentiels :

- La prise en compte de l'influence du climat tropical sur les conditions de teneurs en eau du sol de plateforme. Les sols de plateforme sont classés en trois types en fonction de la pluviosité ou du niveau de la nappe et de sa fluctuation en fonction des saisons.
- L'adoption souhaitable d'un aménagement par étapes de la chaussée lorsque les prévisions à long terme sont incertaines.

Cette méthode a été élaborée à partir des résultats fournis par une observation méthodique des routes britanniques durant plusieurs années.

Dans cette méthode, la chaussée est conçue pour une durée de vie de 20 ans et la profondeur des ornières est limitée à 2 cm. Par l'intermédiaire d'abaque, on fixe en fonction de la classe du trafic, les épaisseurs minima de revêtement et celle de la couche de base. Seule l'épaisseur de la couche de fondation dépend de la valeur du CBR du sol.

➤ *La méthode rationnelle de dimensionnement mécanique des structures de chaussée développée par le LCPC et le SETRA*

La démarche du dimensionnement rationnel mise en œuvre à travers le logiciel ALIZE-LCPC s'articule selon trois phases principales. Après modélisation des chaussées, le programme ALIZE calcule les sollicitations engendrées par la charge standard qui sont comparées aux sollicitations admissibles.

➤ *La méthode basée sur les catalogues de structures telles que le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux établi par le Centre Expérimental de Recherche et d'Etude du Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP) mis à jour et réactualisé en 1984*

Dans le cadre de notre projet, pour le prédimensionnement des structures de chaussée nous utilisons la méthode empirique du CEBTP et pour le dimensionnement et la vérification des sollicitations sur la chaussée nous optons utiliser la méthode rationnelle du SETRA-LCPC.

❖ *L'étude du trafic*

Dans le cadre de l'étude économique de ce projet, les campagnes de comptages et enquêtes de trafic effectuées ont donné les résultats suivants :

- ✓ Le taux de croissance des véhicules légers, des camionnettes, des minibus et des bus est en moyenne de 6,4% ;
- ✓ Le taux de croissance du trafic poids lourd est quant à lui égal à une moyenne de 6,9%.

Partant de ses investigations de terrains menées en 2010, le total moyen journalier annuel du trafic sur l'ensemble du tronçon à la première année de mise en service ainsi que des autres résultats issus des investigations terrains sont présentés dans les tableaux de l'annexe.

Les chaussées sont dimensionnées vis-à-vis du trafic poids lourd. Ainsi la méthode de calcul implique la conversion en nombre cumulé NE de passage d'essieux standard (13T) du trafic réel.

Le trafic total moyen journalier annuel des poids considéré pour le dimensionnement de notre chaussée est 25 TMJA.

Le nombre NE d'essieux équivalent grâce auquel nous déterminerons la classe de notre trafic est calculé par la formule suivante :

$$NE = N \times CAM \text{ ou } N = 365 \times N0 \times \frac{(1+i)^D - 1}{i} ; \text{ Avec :}$$

N : Trafic cumulé de poids lourd

N0 : Trafic moyen journalier annuel

i : Taux de croissance du trafic

D : Année de mise en service

CAM : Coefficient d'Agressivité Moyen

➤ *Actualisation du trafic à l'année de mise en service*

Aux vues de l'ancienneté des données recueillies nous optons d'actualiser nos données à l'année de mise en service réel.

Le taux de croissance du trafic poids lourd est égal 6,9% en 2010.

$$t_{2020} = t_{2010} \times (1 + i)^{n'} ; \text{ Avec}$$

t₂₀₂₀ : Trafic actualisé pour l'année 2020 (année de mise en service)

t₂₀₁₀ : Trafic à l'année 2010 (année de comptage)

n' : Différence entre l'année de mise en service et l'année de comptage.

$$t_{2020} = 25 \times (1 + 0,069)^{10}$$

$$t_{2020} = 48,72 \text{ soit } 49 \text{ PL/Jr}$$

Ainsi :

$$N = 365 \times 49 \times \frac{(1+0,069)^{20}-1}{0,069}$$

$$N = 9,21 \times 10^5 \text{ PL}$$

Le nombre d'essieux équivalents est :

$$NE = N \times CAM$$

$$\text{Avec } CAM = 1,02$$

$$NE = 9,21 \times 10^5 \times 1,02$$

$$NE = 9,39 \times 10^5$$

Le guide pratique de dimensionnement des chaussées des pays tropicaux nous donne 5 classes de trafic qui vont de T1 à T5 résumé dans le tableau n°9 suivant.

Tableau 9: Classe de trafic (source guide du CEBTP)

CLASSE DE TRAFIC
T1 < 5.10 ⁵
5.10 ⁵ < T2 < 1,5.10 ⁶
1,5.10 ⁶ < T3 < 4.10 ⁶
4.10 ⁶ < T4 < 10 ⁷
10 ⁷ < T5 < 2.10 ⁷

Nous déduisons alors que nous avons un trafic de **classe T2**. Un trafic faible.

❖ *Choix de la variante de structure de chaussée*

Le choix de la variante de la structure de chaussée est fonction du cadre et des spécificités du projet. De façon général, les structures de chaussée peuvent être de type souple, bitumineuse épaisse, semi-rigide ou rigide. Pour notre projet nous choisissons une structure de chaussée souple constituée en grave latéritique non traitée.

➤ *Proposition de variante de couche de chaussée*

A partir de la portance retenue du sol support (S4) et la classe de notre trafic (T2), nous nous appuyons sur le tableau fourni par le guide du CEBTP pour choisir nos variantes de couche en fonction des matériaux disponibles. Ainsi nous optons pour la variante suivante :

Variante 1

- Couche de revêtement : Enrobé 4 cm
- Couche de base : 15 cm de graveleux latéritique naturel
- Couche de fondation : 20 cm de graveleux latéritique naturel

Cependant le CCTP propose la variante qui suit :

Variante 2

- Couche de revêtement : Enduit superficiel bicouche
- Couche de base : 20 cm de graveleux latéritique naturel
- Couche de fondation : 20 cm de graveleux latéritique naturel

NB : Cette structure proposée par le CCTP augmente l'épaisseur de la couche de base de 15 cm à 20 cm car d'après le guide de dimensionnement lorsque le trafic dépasse 100000 essieux la couche de base minimum doit être égal à 20 cm ; par contre quant à la couche de revêtement nous proposons de prendre 4 cm d'enrobé afin de réduire le budget de l'entretien periodique sur le long terme.

➤ *Vérification des différentes variantes selon la méthode rationnelle du setra-lcpc*

Chaque couche de chaussée est caractérisée par :

- ✓ L'épaisseur h
- ✓ Le module d'élasticité ou module de Young E
- ✓ Le coefficient de poisson μ

- ✓ L'état de liaison avec la couche voisine

On a précédemment calculé le nombre NE d'essieux équivalents.

$$NE = 9,39 \times 10^5$$

- Calcul des déformations admissibles

Les chaussées seront calculées vis-à-vis du modèle d'endommagement par accumulation de déformation plastique irréversible. Ainsi les déformations verticales ϵ_z au sommet du sol de support doit être inférieur à la valeur limite donnée par la formule ci-dessus :

- ✓ $\epsilon_z = 0,016 \times NE^{-0,222}$; Pour un trafic de classe T < T3 (trafic faible)
- ✓ $\epsilon_z = 0,012 \times NE^{-0,222}$; Pour un trafic de classe T > T3 (trafic moyen à fort)

Comme nous sommes dans un cas de faible trafic, alors on a :

$$\epsilon_{Zadm} = 0,016 \times (9,39 \times 10^5)^{-0,222}$$

$$\epsilon_{Zadm} = 755,4 \mu def$$

- Calcul des contraintes verticales admissibles

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

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

Pour les différentes couches nous considérons conformément au CCTP les classes de portance suivante à 98% de l'OPM pour le sol support est : $15 < CBR < 30$

$$\sigma_{Zadm} = \frac{0,3 \times 15}{1 + 0,7 \log(9,39 \cdot 10^5)} = 0,869 \text{ Mpa}$$

NB : Pour la vérification des différentes couches sur le logiciel Alize, nous considérons un module de Young $E = 200 \text{ MPa}$ pour la plateforme (classe S4). Pour les autres couches nous déterminerons les modules de Young de la façon suivante :

$$E_n = K \times E_{n-1} \text{ Avec un plafond de } 400 \text{ Mpa car on a un trafic de catégorie } 2$$

E_n = module de la couche considérée

E_{n-1} = module de la couche inférieure

$K = 2,5$ car on a un trafic de catégorie 2

Nous obtenons donc :

- ✓ La couche de base : 400 Mpa
- ✓ La couche de fondation : 400 Mpa

Le tableau n°10 et 11 ci-dessous montre les résultats de la vérification sur alizé.

- Variante 1

Tableau 10: Résultats des vérifications sur alizé

Couche	Epaisseur (cm)	Valeurs obtenues	Valeurs admissibles	Observation
Revêtement	0,04	$\epsilon_{Tsup} = -204$ $\epsilon_{Tinf} = -201,7$	$\epsilon_{Tadm} = 104,8$	$\epsilon_{zcalculé} < \epsilon_{zadm}$ → Bon
Couche de Base	15	$\epsilon_{Zsup} = 1067$ $\epsilon_{Zinf} = 542,5$	$\epsilon_{zadm} = 755,4$	$\epsilon_{zcalculé} > \epsilon_{zadm}$ → Pas bon
Couche fondation	20	$\epsilon_{Zsup} = 542,5$ $\epsilon_{Zinf} = 296$	$\epsilon_{zadm} = 755,4$	$\epsilon_{zcalculé} < \epsilon_{zadm}$ → Bon
Sol support		$\epsilon_{Zsup} = 427,4$ $\sigma_{zadm} = 0,084$	$\epsilon_{zadm} = 755,4$ $\sigma_{zadm} = 0,869$	$\epsilon_{zcalculé} < \epsilon_{zadm}$ $\sigma_{zcalculé} < \sigma_{zadm}$ → Bon

- Variante 2

Tableau 11: Résultats des vérifications sur alizé

Couche	Epaisseur (cm)	Valeurs obtenues	Valeurs admissibles	Observation
Couche de Base	20	$\epsilon_{Zsup} = 611,3$ $\epsilon_{Zinf} = 614,1$	$\epsilon_{zadm} = 755,4$	$\epsilon_{zcalculé} < \epsilon_{zadm}$ → Bon
Couche fondation	20	$\epsilon_{Zsup} = 614,1$ $\epsilon_{Zinf} = 316,4$	$\epsilon_{zadm} = 755,4$	$\epsilon_{zcalculé} < \epsilon_{zadm}$ → Bon
Sol support		$\epsilon_{Zsup} = 463,2$ $\sigma_{zadm} = 0,094$	$\epsilon_{zadm} = 755,4$ $\sigma_{zadm} = 0,869$	$\epsilon_{zcalculé} < \epsilon_{zadm}$ $\sigma_{zcalculé} < \sigma_{zadm}$ → Bon

Conclusion

Des 2 variantes calculées, seule la « variante 2 » proposée par le CCTP a des déformations et contraintes calculées inférieures aux valeurs limites admissibles prédéfinies.

Ainsi nous avons conformément au CCTP la structure de chaussée suivante :

- ✓ Un revêtement en enduits superficiels bicouche
- ✓ Une couche de base en graveleux latéritique naturelle d'épaisseur 20 cm
- ✓ Une couche de fondation en graveleux latéritique naturelle d'épaisseur 20 cm

III.3. Conception et dimensionnement des ouvrages hydrauliques

Le calcul de ces ouvrages commence d'abord par l'identification des bassins versants de la zone de projet suivie d'investigations sur l'état général de la route par rapport au drainage des eaux pluviales.

Pour se faire, nous utilisons le logiciel Google Earth pour localiser la zone du projet et récupérer le tronçon d'étude, ce qui permet ensuite au logiciel Global Mapper de déterminer les bassins versants autour du tronçon routier ainsi que leurs caractéristiques.

III.3.1. Détermination de la crue du projet

Les bassins versants sont classés en fonction de leur superficie. On distingue alors :

- Très petits bassins versants : $S < 10 \text{ km}^2$
- Petits bassins versants : $10 \text{ km}^2 < S < 200 \text{ km}^2$
- Grands bassins versants : $200 \text{ km}^2 < S < 2000 \text{ km}^2$
- Très grands bassins versants : $S > 2000 \text{ km}^2$

Cependant en fonction de la catégorie du bassin versant et sa localisation, plusieurs méthodes de calcul existent pour estimer la crue du projet. Parmi ces méthodes il y'a :

La méthode ORSTOM :

Plus connue également sous le nom de méthode AUVRAY-RODIER pour le calcul du débit de crue décennal, s'applique à des bassins dont la superficie se situe entre 4 km^2 et 200 km^2

La méthode CIEH :

C'est une méthode statistique proposée par Puech et Chabi-Gonni, dont la formulation retenue pour retrouver le débit de pointe Q_{10} est basé sur un schéma de régression multiple. Cette méthode est applicable aux bassins versants de superficie supérieure à 200 km^2

La méthode Rationnelle :

Elle est applicable aux petits bassins versants dont la superficie ne dépasse pas 4 km^2 .

La méthode superficielle de Caquot :

Elle s'applique aux bassins versants urbains de superficie n'excédant pas 200 hectares.

NB :

L'estimation de la crue du projet se fera selon :

- ✓ La méthode de ORSTOM pour les bassins versants de superficie supérieure à 4 km²,
 - ✓ La méthode rationnelle pour les bassins versants inférieurs à 4 km²
 - ✓ La méthode superficielle de Caquot pour les petits bassins versants urbains de superficie inférieure ou égale à 2 km²
- Calcul de la crue du projet par la méthode ORSTOM de AUVRAY-RODIER

$$Q_{10} = m \times A \times C \times P_{10} \times Kr_{10} \times \frac{S}{T_b}$$

Q₁₀ : Débit de crue décennale en m³/s

Kr : Coefficient de ruissèlement

P₁₀ : Précipitation journalière décennale en mm

A : Coefficient d'abattement

C : Coefficient de passage au débit de crue de projet

Un seul bassin versant est concerné. Les débits de pointe correspondant au ruissèlement superficiel de la crue de projet sont résumés dans le tableau n°12 ci-dessous.

Tableau 12: caractéristique du bassin versant 19 et son débit de projet.

Bassin versant	BV19	Kr70	12,897
Ouvrage	OH6	Kr100	15,500
Superficie [km ²]	51,413	Kr10	13,383
Périmètre [km]	49,641	Abattement A	0,774
Pente moyenne [%]	1,74	P10	75,6
Z _{max} [m]	326	P100	109
Z _{min} [m]	287	Pan	689
Rectangle équivalent [km]	22,53948023	Q ₁₀ [m ³ /s]	13,902
Indice globale [m/km]	1,042614992	Q _{projet} [m ³ /s]	27,80
Ig corrigé [m/km]	1,275076661		

- Calcul de la crue de projet par la méthode rationnelle.

Le débit décennal se calcule par la formule :

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

Avec :

C : Le coefficient de ruissèlement qu'on suppose uniforme sur le petit bassin considéré pendant la durée de l'averse.

A : La superficie du bassin exprimée en km²

I : L'intensité de l'averse exprimée en mm/h

$$I = a \times T_c^{-b}$$

Pour une période de retour de 10 ans :

- a = 10 et b = 0,5
- $T_c = \frac{1}{52} \times \frac{L^{1,15}}{H^{0,38}}$ (formule de kirpich)

Les débits calculés sont résumés dans le tableau n°13 et n°14

Tableau 13 : Récapitulatif des débits calculés par la méthode rationnelle.

Désignation	Surface [km ²]	ΔH	L écoulement	Tc [Kirpich]	I (mm/h)	C	Q [m ³ /s]
BV9	1,243	21	2229,8	42,21	134,27	0,3	13,768
BV10	0,292	8	1080,9	26,62	161,47	0,3	4,183
BV11	0,152	6	778,5	20,39	179,65	0,3	2,494
BV15	0,291	12	1078,9	22,72	172,02	0,3	4,441
BV16	0,283	10	1064,3	24,00	168,31	0,3	4,234
BV21	0,155	8	787,7	18,50	186,77	0,3	2,652
BV22	0,346	15	1175,9	23,02	171,12	0,3	5,203
BV24	0,476	22	1380,1	23,88	168,62	0,3	6,950
BV27	1,495	21	2445,4	46,94	128,69	0,3	15,726

Tableau 14: récapitulatifs des débits issus des eaux collectées par la chaussée

Désignation		Largeur	Longueur	Surface	Tc [Kirpich]	I (mm/h)	C	Q [m ³ /s]
Tronçon PT5-1	Droite	6,6	1000	0,0066	17,99	3,147	0,95	0,006
	Gauche	4,1	1000	0,0041	17,99	3,147	0,95	0,003
Tronçon PT3	Droite	6,1	1000	0,0061	17,99	3,147	0,88	0,005
	Gauche	6,1	1000	0,0061	17,99	3,147	0,88	0,005
	Droite	5,1	8100	0,04131	94,69	1,620	0,88	0,016

Tronçon PT2	Gauche	5,1	8100	0,04131	94,69	1,620	0,88	0,016
-------------	--------	-----	------	---------	-------	-------	------	-------

- Estimation de la crue de projet par la méthode superficielle de Caquot.

La formule pour calculer le débit s'écrit :

$$Q = K \times I^u \times C^v \times A^w$$

Avec :

- ✓ Q : débit maximal à l'exutoire de fréquence F
- ✓ I : pente moyenne du bassin versant (en m/m)
- ✓ A : superficie du bassin versant en ha
- ✓ K, u, v, w : des coefficients dépendants des unités choisies et des coefficients de Montana.

Le tableau n°15 suivant montre les résultats des calculs de débit par la méthode superficielle de Caquot.

Tableau 15: résultats des calculs de débit par la méthode superficielle de Caquot.

Désignation	Surface [Ha]	C	I [mm/h]	Q [m ³ /s]
BV1	0,25	0,7	0,004	0,0004
BV2	17,53	0,7	0,015	0,0280
BV3	23,47	0,7	0,018	0,0367
BV4	27,11	0,7	0,021	0,0418
BV5	9,08	0,7	0,016	0,0141
BV6	6,25	0,7	0,015	0,0096

III.3.2. Dimensionnement hydraulique des dalots

Le dimensionnement hydraulique permet de déterminer les sections de nos ouvrages pour des débits prédéterminés. Le dimensionnement hydraulique des dalots exige la connaissance des conditions d'écoulement à l'amont et à l'aval desdits ouvrages (régime fluvial ou torrentiel). Soient H1 la hauteur d'eau en amont de l'ouvrage, H2 la hauteur de l'eau dans la partie aval et D le diamètre de la buse ou la hauteur du dalot étudié. Dans la pratique, on distingue deux types de fonctionnement pour ces ouvrages.

- ✚ Le fonctionnement à sortie noyée : ce type de fonctionnement correspond aux zones inondables où l'écoulement est souvent en charge ($H2 \geq D$)

✚ Le fonctionnement à sortie dénoyée : qui correspond aux zones non inondables où l'écoulement est souvent à surface libre ou à pleine section ($H_2 \leq D$). La discussion du type d'écoulement dans ce cas est fonction de la hauteur d'eau en amont H_1 .

✓ Pour $\frac{H_1}{D} < 1,25$; on a un écoulement à surface libre ;

✓ Pour $\frac{H_1}{D} = 1,25$; on a un écoulement à pleine section.

La figure n°7 suivante présente les conditions de fonctionnement selon le type d'écoulement.

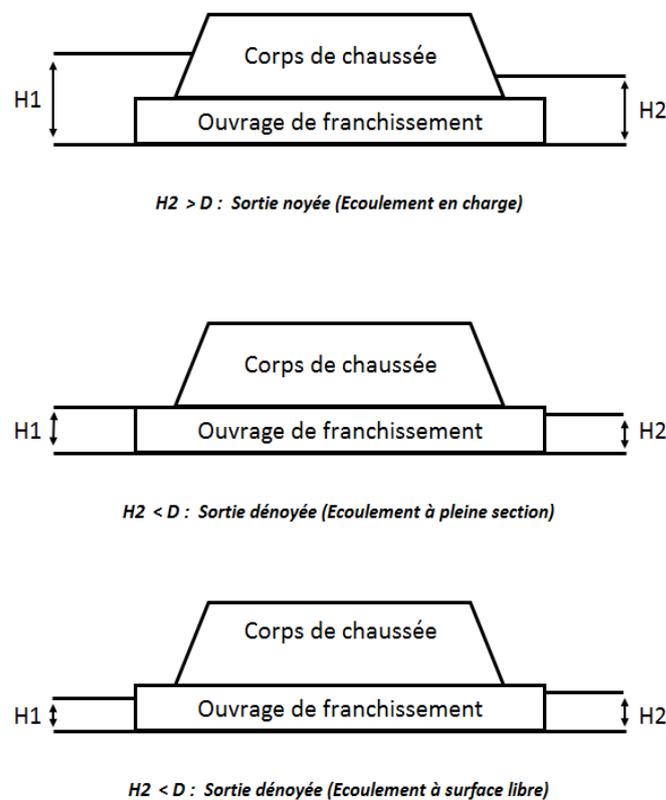


Figure 7: conditions de fonctionnement selon le type d'écoulement.

NB : Le mode de fonctionnement à sortie dénoyée sera adopté pour les ouvrages du projet.

Pour chaque ouvrage, on détermine :

➤ La section minimale de l'ouvrage

Soient Q le débit de projet et V la vitesse maximale admissible dans l'ouvrage. On a :

$$Q = S \times V$$

La section minimale de l'ouvrage est donnée par :

$$S_{\min} = \frac{Q}{V_{\max}}$$

- ✓ Pour un dalot, $S_{\min} = B \times H$ avec B la base et H la hauteur du dalot ;
- ✓ La vitesse maximale admissible dans les ouvrages est fixée à 3m/s.

- La hauteur H1

La hauteur H1 de l'eau à l'amont de l'ouvrage se calcule à partir de la formule ci-après pour les dalots :

$$Q^* = \frac{Q}{B \times D \times \sqrt{2 \times g \times D}}$$

Avec :

Q : le débit d'une ouverture pour les dalots multiples en (m³/s) ;

B : la largeur d'une ouverture en (m) ;

D : la hauteur du dalot (m) ;

g : l'accélération de la pesanteur (m/s²)

Connaissant Q*, on lit H* sur l'abaque de la figure 77, page 278, BCEOM et on détermine ensuite H1 à partir de la relation ci-après :

$$H1 = H_1^* \times D$$

- La pente critique Ic

Le calcul de la pente critique pour un dalot a été fait à l'aide de la formule ci-après :

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

De l'abaque des pentes critiques à sortie libre (figure 82 du BCEOM), on lit Ic*, et on détermine Ic la pente critique par la relation :

$$Ic = \frac{g \times Ic^*}{Ks^2 \times D^{\frac{1}{3}}}$$

- La vitesse critique Vc

Pour le calcul de la vitesse critique, la relation suivante a été utilisée :

$$Q^* = \frac{Q}{Ks \times I^{0,5} \times B^{\frac{1}{3}}}$$

De l'abaque des vitesses critiques à sortie libre, figure 84, page 284, on lit : V_c^* , et on détermine la vitesse moyenne critique par la relation :

$$V_c = V_c^* \times K \times I^{0,5} \times B^{\frac{2}{3}}$$

La vitesse critique (V_c) calculée doit être inférieure à la vitesse maximale de 3 m/s. Si V_c est supérieure à cette valeur l'ouvrage est sous dimensionné.

Le tableau n°16 présente le récapitulatifs des calculs hydrauliques des dalots.

Tableau 16: Récapitulatif des calculs hydrauliques des dalots

N° Bassin	Pk	N°Oh	B [m]	H [m]	N	Q [m³/s]	Q* ₁	H*	H1	Q* ₂	Ic*	Ic	Q* ₃	Vc*	Vc [m/s]
Bv29	151+700	Oh1	1	1	1	2,14	0,48	1,2	1,2	0,68	2,8	0,0085	0,35	0,45	2,79
Bv27	151+920	Oh2	2,5	1,5	3	15,73	0,26	0,78	1,17	0,17	2,8	0,005	0,1	0,33	2,85
Bv24	152+955	Oh3	2	1,5	2	6,95	0,21	0,66	0,99	0,19	2,85	0,0055	0,11	0,34	2,67
Bv22	153+435	Oh4	1,5	1	2	5,2	0,39	1,02	1,02	0,3	3,06	0,006	0,17	0,38	2,59
Bv21	153+665	OH5	1,5	1	1	2,65	0,4	1,02	1,02	0,3	3,08	0,006	0,17	0,38	2,61
Bv19	153+915	Oh6	2	1,5	4	27,8	0,42	1,03	1,55	0,39	3,24	0,0045	0,24	0,4	2,88
Bv16	154+760	Oh7	1	1	2	4,23	0,47	1,08	1,08	0,67	3,77	0,0085	0,34	0,45	2,78
Bv15	155+060	Oh8	1,5	1	2	4,44	0,33	0,9	0,9	0,25	2,98	0,0058	0,15	0,37	2,46
Bv11	156+405	Oh9	1,5	1	1	2,49	0,37	0,99	0,99	0,29	3,04	0,006	0,16	0,38	2,57
Bv10	157+065	Oh10	1	1	2	4,18	0,47	1,08	1,08	0,66	3,76	0,0084	0,34	0,45	2,76
Bv9	160+200	Oh11	2	1,5	3	13,77	0,28	0,81	1,22	0,26	2,98	0,0053	0,15	0,37	2,85

$V_{calculé} < V_{limite}$, pour tout les ouvrages, par conséquent les dimensions adoptées pour les ouvrages sont acceptables. Les détails des calculs sont notés dans l'annexe III.

Donc de façon résumée on a :

- ✓ 1 dalot 1 x (1,00 x 1,00)
- ✓ 2 dalots 1 x (1,50 x 1,00)
- ✓ 2 dalots 2 x (1,00 x 1,00)
- ✓ 2 dalots 2 x (1,50 x 1,00)
- ✓ 1 dalot 2 x (2,00 x 1,50)
- ✓ 1 dalot 3 x (2,00 x 1,50)
- ✓ 1 dalot 3 x (2,50 x 1,50)
- ✓ 1 dalot 4 x (2,00 x 1,50)

III.3.3. Dimensionnements hydrauliques des caniveaux

Les calculs hydrauliques ont été réalisés essentiellement avec la formule de Manning Strickler pour la détermination des sections des différents caniveaux.

$$Q = Ks \times \sqrt{I} \times \frac{[y(b+my)]^{\frac{5}{3}}}{[b+2y\sqrt{1+m^2}]^{\frac{2}{3}}}$$

Avec :

Q : débit (m³/s)

Ks : coefficient de Strickler = 70 (caniveau en béton armé)

I : pente du caniveau (m/m)

y : tirant d'eau (m)

b : largeur au plafond du caniveau (m)

S : section mouillée du caniveau (m²)

m : fruit des parois (m= 0 pour une section rectangulaire)

Ainsi pour se faire nous faisons une itération à partir des paramètres que sont :

- ✓ S : La surface mouillée
- ✓ P : Le périmètre mouillé
- ✓ y_n : Le tirant d'eau normal
- ✓ $R_h = \frac{S}{P}$: Le rayon hydraulique
- ✓ $D = Ks \times S \times R_h^{\frac{2}{3}}$: La débitance
- ✓ Q/\sqrt{I}

Ensuite nous fixons une valeur de b, tout en déterminant une valeur du tirant d'eau y_n, pour laquelle la débitance D serait égale à Q/\sqrt{I} .

Le tableau n°17 suivant est le récapitulatifs des résultats du dimensionnement des caniveaux.

Tableau 17: Récapitulatif des calculs hydrauliques des caniveaux

Caniveaux	Q [m ³ /s l	Ks	H [m]	b [m]	I [m/m]	V [m/s]	Section (cm x cm)
CN Droite	0,043	70	0,8	0,8	0,01	1,01	80 x 80
CN Gauche	0,113	70	0,8	0,8	0,01	1,42	80 x 80

III.3.4. Dimensionnement des fossés latéraux

Les fossés latéraux, sont situés des deux côtés ou d'un seul côté de la route. Ils sont destinés à collecter les eaux superficielles provenant de la plate-forme, des accotements et des talus ; ils peuvent également contribuer au rétablissement des écoulements naturels de faible importance, coupés par la route, en les canalisant vers un ouvrage de traversée. En plus des critères hydrauliques, le choix du type d'ouvrage et son implantation sont déterminés en tenant compte de :

- ✓ L'emprise du projet et le maintien des caractéristiques de la plateforme ;
- ✓ La sécurité des usagers ;
- ✓ La facilité de son exécution, de son entretien et de celui de la plateforme.

Le calcul de l'écoulement de l'eau dans un fossé est effectué à l'aide de la formule de

MANNING - STRICKLER :

$$Q = V \times S \quad ; \quad V = K_s \times R_h^{\frac{2}{3}} \times I^{0,5}$$

Avec :

Q : débit (en m³/s)

V : vitesse (en m/s)

Ks : coefficient de Manning-Strickler

R_h : rayon hydraulique

Le coefficient Ks prend les valeurs suivantes : Ks = 30 pour un fossé en terre, Ks = 25 pour un fossé rocheux et Ks = 67 pour un fossé en béton.

Les vitesses limites sont :

- ✓ Sables fin argileux ou limons argileux : 0,75 m/s
- ✓ Limons ou argiles sableuses (*sable* < 50%) : 0,90 m/s
- ✓ Argiles Compactes : 1,10 m/s
- ✓ Mélanges de sables graviers et limons : 1,5 m/s
- ✓ Graviers cailloux moyens : 1,8 m/s

Les fossés en zones de déblais seront revêtus et nous considérerons une vitesse maximale de 3,5 m/s. Cette vitesse par conséquent fixe une capacité maximale pour les fossés revêtus ou non revêtus pour une pente longitudinale donnée. La surface mouillée S et le rayon hydraulique R_h étant en fonction de la hauteur d'eau y , on peut les éliminer de la formule de Manning Strickler, ce qui permet de calculer la capacité limite Q_{max} des fossés en fonction des paramètres V et I qui sont fixés en fonction du type de matériaux.

Pour les fossés trapézoïdaux à talus 1/1 :

$$\checkmark R = \left(\frac{V}{K\sqrt{i}} \right)^{2/3} = \frac{(2b+h)h}{2(b+h\sqrt{5})} = 0,11; \text{ avec } i = 0,5\%; \text{ le choix de } b = 0,5 \text{ m}$$

$$\checkmark h = \frac{1}{2} (4,47 R - 1,2 + \sqrt{1,44 - 5,93R + 20R^2}) = 0,16$$

Mais nous considérerons une valeur de $h = 0,5$ et $S = h \left(0,5 + \frac{h}{2} \right) = 0,5 \times \left(0,5 + \frac{0,5}{2} \right) = 0,375$ et on calculera Q par $Q = S \times V = 0,375 \times 3,5 = 1,3125 \text{ m}^3/\text{s}$

Les dimensions sont : $h = 0,5 \text{ m}$ et $b = 0,5 \text{ m}$

La capacité maximale d'évacuation de notre fossé selon le tableau 41 de la page 294 du BCEOM, est de $1,085 \text{ m}^3/\text{s} < 1,3125 \text{ m}^3/\text{s}$, donc il y'a nécessité de prévoir des ouvrages de décharge.

❖ Longueurs maximales de fossés latéraux

Pour le type de fossé que nous avons adopté et sur notre type de terrain de pente longitudinale minimal de $i = 0,5\%$, la capacité maximale fixée à 1085 l/s, la longueur maximale ΔL_{max} du fossé dépend du débit à évacuer.

On prend pour le coefficient de ruissellement C_j les valeurs suivantes :

- ✓ $C_j = 0,95$ sur la plate – forme;
- ✓ $C_j = 0,80$ dans la zone du fossé de pied et de talus;

✓ $C_j = 0,7$ dans la zone entre le fossé de crête et le talus;

Les différentes dimensions sont résumées le tableau n°18 suivant :

Tableau 18: Paramètre de calcul du coefficient de ruissellement équivalent

	Plate-forme	Zone du Fossé de pied et du talus	Zone entre fossé de crête et le talus
Dimension (m)	10,20	0,5	Non connu
Coefficient de ruissèlement	0,95	0,8	0,7

$$C_{eq} = \frac{\sum C_j l_j}{\sum l_j} = \frac{(0,95 \times 10,20) + (0,5 \times 0,8)}{10,70} = 0,94$$

❖ Calcul des débits à évacuer

Les débits à évacuer par les fossés ont été calculés grâce à la méthode rationnelle. A partir de ces débits, nous déduisons les longueurs des fossés latéraux. Le temps de concentration sera calculé par la formule de Richards :

$$\frac{t_c^3}{1+t_c} = 9,8 \times \frac{K}{CR} \times \frac{L^2}{I}$$

Avec :

t_c : temps de concentration en heure

K : coefficient fonction du produit CR

L : longueur du plus long chemin hydraulique en km

C : coefficient de ruissellement du bassin versant

$R = h + h/t_c$ où h est la hauteur d'eau précipitée (en mm) pendant la durée

t , (en heure); h est calculable à partir d'une relation de Montana.

Le tableau suivant est le récapitulatif des valeurs de longueur à mettre en place.

Tableau 19: récapitulatif des valeurs de longueur à mettre en place.

Bassin Versant	Superficie [km ²]	Tc Richard	Q [m ³ /s]	Longueur [km]
BV10	0,2921	79,92	2,69	2,00
BV11	0,1515	9,04	3,46	3,00
BV13	0,0584	5,75	1,67	1,70
BV14	0,0539	6,28	1,11	1,00
BV20	0,03912	8,15	1,10	1,00
BV23	0,0578	11,63	1,44	1,50
BV25	0,0849	0,25	1,80	1,80

III.3.5. Dimensionnement structural des dalots

Nous choisissons à titre illustratif de dimensionner le dalot de type **4 x (2,00 x 1,50)**.

La même épaisseur sera adoptée pour le tablier, les piédroits et le radier.

- ✓ L'épaisseur sera déterminée par la formule suivante valable pour les ouvrages dont la hauteur du remblais H est inférieure à 2 m.

$$e = \frac{l}{10} - 5\text{cm} \text{ Où } l \text{ désigne la plus grande dimension de la cellule hydraulique.}$$

$$e = \frac{2}{10} + 0,05$$

$$e = 0,15 \text{ m}$$

Prenons $e = 0,20 \text{ m}$.

- ✓ Largeur nette de passage de l'eau : **L = 2 m**
- ✓ Hauteur nette de l'ouverture : **H = 1,5 m**
- ✓ Longueur du dalot entre guide-roues : **12 m**
- ✓ Guide-roues en béton armé de section rectangulaire de dimensions **0,20 m x 0,30 m** délimitant la longueur du dalot de part et d'autre.

❖ Prédimensionnement du dalot type 4 x 2 x 1,5

- ✓ Epaisseur de la dalle : $e_d = 0,20 \text{ m}$
- ✓ Epaisseur du radier : $e_r = 0,20 \text{ m}$
- ✓ Epaisseur des voiles : $e_v = 0,20 \text{ m}$
- ✓ Hauteur piédroits : $H = 1,5 \text{ m}$

- ✓ Largeur roulable : $L_r = 12\text{ m}$
- ✓ Largeur chargeable : $L_c = L_r = 12\text{ m}$
- ✓ Portée de la travée : $L = 2\text{ m}$
- ✓ Ouverture hydraulique : $2\text{ m} \times 1,5\text{ m}$
- ✓ Guides roues en béton armé de section : $0,20\text{ m} \times 0,3\text{ m}$

L'ouvrage de franchissement est de première classe car $L_r > 7\text{ m}$

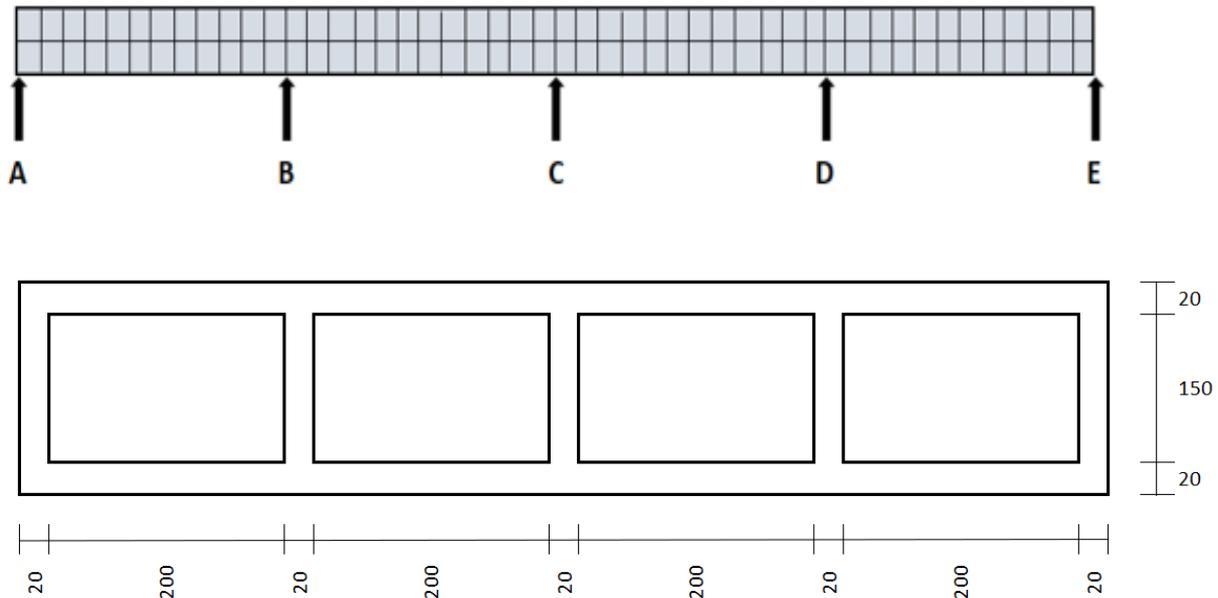


Figure 8: Géométrie du dalot

❖ Méthode de calcul

Les calculs sont effectués pour une bande de un mètre d'ouvrage ($B = 1.00\text{ m}$) suivant la largeur de celui-ci. Pour tenir compte de la symétrie de géométrie de l'ouvrage et de la non-symétrie de chargement, il convient que les piédroits intermédiaires soient dimensionnés en compression simple, ce qui permet d'annuler le moment au niveau de ces piédroits. Le tablier et le radier, quant à eux, sont dimensionnés en flexion simple. Cette hypothèse justifie la possibilité d'utiliser la méthode des rotations pour l'étude de l'équilibre de chaque nœud du schéma statique.

Les calculs de ferrailage seront menés suivant les règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites dites règles B.A.E.L 91 modifié 99.

Les ouvrages seront calculés par rapport au convoi de camions de type Bt et à celui du Bc Niger. Une hauteur moyenne de remblais de 0,4 m sera à considérer sur le tablier, pour le calcul des efforts et sollicitations dus aux remblais, avec un poids spécifique de 20 kN/m^3 . Le coefficient de poussée des terres sera pris égal à $k = 0,33$.

❖ Caractéristiques des matériaux et du béton

➤ Acier

- ✓ Nuance : Acier à Haute Adhérence Fe E 400
- ✓ Limite d'élasticité garantie Fe = 400 MPa
- ✓ Contrainte de calcul de l'acier : $F_{su} = Fe/\gamma_s = 400/1,15 = 348 \text{ MPa}$ avec $\gamma_s = 1,15$
- ✓ Enrobage = 3 cm
- ✓ Coefficient de fissuration η : $\eta = 1,6$ pour les HA ;
- ✓ Coefficient de scellement ψ_s : $\psi_s = 1,5$ pour HA ;

➤ Béton

- ✓ Poids volumique du béton = 25 kN/m^3 .
- ✓ Fissuration peu préjudiciable.
- ✓ Résistance nominale à 28 j.
 - À la compression $F_{c28} = 25 \text{ MPa}$.
 - À la traction : $F_{t28} = 0,6 + 0,06 \times F_{c28} = 2,1 \text{ Mpa}$.
- ✓ Contrainte de calcul : $F_{bu} = (0,85 \times F_{c28}) / \gamma_b = (0,85 \times 25) / 1,50 = 14,17 \text{ MPa}$
 - Avec $\gamma_b = 1,50$.
- ✓ Contrainte limite du béton : $\overline{\sigma}_{bc} = 0,60 \times F_{c28} = 0,60 \times 25 = 15 \text{ MPa}$.

❖ Résultats

Le récapitulatif des calculs de sollicitations sont présentés dans l'annexe.

Les différentes combinaisons utilisés sont :

- ✓ À l'ELU :
 - $1,35 G + 1,6 Bc \text{ Niger}$

- $1,35 G + 1,6 Bt$
- ✓ À l'ELS :
 - $G + 1,2 Bc Niger$
 - $G + 1,2 Bt$

Le tableau ci-dessous montre les sollicitations retenues pour le calcul des sections d'aciers.

Tableau 20: Les sollicitations retenues pour le calcul des sections d'aciers.

PARTIE DE L'OUVRAGE	SOLLICITATIONS	POSITION	ELU	ELS
TABLIER	MOMENT FLECHISSANT [kN.m/ml]	TRAVEE (AB ET DE)	56,001	41,9
		TRAVEE (BC = CD)	26,4515	19,8
		APPUI C	-51,8	-38,8
		APPUI B ET D	-77,7	-58,2
RADIER	MOMENT FLECHISSANT [kN.m/ml]	TRAVEE (AB ET DE)	21	15,6
		TRAVEE (BC = CD)	9,9	7,39
		APPUI C	-19,5	-14,5
		APPUI B ET D	-29	-21,8
PIEDROIT EXTREME	MOMENT FLECHISSANT [kN.m/ml]	PIEDROIT A ET E	80,2	60,08
	EFFORT NORMAL [kN/ml]		144,6	105
PIEDROIT CENTRAL	MOMENT FLECHISSANT [kN.m/ml]	PIEDROIT C	-	-
	EFFORT NORMAL [kN/ml]		341,7	248
PIEDROIT INTERMEDIAIRE	MOMENT FLECHISSANT [kN.m/ml]	PIEDROIT B ET D	-	-
	EFFORT NORMAL [kN/ml]		420	305,26

Le tableau suivant présente le récapitulatif du ferrailage du dalot 4 x 2 x 1,5

Tableau 21: Le récapitulatif du ferrailage du dalot 4 x 2 x 1,5

PARTIE DE L'OUVRAGE	POSITION	ΦRETENU	ESPACEMENT
TABLIER	TRAVEE (AB ET DE)	HA16	20
	TRAVEE (BC = CD)	HA12	20
	APPUI C	HA16	20
	APPUI B ET D	HA16	20
	TRANSVERSAL	HA10	25
RADIER	TRAVEE (AB ET DE)	HA12	20
	TRAVEE (BC = CD)	HA10	20
	APPUI C	HA12	20
	APPUI B ET D	HA12	20
	TRANSVERSAL	HA10	25
PIEDROITS EXTREMES	INTERIEUR/EXTERIEUR	HA12/FACE	20
	TRANSVERSAL	HA10	25
PIEDROIT CENTRAL	INTERIEUR/EXTERIEUR	HA12	20
	TRANSVERSAL	HA10	25
PIEDROITS INTERMEDIAIRES	INTERIEUR/EXTERIEUR	HA10	20
	TRANSVERSAL	HA10	25

III.3.6. Dimensionnement structural des caniveaux

Pour le dimensionnement, nous considérons un caniveau de type 80 x 80.

Les règles de calcul béton armé définies sont celles du BAEL 91 modifié 99.

Les éléments porteurs tels que la dalle, le voile et le radier seront étudiés indépendamment en fonction des différentes charges appliquées. De prime à bord, la dalle sera calculée en flexion simple sous l'action d'une charge concentrée B_r d'une roue isolée de 10T conformément au fascicule 62 titre II du Cahier des Prescriptions Communes applicables aux marchés de travaux publics de l'Etat Français. Le piedroit, quant à lui sera calculé en flexion composée sous l'action de l'effort transmis par la dalle chargée et de la poussée des terres. Enfin le radier sera calculé en flexion simple composée sous l'action de son poids propre, du

pois propre des piédroits et des moments d'encastrement sur appuis à gauche et à droite du radier.

La figure suivante montre le principe de chargement des différents éléments.

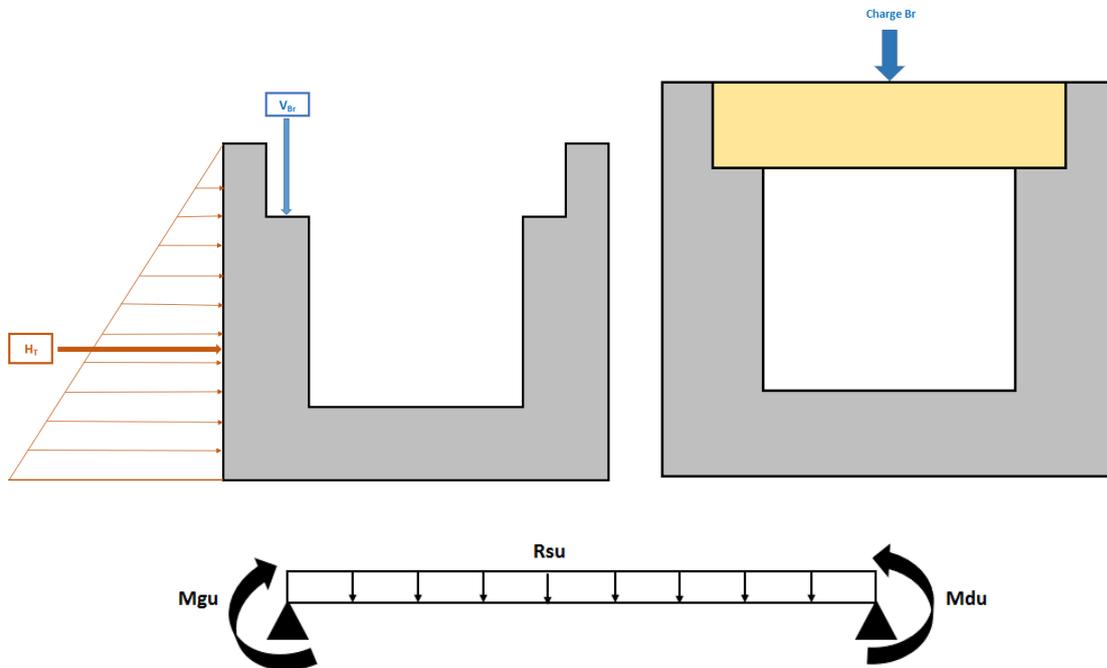


Figure 9: Principe de chargement des différents éléments.

❖ Caractéristique des matériaux et du béton

De mêmes que les dalots, les mêmes types de matériaux seront utilisés pour dimensionner les caniveaux.

- ✓ La résistance du béton $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$, dosé à 350 kg/m^3
- ✓ Aciers à haute adhérence HA400
- ✓ Enrobage de 3 cm.

❖ Résultats

Les tableaux 22 et 23 suivants présentent les sollicitations de calcul et le ferrailage retenu.

Tableau 22 : Les sollicitations de calcul et le ferrailage retenu.

SOLLICITATION	DALLETTE		PIEDROIT		RADIER	
	ELU	ELS	ELU	ELS	ELU	ELS
MOMENT FLECHISSANT [kN.m]	35,42	23,66	1,21	0,896	6,41	4,75
EFFORT TRANCHANT [kN/m]	77,5	51,9	-	-	17,2	12,7
EFFORT NORMAL [kN/m]	-	-	79,03	55,44	-	-

Tableau 23 : Ferrailage Caniveau 80x80

FERRAILAGE CANIVEAU 80X80			
PARTIE DE L'OUVRAGE	POSITION	F RETENU	ESPACEMENT
DALETTE DE 50 CM DE LARGEUR	INFERIEUR	HA12	8 cm
	SUPERIEUR	HA8	8 cm
	TRANSVERSAL	HA8	20 cm
PIEDROITS	PRINCIPAL	HA10	15 cm
	TRANSVERSAL	HA8	20 cm
RADIER	PRINCIPAL	HA10	15 cm
	TRANSVERSAL	HA8	20 cm

III.4. Signalisation et sécurité routière

Les projets routiers ont pour but premier l'amélioration des conditions de vies des populations. Ainsi, pour que tous ces objectifs soient atteints, il est fondamental d'entreprendre certaines mesures sécuritaires afin de joindre l'utile à l'agréable et bannir le caractère nuisible de la route. Il s'agira de façon générale, de mettre en place des dispositifs et des infrastructures suivant les prescriptions, les indications et la sécurité des riverains et usagers de la route.

III.4.1. La signalisation horizontale

Elle est l'ensemble des marquages sur la chaussée qui ont pour but d'indiquer sans ambiguïté les parties de la chaussée réservées aux différents sens de la circulation ou à certaines catégories d'usagers ainsi que dans certains cas la conduite que doivent observer les usagers. Elle n'est pas obligatoire mais cependant est nécessaire à la bonne sécurité des usagers et au bon écoulement de la circulation.

Les marquages au sol sont de diverses sortes :

❖ *Les lignes longitudinales*

Les lignes longitudinales sont à caractère divers :

- Continue infranchissables
- Discontinues axiales ou de délimitation de voie
- Discontinues d'annonce d'une ligne continue ou de dissuasion
- Discontinues de bord de chaussée

❖ *Les lignes transversales et autre marquage*

- Les lignes continues (Stop)
- Les lignes discontinues (Céder le passage)
- Les lignes de passage piéton
- Les lignes de stationnement
- Les flèches

❖ *Caractéristiques des marquages*

- La couleur des marquages

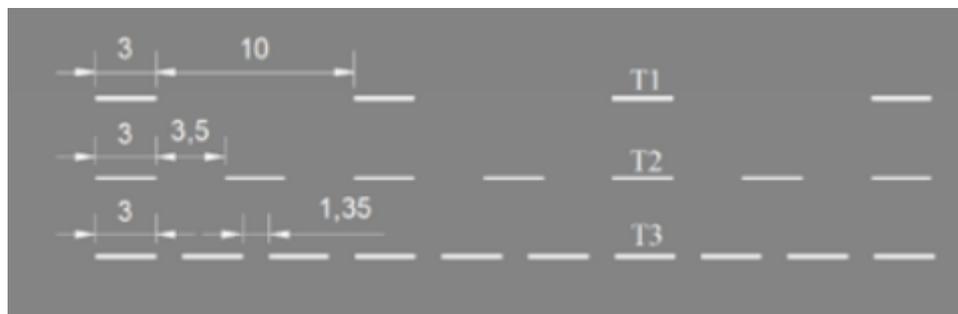
Les marquages au sol seront faits de couleur blanche sauf les marquages de types interdisant l'arrêt ou le stationnement.

- Les modulations des lignes

Dans le cadre de notre projet, nous avons retenu quatre types de modulation se différenciant par le rapport des pleins aux vides. Le tableau 24 et la figure 10 suivant présentent les types de modulations.

Tableau 24: Types de modulation des lignes discontinues

Type de modulation	Longueur des traits (m)	Intervalle entre deux traits successifs (m)	Rapport Plein / Vide
T1	3	10	1/3
T2	3	3,5	1
T3	3	1,33	3
T'2	0,5	0,5	1



Lignes transversales

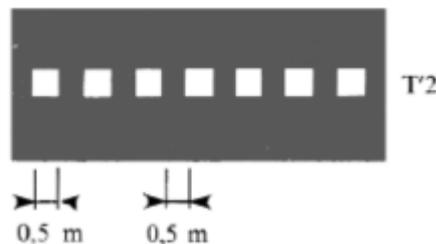


Figure 10: Illustration des différents types de modulations utilisés dans notre projet

- La largeur des lignes

La largeur des lignes est définie par rapport une largeur unité « u » qui pour les itinéraires revêtus au Burkina Faso sera :

u = 6 cm avec :

- 2u = 12 cm pour les lignes longitudinales axiales
- 3u = 18 cm pour les lignes de rives

III.4.2. La signalisation verticale

Les éléments de la signalisation verticale ont pour rôles de guider les usagers en leur délivrant un message intelligible afin d'assurer son confort et sa sécurité. Ainsi nous avons dans le cadre de ce projet :

- Le panneau AB3a (Cédez le passage) placé à l'approche du rond-point ;
- Le panneau AB4 (Stop) placé au niveau des amorces ;
- Le panneau AB25 (Carrefour à sens giratoire) placé à l'approche du rond-point ;
- Le panneau B14 (Limitation de vitesse) placé à l'entrée de la zone du projet ;
- Le panneau B33 (fin de limitation de vitesse)
- Le panneau C20a (Passage pour piétons) placé à chaque traversée ;
- Le panneau D42b (Panneau de pré signalisation diagrammatique à sens giratoires) placé à l'approche du rond-point ;
- Le panneau J5 (Signalisation des têtes d'îlots directionnels à contournement par la droite) placé en tête des îlots séparateurs.

Le tableau suivant résume les panneaux utilisés dans le cadre du projet

Tableau 25 : Les panneaux de signalisation verticale

Type de panneau												
Code	A1a	A1b	A2b	AB3a	AB5	AB4	B14	B33	C2	C27	D42b	J5
Nombre	1	1	5	4	2	10	1	1	1	5	4	4

III.5. Eclairage public

L'éclairage public consiste à éclairer les artères urbaines et interurbaines (autoroutes, routes, pistes cyclables, trottoirs...). Cette étape est cruciale dans chaque projet routier en ce sens qu'il permet de faciliter les circulations de nuits en assurant aussi bien la sécurité que le confort des usagers. Il s'agira de façon spécifique d'assurer la visibilité de la route et de ses abords ainsi que des obstacles accidentogènes. En outre, il s'agira de limiter les zones d'ombres afin de pouvoir distinguer les trottoirs ainsi que tous autres obstacles présents sur la route et aussi éviter les agressions.

Cependant le matériel d'éclairage public se compose de la lampe, du luminaire et du candélabre.

❖ *Matériel d'éclairage public*

Nous optons d'utiliser pour ce projet des lampes LED qui s'appliquent de façon générale à l'éclairage urbain, qui ont une durée de vie allant de 50000h à 80000h.

Pour ce qui est des candélabres nous disposons de plusieurs sortes, conçus sous différents matériaux. Ainsi le tableau suivant nous propose les types de candélabres disponibles avec in extenso les avantages et les inconvénients.

Tableau 26: Types de candélabres

Type de candélabre	Avantages	Inconvénients
Candélabre en acier	Bonnes résistances aux chocs	Nécessite un traitement pour une protection contre la corrosion (peinture avec couche anticorrosion, galvanisation à la chaud)
	Bonne résistance à la corrosion	
	Relativement peu coûteux	
Candélabre en alliage d'aluminium	Excellente tenue à la corrosion et aux facteurs climatiques	Précaution de mise en œuvre rigoureuse nécessitant une main d'œuvre qualifiée
	Ne nécessite aucun entretien	Très onéreux
Candélabre en béton	Bonne résistance aux chocs	Très lourds
	Ne nécessite aucun entretien	Non esthétique

❖ *Types d'implantation des candélabres sur l'espace public*

Pour pouvoir identifier l'implantation adéquate dans un espace public, il est primordial de tenir compte des paramètres suivants :

- ✓ La largeur de la chaussée à éclairer

- ✓ L'avancé du feu par rapport au bord de la chaussée
- ✓ La hauteur du feu
- ✓ L'espacement entre deux foyers lumineux

On distingue 4 principales sortes d'implantations que suit :

- Implantation unilatérale (Gauche ou Droite)

Pour ce type d'implantation tous les luminaires sont implantés sur un seul côté de la route

- Implantation bilatérale en quinconce

Dans cette variante d'implantation, les luminaires sont situés de chaque côté de la route de façon alternée.

- Implantation bilatérale vis-à-vis

Celui-ci est caractérisé par des luminaires implantés sur les deux côtés de la route et en opposition.

- Implantation axiale (rétro-bilatérale)

Les luminaires sont implantés au-dessus de la zone centrale (terre-plein central) de la route.

Le tableau suivant synthétise les principaux types d'implantations des points lumineux en fonction de la hauteur des feux (h) et la largeur de la chaussée (l)

Tableau 27: Récapitulatif des principaux types d'implantation des points lumineux

Type d'implantation recommandé	Rapport entre h et l	Type de chaussée	Observations
Implantation unilatérale	$l \leq h$	Chaussée simple à double sens de circulation	La luminance de la partie de la chaussée situer loin des luminaires est plus faibles que celle située du même coté
Implantation bilatérale en quinconce	$h < l \leq 1,5 h$		Un soin particulier doit être apporté à l'uniformité des luminances de la chaussées
Implantation bilatérale vis-à-vis	$1,5 h < l$		-
Implantation axiale (rétro-bilatérale)	$l \leq h$	Chaussée doubles à deux sens de circulation	-

❖ *Calcul des inter-distances et hauteur de feu.*

➤ Hauteur de feu

Nous avons une route ayant une vitesse de référence de 100 km/h par conséquent nous optons pour une hauteur de candélabre $h = 12$ m.

➤ Inter-distance

L'inter-distance est comprise entre $3.5 \times h$ et $4 \times h$.

NB : Il faut noter que les luminaires LED permettent d'atteindre des inters distances allant jusqu'à 6 fois la hauteur de feux.

$$e = 4 \times h = 4 \times 12 = 48 \text{ m}$$

❖ *Nombre de candélabres*

$$L = 1000 \text{ m}$$

$$N = \frac{L}{e} = \frac{1000}{48} = 20.83$$

$$N = 21 \text{ Candélabres}$$

Nous retenons en conclusions au total 21 candélabres à foyer simples espacés de 48 m.

IV. NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET ESTIMATION DU COÛT DU PTOJET

IV.1. Notice d'impact environnemental

L'aménagement du réseau routier est un facteur de développement, cependant sa mise en œuvre ne doit contribuer à dégrader l'environnement. Ainsi face aux enjeux climatiques et la nécessité de donner de meilleure condition de vie aux populations, des dispositions doivent être prises. Conformément aux exigences législatives et règlementaires au Burkina Faso, ce projet a été classé comme nécessitant une évaluation environnementale et sociale.

Ce résumé d'EIES concerne uniquement notre tronçon d'étude long de 10,835 kilomètres. Décret n°2001-342/PRES/PM/MEE portant champ d'application, contenu et procédure de l'étude et de la notice d'impact sur l'environnement

IV.1.1. Rappel du cadre législatif

Décret n°2001-342/pres/pm/mee portant champ d'application, contenu et procédure de l'étude et de la notice d'impact sur l'environnement

La procédure administrative de l'étude d'impact environnementale se fonde sur le décret n°2001-342/PRES/PM/MEE du 17 juillet 2001. Elle fait une classification des projets et programmes en 3 catégories que sont :

- ✓ Catégorie A : Activités soumises à une étude d'impact sur l'environnement (EIE)
 - Bitumage de routes ;
 - Construction de chemins de fer ;
 - Construction d'aérodromes ;
 - Construction d'auto gares ;
 - Construction de gares de train ;
 - Différents travaux d'extension desdites infrastructures ;
 - Construction de routes en terre de type ordinaire ou moderne

- ✓ Catégorie B : Activités soumises à une notice d'impact sur l'environnement (NIE)
 - Construction de piste de type amélioré ;
 - Travaux de réhabilitation

- ✓ Catégorie C : Activités qui ne sont soumises ni à l'étude d'impact environnement, ni à la notice d'impact sur l'environnement
 - Ouverture de piste ;
 - Aménagement de piste de type ordinaire ou amélioré ;
 - Travaux d'entretien et de grosses réparations

NB : Selon les dispositions ci-dessus, notre projet d'étude de construction et de bitumage est de catégorie A, donc soumis à la réalisation préalable d'une Étude d'Impact Environnemental (EIE).

+ Décret n°2001-185/pres/pm/mee portant sur les normes de rejets dans l'air, l'eau et le sol.

Le décret fixe en ses articles 6 ,10 ,11 respectivement les normes de rejets des émissions, les normes de déversement des eaux usées dans les eaux de surface, les normes de déversement des eaux usées dans les égouts.

IV.1.2. Identification et évaluation des impacts du projet

L'analyse des impacts consiste à identifier, décrire et évaluer les impacts potentiels du projet sur les composantes du milieu naturel et humains. La mise en relation des activités sources d'impacts d'une part, et des composantes de l'environnement affectées d'autre part, permet de faire ressortir les interrelations entre lesdites activités du projet et les composantes de l'environnement ainsi que les principaux impacts.

Pour évaluer l'importance probable des impacts nous allons utiliser une méthode reposant sur trois critères fondamentaux que sont la durée, l'étendue et l'intensité de l'impact. Mais aussi d'autres critères tels que la fréquence, la probabilité que les impacts se produisent, la nature directe ou indirecte de l'impact, les effets induits, les effets cumulatifs et les impacts négatifs résiduels qui ne peuvent être atténués.

On procède ensuite à l'évaluation proprement dite des impacts potentiels sur les principales composantes environnementales et sociales. Cette évaluation consiste à déterminer l'importance de l'impact probable identifié dans une matrice d'interrelation. Même si une telle évaluation peut parfois comporter un jugement de valeur, elle permet tout de même d'établir des niveaux d'acceptabilité et de définir les besoins en matière d'atténuation, de compensation,

de surveillance et de suivi des impacts. Une attention particulière est apportée à l'évaluation des impacts lorsque des éléments sensibles du milieu sont potentiellement affectés.

❖ *Source des impacts*

Les activités sources d'impacts sont en réalité l'ensemble des activités prévues lors des travaux de construction et de bitumage de notre tronçon d'étude, long de 10,835 kilomètres et son exploitation et qui peuvent engendrer des impacts sur les milieux naturels et humains. Ces activités sont les suivantes :

- ✓ La libération de l'emprise du projet ;
- ✓ La réinstallation éventuelle des populations
- ✓ L'installation de chantier et de base-vie ;
- ✓ Le déboisement et débroussaillage ;
- ✓ Le transport et la circulation de la main d'œuvre, de la machinerie et des matériaux ;
- ✓ Le dépôt de tout venant et des déchets ;
- ✓ L'exploitation de zones d'emprunt de matériaux et de carrières ;
- ✓ Les travaux de terrassement (déblai, remblai) ;
- ✓ La construction d'ouvrages de franchissement
- ✓ La préparation du bitume et imprégnation de la plateforme ;
- ✓ L'exécution de l'enduit superficiel ;
- ✓ La construction des ouvrages connexes (ouvrages de drainage : divergents, convergents ; descentes d'eau...) ;
- ✓ La plantation d'arbres ;
- ✓ La pose de la signalisation verticale et horizontale ;
- ✓ La surveillance et le contrôle des travaux ;
- ✓ La présence du personnel ;
- ✓ Le repli du chantier ;
- ✓ La présence de la nouvelle route
- ✓ La gestion de l'entretien (mise en place et fonctionnement du péage, mise en place du processus d'entretien) ;
- ✓ L'entretien courant ou périodique du tronçon de route aménagé ;
- ✓ L'exploitation de la route aménagée et des infrastructures d'accompagnement.

❖ **COMPOSANTES DE L'ENVIRONNEMENT**

La liste des composantes de l'environnement affectées dans le cas du projet est la suivante :

➤ **Pour le milieu biophysique :**

- ✓ La qualité de l'air ;
- ✓ Les sols ;
- ✓ Les ressources en eau (eaux de surface et eaux souterraines) ;
- ✓ Les écosystèmes et la végétation ;

➤ **La faune (mammifères et oiseaux ; poissons et autres espèces), la microfaune et les habitats.**

➤ **Pour le milieu humain :**

- ✓ La santé publique et la sécurité ;
- ✓ L'utilisation des ressources naturelles ;
- ✓ L'ambiance sonore et autres nuisances ;
- ✓ L'emploi ;
- ✓ La circulation et la mobilité urbaine dans les grandes villes ;
- ✓ Les activités économiques, artisanales et touristiques ;
- ✓ L'organisation sociale
- ✓ Le niveau et le cadre de vie
- ✓ Le patrimoine culturel, historique et archéologique ;
- ✓ La destruction de biens et le déplacement involontaire de populations ;
- ✓ Le genre et les activités des groupes vulnérables ;
- ✓ Le paysage ;
- ✓ Les conditions de vie, la qualité de vie et le bien-être des populations.

❖ **ÉVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU PROJET**

➤ **IMPACTS DU PROJET SUR LE MILIEU BIOPHYSIQUE**

▪ **Qualité de l'air**

En phase de travaux :

Les émissions de poussière, de fumées et de gaz (COx, NOx, SOx, VOC, C, H2S, et HC) générées par les véhicules et engins (et des sites de préparation du bitume) affecteront localement la qualité de l'air. Elles pourraient être à l'origine de maladies respiratoires et

oculaires chez les populations riveraines. La chute de poussière chargée sur les feuilles entrainera la perturbation de la photosynthèse de certaines plantes affectées.

Des effets cumulatifs seront constatés localement avec les poussières et les fumées des engins lors des passages répétés circulant sur les pistes de déviation situés à proximité de la route en aménagement.

En phase exploitation :

En phase d'exploitation, les fumées générées par les véhicules affecteront également de façon marginale la qualité de l'air. De plus, lors des entretiens courant et périodique les poussières et les fumées affecteront également la qualité de l'air.

▪ *Sols*

En phase de travaux :

Pendant les travaux, le passage des engins et véhicules de chantiers provoquera un tassement marginal des sols entraînant une modification de leur structure. Ces sols risquent d'être souillés par le rejet direct ou accidentel de déchets liquides (notamment les huiles de vidanges usagées) et solides (gravats, déchets divers, etc.) provenant du chantier et de la base-vie.

Dans les zones d'emprunts de matériaux et des carrières, par contre, les sols seront détruits en profondeur sur toute la superficie des excavations. Si ces dernières ne sont pas remises en état après leur exploitation, elles constitueront en saisons pluvieuses de potentiels dangers pour les enfants et des mares où se développeront des larves d'insectes nuisibles (moustiques par exemple). De ces zones, pourraient naître des traces d'érosions.

En phase exploitation :

En phase exploitation, on notera également des pollutions par les déchets liquides et solides (hydrocarbures, eaux usées, filtres usés, produits provenant de l'usure des pneus, pneus usés et autres déchets issus du commerce) provenant des vidanges, suintements des hydrocarbures des véhicules et des déchets des activités socio-économiques aux alentours du tronçon.

▪ *Eaux de surface et souterraines*

En phase de travaux :

Les travaux de maçonnerie et de compactage vont entrainer des prélèvements marginaux de l'eau dans les retenues d'eau et les mares environnantes de la zone du projet. La qualité des eaux de surface pourrait être polluée et/ou perturbée par ruissellement des déchets liquides (huiles usées) et solides (gravats) générés par les travaux.

La construction d'ouvrages de franchissement pourrait entraîner des déviations hydrauliques. Un mauvais dimensionnement de ces ouvrages aura pour conséquence de forts ruissellements, principales causes de l'érosion hydrique à l'origine d'ensablement et d'envasement de cours d'eau. Aussi, une insuffisance de réseaux de drainage pourrait être à l'origine d'inondations pendant les saisons pluvieuses au niveau des agglomérations traversées.

En phase exploitation :

En phase exploitation, les ouvrages de franchissement aménagés faciliteront les jonctions entre localités. Quant aux eaux souterraines, leur qualité ne devrait connaître aucune détérioration. En effet, la bande de roulement étant en matériau presque imperméabilisé (enduit bitumineux), l'infiltration de l'eau dans le sol au droit de la route sera marginale, voire nulle.

▪ ***Écosystèmes et végétation***

En phase de travaux :

Des portions d'écosystèmes agro forestiers, d'écosystèmes aquatiques, des savanes boisées situées dans l'emprise de la route seront détruites par les travaux de construction de la route. Pendant les travaux, la végétation ligneuse et les herbacées annuelles seront détruites dans l'emprise de la route. Il en sera de même au niveau des zones d'emprunt, des carrières, de la base-vie, des sites de dépôt de matériaux et des déviations temporaires.

En phase exploitation :

Au moment des travaux d'entretien courant et périodique, la végétation ligneuse et/ou herbeuse qui aurait éventuellement poussé le long du tronçon et dans les zones d'emprunt et carrières sera probablement détruite.

En phase exploitation, on notera des risques d'exploitation anarchique du bois dans la zone afin d'alimenter les différentes agglomérations traversées pour la recherche de revenus.

▪ ***Habitats, faune et faune***

En phase de travaux :

Pendant les travaux, l'habitat de faune sera partiellement détruit et les petits mammifères, les reptiles et la microfaune verront leurs niches écologiques détruites notamment dans l'emprise de la route, de la base-vie, des sites de dépôt de matériaux, des zones d'emprunt de matériaux et des carrières et des déviations temporaires.

Les bruits des engins de terrassement, des véhicules de chantier et de la centrale à béton perturberont la quiétude de la faune sauvage. Les ouvriers pourraient également prélever la faune. D'autre part, les sites d'emprunt pourraient constituer des retenues d'eau permettant l'abreuvement de la faune sauvage et des animaux domestiques.

En phase exploitation

En phase d'exploitation, des collisions pourraient être constatées entre les animaux et les usagers de la route. Les activités de braconnages pourraient également être favorisées par la présence de route aménagée.

- ***Ressources naturelles et zones écologiquement sensibles***

En phase de travaux :

Le projet ne traverse aucune réserve naturelle. Ainsi, l'empiètement et la destruction de réserves naturelles est nulle. Enfin, les zones écologiquement sensibles (zones de bas-fonds, zones de végétation dense, habitat de faune, etc.) seront fragmentées dans une moindre mesure pendant les travaux.

- IMPACTS DU PROJET SUR LE MILIEU HUMAIN

- ***Santé publique et sécurité***

En phase de travaux

Les travaux vont générer localement de la poussière, des fumées, le nettoyage des emprises, les diverses constructions, la centrale de préparation du bitume ainsi que l'exploitation des déviations et autres odeurs olfactives pouvant être des sources de maladies respiratoires et des nuisances diverses (toux, troubles respiratoires, irritation des bronches, altérations des fonctions pulmonaires, asthmes) surtout chez le personnel du chantier et les populations riveraines à la traversée d'agglomérations et en particulier les personnes âgées. La présence de personnes non locales (ouvriers et personnel d'encadrement du chantier, voyageurs, etc.) favorisera le brassage avec les populations et augmentera le risque de contamination par certaines maladies infectieuses, les IST et notamment le VIH/SIDA. Les risques de grossesses non désirées sont également à noter. Ce n'est pas surtout le brassage des populations qui est l'origine de la contamination des IST et du VIH/SIDA ; les facteurs majeurs qui contribuent à cette contamination sont le célibat géographique (travailleurs devant rester des mois loin de leurs conjoints (/es), le pouvoir d'achat des travailleurs élevé par rapport aux populations locales qui entraîne certains comportements répréhensibles. Il s'agit en particulier de l'abus abusif de

drogues et d'alcool et la proposition de rapports non protégés contre l'argent, la pauvreté des femmes de la localité. Il faut par ailleurs noter que les PVVIH ne sont pas relativement nombreux pour être un frein au développement de la zone du projet ; mais à long terme ces maladies auront un impact considérable sur ce développement.

Les risques d'accident découleront de la circulation des engins et véhicules de chantiers, des excès de vitesse, des traversées hasardeuses de la route par les populations locales. Les cas d'incendie dans la base-vie, les aires de stationnement du matériel et les ateliers de mécanique constituent également des risques d'accident. Dans les agglomérations traversées, les vibrations des engins de terrassement peuvent entamer la stabilité du patrimoine bâti.

En phase exploitation

La présence de route bitumée facilitera la circulation et les évacuations sanitaires vers les centres mieux équipés. Cependant, les excès de vitesse, les traversées et les stationnements hasardeux entraîneront des accidents.

- ***Utilisation des Ressources naturelles***

En phase de travaux

Les végétations ligneuses et herbacées annuelles, les sols et les eaux pourraient être affectés (destruction, pollution, tassement) dans l'emprise de la route, des zones d'emprunt, des carrières, de la base-vie, des sites de dépôt de matériaux et des déviations temporaires.

En phase exploitation

La présence de route bitumée peut favoriser l'exploitation anarchique de ressources naturelles (braconnage, abattage d'arbres, etc.).

- ***Emploi***

En phase de travaux

Pendant les travaux, l'entreprise adjudicataire des travaux va offrir des emplois, par l'embauche de personnel. En effet, le personnel d'exécution, main-d'œuvre non qualifiée, sera recruté localement pour la plupart. Si on estime qu'un chantier routier emploie 200 à 400 personnes pendant un an pour 50 km, on pourrait estimer entre 300 et 600 emplois créés sur un tronçon de 84 km. Ce type d'emploi est temporaire, mais il a des retombées économiques certaines sur le niveau de vie des ménages et sur l'économie locale.

En phase exploitation

L'entretien de la route aménagée permettra également de créer des emplois.

- *Activités économiques, artisanales, touristiques et culturelles*

En phase de travaux

Les petites activités génératrices de revenus (AGR), notamment la restauration et les ventes de produits alimentaires de première nécessité, seront stimulées par la présence du personnel de chantier. Certains matériaux de génie civil seront acquis dans les quincailleries locales procurant ainsi des revenus substantiels aux commerçants.

Quelques portions de terres agricoles et de pâturages pourraient être affectées par la circulation des véhicules et engins de chantier dans l'environnement de la route, dans les zones d'emprunt de matériaux et de carrières, dans les zones de déviations, etc.

En phase exploitation

Les activités agropastorales, de transport, l'artisanat, les échanges culturels, touristiques et sportifs vont se développer dans les localités traversées procurant ainsi des revenus aux populations. Ces retombées économiques qui découleront de l'exploitation de la route bitumée contribueront à réduction de la pauvreté dans la zone du projet.

- *Qualité de vie et bien-être des populations*

En phase de travaux

Les pollutions et nuisances liées aux travaux affecteront temporairement la qualité de vie des populations riveraines. Elles pourraient engendrer dans une moindre mesure des problèmes de santé (toux, troubles respiratoires, irritation des bronches, altérations des fonctions pulmonaires, asthmes) chez ces populations.

En phase exploitation

La présence de route bitumée entrainera une réduction des envols des poussières, sources de nuisances et de maladies chez les populations.

L'aménagement d'ouvrages d'assainissement adéquat à la traversée d'agglomérations facilitera l'évacuation des eaux pluviales. Par contre, la construction d'ouvrages mal dimensionnés entrainera des inondations.

La réalisation de sites d'emprunt à proximité de zones habitées sera à l'origine de nuisances et de maladies (piques de moustiques et paludisme) chez les populations riveraines suite à la stagnation de l'eau dans ces zones constituant ainsi des mares.

Les évacuations sanitaires seront facilitées par la présence d'une route bitumée entrainant une fluidité de la circulation et une réduction des temps de parcours. Le niveau de confort lors sera amélioré pour les voyageurs. Enfin, les populations verront leurs conditions de vie améliorées

à cause des retombées économiques générées par le projet, par conséquent une réduction de leur pauvreté.

Le résultat de l'évaluation de tous ces impacts est à consulter dans les tableaux de l'annexe IV

IV.1.3. Plan de gestion environnementale et sociale

❖ LES MESURES D'ATTÉNUATION

- Mesures pour le milieu physique
 - Mesures pour la végétation et la faune

Dans le cadre de la réalisation de ce projet, les travaux seront menés de sorte à éviter d'endommager la faune et la flore. Ainsi l'installation de la base du chantier et des bases vie se feront dans des zones où il y'a guère besoin de déboiser. Néanmoins la végétation détruite se verra restaurer à travers des campagnes de reboisement sur les deux côtés de l'emprise de la route, de même que dans les zones d'emprunts. Une sensibilisation des employés sera faite pour le respect de la faune sauvage afin d'éviter le braconnage.

- Mesures d'atténuation pour la qualité de l'air

Pour arriver à maintenir la qualité de l'air acceptable, des programmes arrosages seront mis en œuvre dans les zones de terrassement ainsi que sur les pistes d'accès aux sites d'emprunts afin de réduire la production des particules fines.

- Mesures d'atténuation pour les sols

Les sites d'emprunt seront remis en état afin d'éviter l'érosion précipitée des sols. Cependant, certains sites d'emprunt seront transformés en retenue d'eau pour abreuver les animaux pendant un certain temps.

De plus afin de limiter la pollution des sols, les réservoirs de carburant seront bien protégés et rigoureusement inspectés.

➤ Mesures pour le milieu socio-économique

Pendant la phase de construction, une rigueur sera accordée à l'entretien des voies de déviations ainsi qu'à l'entretien des panneaux de signalisation afin de garder un certain niveau de sécurité pour les usagers.

❖ *Les mesures de bonification*

Au cours de ce projet, les mesures de bonification sont entre autres :

- ✓ Une clôture pour une école
- ✓ Une clôture pour un Centre de Santé et de Promotion sociale
- ✓ 5 forages prévus

IV.2. Estimation du cout du projet

L'estimation des couts d'un projet routier est la phase la plus cruciale. Elle permet de situer les différentes parties prenantes du projet de situer vis-à-vis des moyens à réunir. De plus cette estimation permet aux entreprises de soumissionner aux marchés du projet en toute connaissance de cause.

Les travaux à réaliser dans le cadre de ce projet sont regroupés en plusieurs postes de travaux, classés comme suit :

- ✓ Série 000 : installations générales et repli du chantier ;
- ✓ Série 100 : travaux préparatoires ;
- ✓ Série 200 : terrassements ;
- ✓ Série 300 : chaussée ;
- ✓ Série 400 : ouvrages de drainage (dalots) ;
- ✓ Série 600 : signalisation – sécurité ;
- ✓ Série 700 : mesures environnementales et sociales.

Le tableau 28 suivant donne le devis quantitatif et estimatif du projet.

Tableau 28: Estimation du cout du projet

N° PRIX	DÉSIGNATION	MONTANT HT	POURCENTAGE (%)
SÉRIE 000	INSTALLATIONS GÉNÉRALES ET REPLI DU CHANTIER	1 394 000 000	18
SÉRIE 100	TRAVAUX PRÉPARATOIRES	282 225 521	4
SÉRIE 200	TERRASSEMENTS	664 473 279	9
SÉRIE 300	CHAUSSÉE	4 133 477 500	54
SÉRIE 400	OUVRAGES DE DRAINAGE (DALOTS)	976 873 000	13
SÉRIE 600	SIGNALISATIONS - SÉCURITÉ	58 113 500	1
SÉRIE 700	MESURES ENVIRONNEMENTALES ET SOCIALES	97 125 000	1
TOTAL GÉNÉRAL		7 606 287 800	
MONTANT TOTAL DES DROITS D'ENREGISTREMENT ET DIVERS (3%)		228 188 634	
MONTANT TVA (18 %)		1 274 481 254	
MONTANT TOTAL DES TRAVAUX TTC		8 354 932 668	

Le cout total de notre projet est de **huit milliards trois cent cinquante-quatre millions neuf cent trente-deux mille six cent soixante-huit FCFA toutes taxes comprises (8 354 932 668 FCFA TTC)**

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'étude technique détaillée des travaux de construction et de bitumage du tronçon allant du PK 151+474 au PK 162+195 du lot 2, long de 10,8 kilomètres nous a permis d'aboutir à des résultats permettant d'opter pour des résolutions techniques afin d'assurer une bonne réalisation des ouvrages et des aménagements projetés.

En effet de cette étude, il ressort des propositions concrètes par rapport à la structure de la chaussée qui, quant à elle sera composée d'une couche de base et de fondation de 20 cm de graveleux latéritique naturelle, avec une couche de roulement en enduit superficiel bicouche. Proposition a été aussi faite pour l'aménagement d'un carrefour giratoire et des infrastructures d'assainissement routières, sans oublier aussi la signalisation routière et un réseau d'éclairage public.

De façon globale, 11 dalots ont été calculés dont : 1 dalot 1 x 1 x 1 ; 2 dalots 1 x 1,5 x 1 ; 2 dalots 2 x 1,5 x 1 ; 1 dalot 2 x 2 x 1,5 ; 1 dalot 3 x 2 x 1,5 ; 1 dalot 3 x 2,5 x 1,5 ; 1 dalot 4 x 2 x 1,5.

Pour la collecte et le drainage des eaux de la chaussée des caniveaux de section 80 cm x 80 cm ont été retenus.

Par ailleurs vu l'envergure du projet et les exigences socio-environnementales, le projet s'est vu assigner une notice d'EIES.

Le cout total de notre projet est de ***huit milliards trois cent cinquante-quatre millions neuf cent trente-deux mille six cent soixante-huit FCFA toutes taxes comprises (8 354 932 668 FCFA TTC)***

Cette étude fut bénéfique dans la mesure où elle nous a permis de toucher du bout des doigts les difficultés liées aux études d'aménagement routier. Néanmoins, nous déplorons le fait que nous n'ayons pas pu toucher à certains points essentiels de cette étude tels que la mise en place d'un planning pour l'exécution des travaux, la description des différentes parties prenantes ainsi que la constitution d'un dossier d'appel d'offres pour les entreprises.

Par ailleurs, nous invitons les employés, pendant la phase de construction à, toujours se munir des équipements de protection individuelle pour éviter les accidents et à toujours baliser les chantiers pour avertir les usagers.

Cependant, afin d'assurer la pérennité des ouvrages construits, les mesures suivantes sont à adopter. Des campagnes de sensibilisation sur le strict respect des règles de la circulation routière et des règles en vigueur régissant le transport, sous peine de sanctions graves, des campagnes de sensibilisation sur l'entretien des infrastructures routières.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages et articles

- (1) Adamah MESSAN. Polycopié de cours de Béton armé 1 et 2, 2013.
- (2) Adamah MESSAN. Polycopié de cours de Béton armé 3, 2014.
- (3) Adamah MESSAN. Polycopié de cours d'hydraulique routière partie 2 : ouvrage d'art conception et dimensionnement des petits ouvrages de franchissement routier, 2012.
- (4) Angelbert Chabi BIAOU, Polycopié de cours d'hydraulique routière, 2011.
- (5) Centre Expérimental de la recherche de l'étude du Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP), CEBTP, 1984 ;
- (6) Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques (CERTU), Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines (ICTAVRU), CERTU, 2009 ;
- (7) FAO, Manuel pour l'estimation des crues et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèches, FAO, 1996 ;
- (8) Fascicule n° 61 conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art : titre II. - programmes de charges et épreuves des ponts routes ;
- (9) Harinaivo A. ANDRIANISA. Polycopié de cours d'assainissement pluvial, janvier 2014 ;
- (10) Jean Pierre MOUGUN, BAEL 91 modifié 99, EYROLLES, 2000 ;
- (11) NGUYEN VAN TUU, Hydraulique Routière, Ministère du développement et de la coopération, Janvier 1979, 5-177 ;
- (12) SETRA, Aménagement des routes principales, SETRA, Août 1994, 10-117 ;
- (13) SETRA, Aménagement des Carrefours Interurbains Sur les routes principales Carrefour Plans, SETRA, Décembre 1998, 1-138 ;

Sites internet

- (1) <http://catalogue.setra.fr/documents/Cataloguesetra/0004/Dtrf-0004044/DT4044.pdf>, consulté en mars 2019
- (2) https://www.pedagogie.ac-aix-marseille.fr/upload/docs/application/pdf/2012-07/2_lumiere_urbaine.pdf, consulté en avril 2019
- (3) <http://www.cours-genie-civil.com/etude-geotechnique-routiere/>, consulté en avril 2019

ANNEXES

SOMMAIRE DES ANNEXES

ANNEXE I : CONCEPTION GEOMETRIQUE.....	70
I.1. Axe en plan.....	70
I.2. Profil en long projet.....	73
ANNEXE II : ETUDE GEOTECHNIQUE.....	78
II.1. Extrait du tableau donnant le dimensionnement des chaussées correspondant aux classes de trafic T1 – T2 en fonction du sol support	78
II.2. Vérification des calculs sur alizé Lcpc	79
ANNEXE III : CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT.....	80
III.1. Récapitulatif des débits de projet calculé par la méthode rationnelle.	80
III.2. Récapitulatif des débits de projet calculé par la méthode superficielle de Caquot.....	82
III.3. Récapitulatif des débits calculés par la méthode de ORSTOM.....	83
III.4. Dimensionnement hydraulique du dalot 4x(2,00x1,50)	86
III.5. Dimensionnement hydraulique des caniveaux	88
III.6. Dimensionnement structurale du dalot 4x(2,00x1.50)	89
III.7. Dimensionnement structural des caniveaux de section 80x80cm	118
ANNEXE IV : ETUDE IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL.....	133
IV.1. Grille d'interrelation entre les sources des impacts et les composantes du milieu pendant les différentes phases du projet.....	133
IV.2. Evaluation des impacts environnementaux du projet.....	139
ANNEXE V : ESTIMATION DU COUT DU PROJET	142
ANNEXE VI : PLAN D'AMENAGEMENT ET PLAN D'EXECUTION.....	148

ANNEXE I : CONCEPTION GEOMETRIQUE

I.1. Axe en plan

Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	343.1448gr	680.338	0.000	497826.617	1435683.406
Arc 1	Rayon	-650.000 m	434.534	680.338	497296.630	1436109.989
	Centre X	497704.191 m				
	Centre Y	1436616.343 m				
Droite 2	Gisement	385.7037gr	578.311	1114.872	497070.512	1436471.599
Arc 2	Rayon	900.000 m	136.494	1693.183	496941.732	1437035.389
	Centre X	496064.330 m				
	Centre Y	1436834.975 m				
Droite 3	Gisement	376.0488gr	838.761	1829.677	496901.382	1437165.646
Arc 3	Rayon	-1200.000 m	21.684	2668.438	496593.211	1437945.743
	Centre X	497709.281 m				
	Centre Y	1438386.638 m				
Droite 4	Gisement	377.1991gr	812.926	2690.121	496585.427	1437965.981
Arc 4	Rayon	650.000 m	319.051	3503.047	496300.458	1438727.322

	Centre X	495691.704 m				
	Centre Y	1438499.467 m				
Droite 5	Gisement	345.9508gr	662.093	3822.099	496121.179	1438987.371
Arc 5	Rayon	-1250.000 m	59.597	4484.192	495624.197	1439424.837
	Centre X	496450.111 m				
	Centre Y	1440363.115 m				
Droite 6	Gisement	348.9860gr	469.472	4543.788	495580.418	1439465.266
Arc 6	Rayon	-800.000 m	121.470	5013.261	495243.206	1439791.903
	Centre X	495799.810 m				
	Centre Y	1440366.527 m				
Droite 7	Gisement	358.6523gr	708.327	5134.731	495162.695	1439882.703
Arc 7	Rayon	800.000 m	49.901	5843.058	494734.313	1440446.810
	Centre X	494097.199 m				
	Centre Y	1439962.987 m				
Droite 8	Gisement	354.6813gr	506.289	5892.959	494702.915	1440485.584
Arc 8	Rayon	-700.000 m	241.530	6399.248	494372.183	1440868.919
	Centre X	494902.185 m				

	Centre Y	1441326.191 m				
Droite 9	Gisement	376.6474gr	660.053	6640.778	494248.754	1441075.136
Arc 9	Rayon	-1300.000 m	13.429	7300.831	494012.026	1441691.277
	Centre X	495225.540 m				
	Centre Y	1442157.522 m				
Droite 10	Gisement	377.3051gr	840.079	7314.260	494007.275	1441703.838
Arc 10	Rayon	1300.000 m	32.170	8154.339	493714.097	1442491.098
	Centre X	492495.832 m				
	Centre Y	1442037.414 m				
Droite 11	Gisement	375.7297gr	852.679	8186.509	493702.499	1442521.103
Arc 11	Rayon	1300.000 m	27.793	9039.188	493385.243	1443312.565
	Centre X	492178.577 m				
	Centre Y	1442828.875 m				
Droite 12	Gisement	374.3686gr	849.780	9066.981	493374.627	1443338.250
Arc 12	Rayon	1250.000 m	11.204	9916.761	493041.661	1444120.080
	Centre X	491891.612 m				
	Centre Y	1443630.297 m				

Droite 13	Gisement	373.7980gr	733.636	9927.965	493037.224	1444130.369
Arc 13	Rayon	375.000 m	119.102	10661.601	492743.728	1444802.739
	Centre X	492400.044 m				
	Centre Y	1444652.717 m				
Droite 14	Gisement	353.5786gr	54.416	10780.703	492679.688	1444902.565
				10835.119	492643.432	1444943.145
Longueur totale de l'axe 10835.119 mètre(s)						

I.2. Profil en long projet

Els Caractéristiques			Points de Contacts		
Nom	Pente / Rayon		Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente	-0.37 %	203.011	0.000	287.627
Parabole 1	Rayon	8000.000 m	49.893	203.011	286.869
	Sommet Absc.	232.904 m			
	Sommet Alt.	286.813 m			
Pente 2	Pente	0.25 %	129.916	252.904	286.838
Parabole 2	Rayon	-8000.000 m	36.320	382.820	287.163
	Sommet Absc.	402.820 m			
	Sommet Alt.	287.188 m			

Pente 3	Pente	-0.20 %	54.157	419.140	287.171
Parabole 3	Rayon	25000.000 m	246.703	473.297	287.061
	Sommet Absc.	524.297 m			
	Sommet Alt.	287.009 m			
Pente 4	Pente	0.78 %	184.596	720.000	287.775
Parabole 4	Rayon	-20000.000 m	318.576	904.596	289.220
	Sommet Absc.	1061.159 m			
	Sommet Alt.	289.832 m			
Pente 5	Pente	-0.81 %	126.194	1223.172	289.176
Parabole 5	Rayon	8000.000 m	96.325	1349.366	288.154
	Sommet Absc.	1414.171 m			
	Sommet Alt.	287.892 m			
Pente 6	Pente	0.39 %	113.840	1445.691	287.954
Parabole 6	Rayon	-7000.000 m	61.390	1559.532	288.402
	Sommet Absc.	1587.112 m			
	Sommet Alt.	288.456 m			
Pente 7	Pente	-0.48 %	383.272	1620.922	288.375
Parabole 7	Rayon	27500.189 m	228.252	2004.194	286.524

	Sommet Absc.	2137.020 m			
	Sommet Alt.	286.203 m			
Pente 8	Pente	0.35 %	35.712	2232.446	286.368
Parabole 8	Rayon	-17344.547 m	129.564	2268.158	286.492
	Sommet Absc.	2328.343 m			
	Sommet Alt.	286.597 m			
Pente 9	Pente	-0.40 %	151.244	2397.721	286.458
Parabole 9	Rayon	86003.464 m	549.562	2548.965	285.853
	Sommet Absc.	2892.979 m			
	Sommet Alt.	285.165 m			
Pente 10	Pente	0.24 %	204.137	3098.527	285.411
Parabole 10	Rayon	-66340.430 m	90.223	3302.664	285.899
	Sommet Absc.	3461.218 m			
	Sommet Alt.	286.088 m			
Pente 11	Pente	0.10 %	608.388	3392.887	286.053
Parabole 11	Rayon	45000.000 m	287.277	4001.276	286.679
	Sommet Absc.	3954.926 m			

	Sommet Alt.	286.656 m			
Pente 12	Pente	0.74 %	616.500	4288.553	287.892
Parabole 12	Rayon	-75000.000 m	304.795	4905.053	292.463
	Sommet Absc.	5461.098 m			
	Sommet Alt.	294.524 m			
Pente 13	Pente	0.33 %	523.398	5209.848	294.103
Parabole 13	Rayon	48604.705 m	89.919	5733.246	295.857
	Sommet Absc.	5570.420 m			
	Sommet Alt.	295.584 m			
Pente 14	Pente	0.52 %	468.072	5823.165	296.241
Parabole 14	Rayon	92397.963 m	283.761	6291.237	298.675
	Sommet Absc.	5810.767 m			
	Sommet Alt.	297.426 m			
Elts Caractéristiques			Points de Contacts		
Nom	Pente / Rayon		Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 15	Pente	0.83 %	125.002	6574.997	300.586
Parabole 15	Rayon	-25953.725 m	466.280	6700.000	301.620
	Sommet Absc.	6914.665 m			

	Sommet Alt.	302.508 m			
Pente 16	Pente	-0.97 %	452.239	7166.280	301.288
Cercle 1	Rayon	76000.000 m	908.424	7618.519	296.904
	Sommet Absc.	8355.284 m			
	Sommet Alt.	293.333 m			
Pente 17	Pente	0.23 %	511.577	8526.943	293.527
Cercle 2	Rayon	59150.748 m	188.393	9038.520	294.682
	Sommet Absc.	8904.918 m			
	Sommet Alt.	294.531 m			
Pente 18	Pente	0.54 %	115.039	9226.913	295.408
Cercle 3	Rayon	- 113011.36 7 m	1228.213	9341.952	296.034
	Sommet Absc.	9957.145 m			
	Sommet Alt.	297.708 m			
Pente 19	Pente	-0.54 %	264.954	10570.166	296.046
				10835.119	294.608
Longueur totale de l'axe 10835.119 mètre(s)					
Longueur développée totale de l'axe 10835.247 mètre(s)					

ANNEXE II : ETUDE GEOTECHNIQUE

II.1. Extrait du tableau donnant le dimensionnement des chaussées correspondant aux classes de trafic T1 – T2 en fonction du sol support

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

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

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

Bc : bicouche

Tc : tricouche

B = base

F = fondation

3E : enrobé 3cm

4E : enrobé 4cm

II.2. Vérification des calculs sur alizé Lcpc

Données du trafic.

	TMJA (PL)
DIDYR-TOMA	23
TOMA-SARAN	22
SARAN-TOUGAN	25

Hypothèse de base

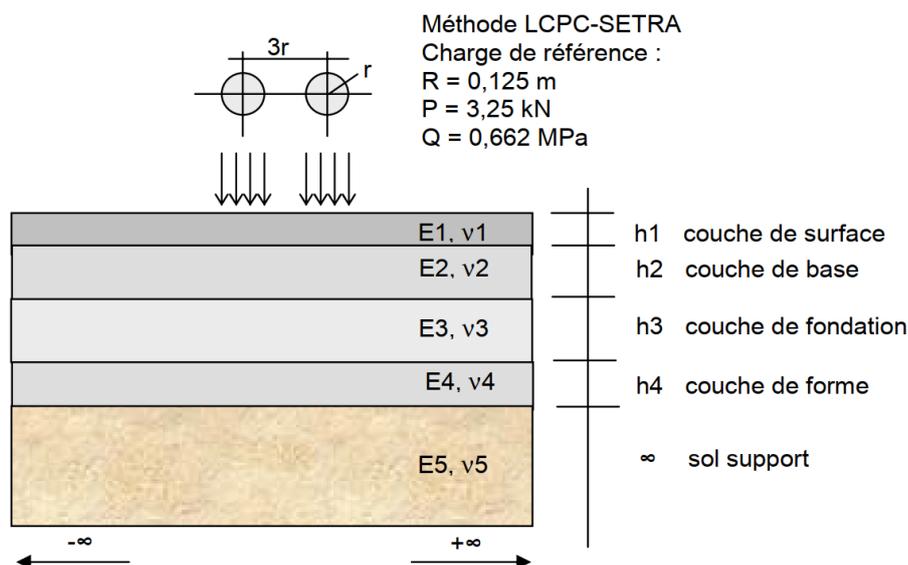
Les paramètres mécaniques à entrer dans le logiciel sont les suivants :

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

❖ Hypothèse de l'étude

Les données du chargement standard considérées sont les suivantes :

- Trafic cumulé $T_c = 7,21 \times 10^5$ PL
- Jumelage standard de 65 kN ;
- Pression verticale : 0,662 MPa ;
- Rayon de contact : 0,125 m ;
- Entraxe jumelage : 0,375 m.



La figure ci-dessus décrit le principe de modélisation sur alizé pour le dimensionnement d'une chaussée.

Après modélisation des différentes variantes, nous avons les sollicitations suivantes selon alizé :

▪ **Variante 1**

C:\...Essai Alizé\Lot2_2.dat							
épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,040	5400,0 collé	0,350	0,000	-204,0	-0,798	-6,7	0,658
			0,040	-201,7	-1,332	269,5	0,553
0,150	400,0 collé	0,350	0,040	-201,7	0,057	1067,0	0,553
			0,190	-224,3	-0,011	542,5	0,220
0,200	400,0 collé	0,350	0,190	-224,3	-0,011	542,5	0,220
			0,390	-194,5	-0,061	296,0	0,084
infini	200,0	0,350	0,390	-194,5	-0,008	427,4	0,084

▪ **Variante 2 :**

C:\...Essai Alizé\Lot2_1.dat							
épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,200	400,0 collé	0,350	0,000	-243,0	-0,050	611,3	0,657
			0,200	-232,9	0,004	614,1	0,259
0,200	400,0 collé	0,350	0,200	-232,9	0,004	614,1	0,259
			0,400	-205,9	-0,061	316,4	0,094
infini	200,0	0,350	0,400	-205,9	-0,005	463,2	0,094

ANNEXE III : CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT

III.1. Récapitulatif des débits de projet calculé par la méthode rationnelle.

❖ *A partir des bassins versants déterminés*

Désignation	Surface [km ²]	ΔH	L écoulement	Tc[Kirpich]	I (mm/h)	C	Q [m ³ /s]
BV9	1,243	21	2229,8	42,21	134,27	0,3	13,768
BV10	0,292	8	1080,9	26,62	161,47	0,3	4,183
BV11	0,152	6	778,5	20,39	179,65	0,3	2,494
BV15	0,291	12	1078,9	22,72	172,02	0,3	4,441
BV16	0,283	10	1064,3	24,00	168,31	0,3	4,234

BV21	0,155	8	787,7	18,50	186,77	0,3	2,652
BV22	0,346	15	1175,9	23,02	171,12	0,3	5,203
BV24	0,476	22	1380,1	23,88	168,62	0,3	6,950
BV27	1,495	21	2445,4	46,94	128,69	0,3	15,726

❖ *A partir de l'emprise de la chaussée*

Désignation		Largeur	Longueur	Surface	Pente	Tc	I	C	Q
Tronçon PT5-1	Droite	6,6	500	0,003	0,018	10,9	3,84	0,95	0,003
	Gauche	4,1	500	0,002	0,018	10,9	3,84	0,95	0,002
Tronçon PT5-1	Droite	6,6	1000	0,006	0,020	17,99	3,14	0,95	0,005
	Gauche	4,1	1000	0,004	0,020	17,99	3,14	0,95	0,003
Tronçon PT3	Droite	6,1	1000	0,006	0,020	17,99	3,14	0,88	0,005
	Gauche	6,1	1000	0,006	0,020	17,99	3,14	0,88	0,004697
Tronçon PT2	Droite	5,1	8100	0,041	0,017	94,68	1,62	0,88	0,016371
	Gauche	5,1	8100	0,041	0,017	94,68	1,62	0,88	0,016371

III.2. Récapitulatif des débits de projet calculé par la méthode superficielle de Caquot

Désignation	DROITE		GAUCHE			
	BV1+BV2		BV3+BV4		BV3+BV4+BV5	BV3+BV4+BV5+BV6
	BV1	BV2	BV3	BV4	BV5	BV6
Surface [Ha]	0,246	17,530	23,470	27,110	9,080	6,250
Seq	17,776		50,580		59,660	65,910
Pente moyenne	0,004	0,015	0,018	0,021	0,016	0,015
Ieq	0,012		0,020		0,014	0,014
L	0,099	0,837	0,969	1,041	0,603	0,500
Leq	0,843		1,422		1,545	1,624
M	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Meq	2,221		2,827		2,826	2,828
C	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700
Ceq	0,700		0,700		0,700	0,700
Q	0,406	28,012	36,740	41,760	14,050	9,590
Qeq	29,135		69,540		100,620	111,060
Q retenue	28,418		69,540		83,590	93,180
m	1,030		1,102		1,102	1,102
Q corrigé [l/s]	29,271		76,633		92,116	102,684
Q corrigé [m ³ /s]	0,02927054		0,07663308		0,09211618	0,10268436

III.3. Récapitulatif des débits calculés par la méthode de ORSTOM

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU BASSIN VERSANT N°19				
Périmètre (km)		P =	49,64	km
Surface (km ²)		S=	51,41	km ²
Pente transversale		It =	1,74	m/km
Indice de compacité	$Ic = 0,282 \times P \times S^{(-0,5)}$	Ic =	1,95	
Longueur du rectangle équivalent	$Leq = S^{(0,5)} \times (Ic/1,128) \times (1+(1+(1,128/Ic)^2)^{(0,5)})$	Leq =	22,54	km
Largeur du rectangle équivalent	$leq = S / Leq$	Leq =	2,28	km
Altitude maximale		Zmax =	326,00	m
Altitude minimale		Zmin =	287,00	m
Altitude à 5% de surface		Z (5%) =	322,50	m
Altitude à 95% de surface		Z (95%) =	299,00	m
Altitude moyenne	$Z \text{ moy} = (Z(5\%)+Z(95\%)) / 2$	Z moy =	310,75	m
Altitude médiane	$Z \text{ méd} = (Zmax + Zmin) / 2$	Z méd =	306,50	m
Indice global de pente	$Ig = (Z(5\%) - Z(95\%)) / Leq$	Ig =	1,04	m/km
CORRECTION DE L'INDICE GLOBAL DE PENTE				
Valeur de n	$Leq < 5\text{km}$	n =	2	
	$5\text{km} < Leq < 25\text{km}$	n =	3	
	$25\text{km} < Leq < 50\text{km}$	n =	4	
	$Leq > 50\text{km}$	n =	5	

		n retenu =	3	
Indice global de pente corrigé	$Ig\ corr = ((n-1) \times Ig + It) / n$	Ig corr =	1,27508	m/km
Vérification si $(It - Ig) / It > 20\%$	It-Ig		0,400795982	
Indice global de pente rétenu	Ig ret = Ig corr si $(It-Ig)/It > 20\%$, sinon Ig ret = Ig	Ig ret =	1,27508	m/km
Pente longitudinale	$I = 0,026 * S^{(-0,5)}$	I =	6,54784	‰
Dénivelée spécifique	$Ds = Ig * S^{(0,5)}$	Ds =	7,47585	m
Type de relief	Si $Ds < 50m$ alors relief faible Si $50m < Ds < 100m$ alors relief modéré Si $Ds > 100m$ alors relief fort		Relief faible	
TYPE DE RESEAU HYDROGRAPHIQUE				
Classe de relief		R =	2	
Indice d'infiltrabilité		I =	RI	
Pluie décennale humide		P10 =	75,6	mm
Pluie centennale humide		P100 =	109	mm
pluie annuelle moyenne		Pan moy =	689	mm
Pluie décennale sèche				
Pluie centennale sèche				
Type de climat			Sahélien	
Coefficient majorateur		m =	1,03	
Coefficient d'abattement	$A = 1 - ((161 - 0,042 \times Pan\ moy) / 1000) \times \log(S)$	A =	0,774032285	
Coefficient de pointe crue décennale		$\alpha_{10} =$	2,6	

CALCUL DU COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT DECENNAL Kr10				
Prenons $I_g = 3$ m/km (car I_g faible et inférieur à 3) pour calculer Kr10 par interpolation		$I_g =$	3	m/km
$I_g = 3$; Infiltrabilité RI et zone sahélienne alors; $a=164$; $b=17$; $c=10,5$ avec $Kr70 = (a / (b + S)) + c$		Kr70	12,897205	
$I_g = 3$; Infiltrabilité RI et zone sahélienne alors; $a=250$; $b=20$; $c=12$ avec $Kr100 = (a / (b + S)) + c$		Kr100	15,500763	
Coefficient de ruissellement decennal	$Kr10 = ((Kr100 - Kr70) / (100 - 70) \times (P10 - 100)) + Kr70$	Kr10 =	13,383203	
CALCUL DU TEMPS DE BASE Tb10				
Prenons $I_g = 3$ m/km (car I_g faible et inférieur à 3) pour calculer Tb10 par interpolation		$I_g =$	3	m/km
$I_g = 3$; $S > 7\text{km}^2$ et zone sahélienne alors $Tb10 = 250 \times S^{(0,35)} + 300$		Tb10 =	Tb10	1292,6943 minutes
CALCUL DU TEMPS DE MONTEE Tm10				
Prenons $I_g = 3$ m/km (car I_g faible et inférieur à 3) pour calculer Tm10 par interpolation		$I_g =$	3	m/km
$I_g = 3$; $S > 7\text{km}^2$ et zone sahélienne alors $Tm10 = 100 \times S^{(0,35)} + 75$		Tm10 =	Tm10	472,078 minutes
CALCUL DES DEBITS DE CRUES				
METHODE ORSTOM				
La pluie moyenne décennale	$Pm10 = A * P10$	Pm10 =	58,517	mm
La lame d'eau ruisselée décennale	$Lr10 = Kr10 * Pm10$	Lr10 =	7,831	mm
Le volume ruisselé décennal	$Vr10 = S * Lr10$	Vr10 =	402637,177	m ³
Le débit moyen de ruissellement	$Qm10 = Vr10 / Tb10$	Qm10 =	5,191	m ³ /s
	$Qr10 = \alpha_{10} * Qm10$		13,497	m ³ /s

Le débit maximum de ruissellement	$Q_{r10} = A * \alpha_{10} * P_{10} * K_{r10} * S / T_{b10}$	$Q_{r10} =$	13,497	
Le débit de pointe (débit de crue décennal)	$Q_{10} = m * Q_{r10}$	$Q_{10} =$	13,902	m ³ /s
Le volume d'écoulement retardé	$V_{ret10} = Q_{r10} * (m-1) * T_{b10}$	$V_{ret10} =$	31405,700	m ³
Le volume total de crue	$V_{c10} = V_{r10} + V_{ret10}$	$V_{c10} =$	434042,877	m ³
CRUE DE PROJET				
Le coefficient C	$C = 1 + ((P_{100} - P_{10}) / P_{10}) * (((T_b / 24)^{0,12}) / K_{r10})$	$C =$	2	
Débit de crue centennal Q ₁₀₀	$Q_{100} = C * Q_{10}$	$Q_{100} =$	27,80	m ³ /s

III.4. Dimensionnement hydraulique du dalot 4x(2,00x1,50)

- La section minimale de l'ouvrage

Soient Q le débit de projet et V la vitesse maximale admissible dans l'ouvrage. On a :

$$Q = S \times V$$

La section minimale de l'ouvrage est donnée par :

$$S_{min} = \frac{Q}{V_{max}} = \frac{6,95}{3} = 2,32 \text{ m}^2$$

- ✓ Pour un dalot, $S_{min} = B \times H$ avec B la base et H la hauteur du dalot ;
- ✓ La vitesse maximale admissible dans les ouvrages est fixée à 3m/s.

- La hauteur H1

La hauteur H1 de l'eau à l'amont de l'ouvrage se calcule à partir de la formule ci-après pour les dalots :

$$Q^* = \frac{q}{B \times D \times \sqrt{2 \times g \times D}}$$

Avec :

Q : le débit d'une ouverture pour les dalots multiples en (m³/s) ;

B : la largeur d'une ouverture en (m) ;

D : la hauteur du dalot (m) ;

g : l'accélération de la pesanteur (m/s²)

$$AN: Q^* = \frac{Q}{B \times D \times \sqrt{2 \times g \times D}} = \frac{6,95}{2 \times 1,5 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 1,5}} = 0,42$$

Connaissant Q*, on lit H* sur l'abaque de la figure 77, page 278, BCEOM et on détermine ensuite H1 à partir de la relation ci-après :

$$H_1^* = 1,03$$

$$H1 = H_1^* \times D = 1,03 \times 1,5 = 1,545 \text{ m}$$

➤ La pente critique Ic

Le calcul de la pente critique pour un dalot a été fait à l'aide de la formule ci-après :

$$Q^* = \frac{Q}{\sqrt{g \times B^5}} = \frac{6,95}{\sqrt{9,81 \times 2^5}} = 0,39$$

De l'abaque des pentes critiques à sortie libre (figure 82 du BCEOM), on lit Ic*, et on détermine Ic la pente critique par la relation :

$$Ic = \frac{g \times Ic^*}{Ks^2 \times D^{\frac{1}{3}}} = \frac{9,81 \times 3,24}{67^2 \times 1,5^{\frac{1}{3}}} = 0,45\%$$

➤ La vitesse critique Vc

Pour le calcul de la vitesse critique, la relation suivante a été utilisée :

$$Q^* = \frac{Q}{Ks \times I^{0,5} \times B^{\frac{8}{3}}} = \frac{6,95}{67 \times 0,0045^{0,5} \times 2^{\frac{8}{3}}} = 0,24$$

De l'abaque des vitesses critiques à sortie libre, figure 84, page 284, on lit : Vc*, et on détermine la vitesse moyenne critique par la relation :

$$Vc = Vc^* \times K \times I^{0,5} \times B^{\frac{2}{3}} = 0,40 \times 67 \times 0,0045^{0,5} \times 2^{\frac{2}{3}} = 2,88 \text{ m/s}$$

$V_c < 3 \text{ m/s} \rightarrow$ notre ouvrage est bien dimensionné.

Les autres ouvrages ont été dimensionnés de la même manière.

Le tableau suivant présente le récapitulatif des calculs de tous les dalots.

N° Bassin		B [m]	H [m]	n	Q [m³/s]	Q/cellule	Q* ₁	H*	H1	Q* ₂	Ic*	Ic	Q* ₃	Vc*	Vc [m/s]
BV29+28	OH1	1	1	1	2,14	2,14	0,48	1,2	1,2	0,68	2,80	0,0085	0,35	0,45	2,79
BV27	OH2	2,5	1,5	3	15,73	5,24	0,26	0,78	1,17	0,17	2,80	0,005	0,10	0,33	2,85
BV24	OH3	2	1,5	2	6,95	3,48	0,21	0,66	0,99	0,19	2,85	0,0055	0,11	0,34	2,67
BV22	OH4	1,5	1	2	5,20	2,60	0,39	1,02	1,02	0,30	3,06	0,006	0,17	0,38	2,59
Bv21	OH5	1,5	1	1	2,65	2,65	0,40	1,02	1,02	0,30	3,08	0,006	0,17	0,38	2,61
BV19	OH6	2	1,5	4	27,80	6,95	0,42	1,03	1,55	0,39	3,24	0,0045	0,24	0,40	2,88
BV16	OH7	1	1	2	4,23	2,12	0,47	1,08	1,08	0,67	3,77	0,0085	0,34	0,45	2,78
BV15	OH8	1,5	1	2	4,44	2,22	0,33	0,9	0,9	0,25	2,98	0,0058	0,15	0,37	2,46
BV11	OH9	1,5	1	1	2,49	2,49	0,37	0,99	0,99	0,29	3,04	0,006	0,16	0,38	2,57
BV10	OH10	1	1	2	4,18	2,09	0,47	1,08	1,08	0,66	3,76	0,0084	0,34	0,45	2,76
BV9	OH11	2	1,5	3	13,77	4,59	0,28	0,81	1,22	0,26	2,98	0,0053	0,15	0,37	2,85

III.5. Dimensionnement hydraulique des caniveaux

Les calculs hydrauliques sont réalisés avec la formule de Manning Strickler.

$$Q = Ks \times \sqrt{I} \times \frac{[y(b+my)]^{\frac{5}{3}}}{[b+2y\sqrt{1+m^2}]^{\frac{2}{3}}}$$

Avec :

Q : débit (m³/s)

Ks : coefficient de Strickler = 70 (caniveau en béton armé)

I : pente du caniveau (m/m)

y : tirant d'eau (m)

b : largeur au plafond du caniveau (m)

S : section mouillée du caniveau (m²)

m : fruit des parois (m= 0 pour une section rectangulaire)

Ainsi pour se faire nous faisons une itération à partir des paramètres que sont :

- ✓ S : La surface mouillée
- ✓ P : Le périmètre mouillé
- ✓ y_n : Le tirant d'eau normal
- ✓ $R_h = \frac{S}{P}$: Le rayon hydraulique
- ✓ $D = K_s \times S \times R_h^{\frac{2}{3}}$: La débitance
- ✓ Q/\sqrt{I}

Ensuite nous fixons une valeur de b, tout en déterminant une valeur du tirant d'eau y_n , pour laquelle la débitance D serait égale à Q/\sqrt{I} .

Le tableau suivant présente les résultats des itérations.

Q (calculé)	Ks	b	y_n	S	P	I	Rh	Débit Manning	V
0,043	70	0,6	0,07	0,04	0,74	0,01	0,06	0,04	1,01
0,113	70	0,6	0,13	0,08	0,86	0,01	0,09	0,11	1,42

Tableau récapitulatif des sections retenues.

Caniveaux	Q [m ³ /s]	Ks	H [m]	b [m]	I [m/m]	V [m/s]	Section (cm x cm)
CN Droite	0,043	70	0,8	0,8	0,01	1,01	80 x 80
CN Gauche	0,113	70	0,8	0,8	0,01	1,42	80 x 80

III.6. Dimensionnement structurale du dalot 4x(2,00x1.50)

Nous choisissons à titre illustratif de dimensionner le dalot de type **4 x (2,00 x 1,50)**.

La même épaisseur sera adoptée pour le tablier, les piédroits et le radier.

- ✓ L'épaisseur sera déterminée par la formule suivante valable pour les ouvrages dont la hauteur du remblais H est inférieure à 2 m.

$$e = \frac{l}{10} - 5\text{cm} \text{ Où } l \text{ désigne la plus grande dimension de la cellule hydraulique.}$$

$$e = \frac{2}{10} + 0.05$$

$$e = 0,15 \text{ m}$$

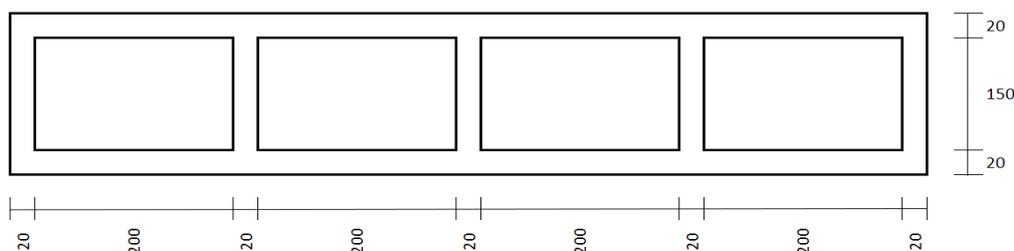
Prenons $e = 0,20 \text{ m}$.

- ✓ Largeur nette de passage de l'eau : **$L = 2 \text{ m}$**
- ✓ Hauteur nette de l'ouverture : **$H = 1,5 \text{ m}$**
- ✓ Longueur du dalot entre guide-roues : **12 m en Hors**
- ✓ Guide-roues en béton armé de section rectangulaire de dimensions **$0,20 \text{ m} \times 0,30 \text{ m}$** délimitant la longueur du dalot de part et d'autre.

❖ **Prédimensionnement du dalot type $4 \times 2 \times 1,5$**

- ✓ Epaisseur de la dalle : $e_d = 0,20 \text{ m}$
- ✓ Epaisseur du radier : $e_r = 0,20 \text{ m}$
- ✓ Epaisseur des voiles : $e_v = 0,20 \text{ m}$
- ✓ Hauteur piédroits : $H = 1,5 \text{ m}$
- ✓ Largeur roulable : $L_r = 12 \text{ m}$
- ✓ Largeur chargeable : $L_c = L_r = 12\text{m}$
- ✓ Portée de la travée : $L = 2 \text{ m}$
- ✓ Ouverture hydraulique : $2 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$
- ✓ Guides roues en béton armé de section : $0,20\text{m} \times 0,3 \text{ m}$

L'ouvrage de franchissement est de première classe car **$L_r > 7 \text{ m}$**



❖ **Méthode de calcul**

Les calculs de ferrailage seront menés suivant les règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites dites règles B.A.E.L 91 modifié 99.

Les ouvrages seront calculés par rapport au convoi de camions de type Bt et à celui du Bc Niger. Une hauteur moyenne de remblais de 0,4 m sera à considérer sur le tablier, pour le calcul des efforts et sollicitations dus aux remblais, avec un poids spécifique de 20 kN/m^3 . Le coefficient de poussée des terres sera pris égal à $k = 0,33$.

❖ Caractéristiques des matériaux et du béton

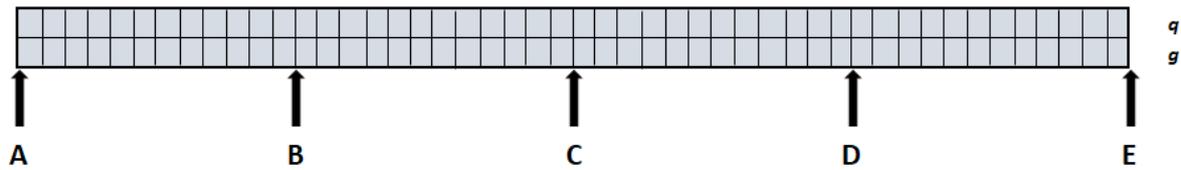
➤ Acier

- ✓ Nuance : Acier à Haute Adhérence Fe E 400
- ✓ Limite d'élasticité garantie $F_e = 400 \text{ MPa}$
- ✓ Contrainte de calcul de l'acier : $F_{su} = F_e / \gamma_s = 400 / 1,15 = 348 \text{ MPa}$ avec $\gamma_s = 1,15$
- ✓ Enrobage = 3 cm
- ✓ Coefficient de fissuration η : $\eta = 1,6$ pour les HA ;
- ✓ Coefficient de scellement ψ_s : $\psi_s = 1,5$ pour HA ;

➤ Béton

- ✓ Poids volumique du béton = 25 KN/m^3 .
- ✓ Fissuration peu préjudiciable.
- ✓ Résistance nominale à 28 j.
 - A la compression $F_{c28} = 25 \text{ MPa}$.
 - A la traction : $F_{t28} = 0,6 + 0,06 \times F_{c28} = 2,1 \text{ MPa}$.
- ✓ Contrainte de calcul : $F_{bu} = (0,85 \times F_{c28}) / \gamma_b = (0,85 \times 25) / 1,50 = 14,17 \text{ MPa}$
 - Avec $\gamma_b = 1,50$.
- ✓ Contrainte limite du béton : $\overline{\sigma}_{bc} = 0,60 \times F_{c28} = 0,60 \times 25 = 15 \text{ MPa}$.

Ci-dessous le schéma équivalent.



✚ Evaluation des charges permanente et surcharges routières

❖ Evaluation des charges permanente

Pour le tablier :

- Poids mort du tablier :

$$P_{tab} = 1 \times 0,2 \times 2,50 = 0,5t/ml$$

- Poids mort du remblai :

$$P_r = 1 \times 0,4 \times 2 = 0,8/ml$$

$$D'où G = 1,3t/m$$

Au niveau du radier :

- Poids mort du radier :

$$P_{rad} = 1 \times 0,2 \times 2,5 = 0,5t$$

- Poids mort des piédroits :

$$P_p = 5 \times 0,2 \times 1,5 \times \frac{2,5}{9}$$

$$g = P_{tab} + P_p + P_{rad} + P_r$$

$$g = 0,8 + 0,5 + 0,5 + 0,42$$

$$g = 2,22t/ml$$

❖ Evaluation des surcharges routières.

I-système BC Niger

Au niveau du tablier

On peut disposer sur une travée files de deux (02) essieux de 13t

- *La charge répartie est :*

$$q1 = \frac{52 \times 1,10}{5 \times 2,20}$$

$$q1 = 5,2t/m^2$$

- *Coefficient de majoration*

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

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 2} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 1,3 \times 2}{5,2 \times 2}}$$

$$\delta = 1,59$$

- *Soit la surcharge uniformément répartie :*

$$q = \delta \times q1$$

$$q = 1,59 \times 5,2$$

$$q = 8,27t/ml$$

Au niveau du radier

On considère aussi deux files de 2 essieux de 13t soit 52t

- *La charge répartie sur le radier :*

$$q1 = \frac{52 \times 1,10}{5 \times 9}$$

$$q1 = 1,27t/m^2$$

- *Calculons le coefficient de majoration*

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

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 2} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 2,22 \times 2}{1,27 \times 2}}$$

$$\delta = 1,30$$

- *La surcharge uniformément répartie :*

$$q = 1,30 \times 1,27$$

$$q = 1,65t/ml$$

II-Système B:

- *Pour le tablier*

$$q1 = \frac{64 \times 1}{6 \times 2,2}$$

$$q1 = 4,85t/m^2$$

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

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 2} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 2,6}{9,7}}$$

$$\delta = 1,58$$

La charge répartie est donc :

$$q = \delta \times q1$$

$$q = 1,58 \times 4,85$$

$$q = 7,66t/ml$$

Pour le radier

On considère deux (2) fils de 2 essieux de 16t soit 64t

$$q1 = \frac{64 \times 1}{6 \times 9}$$

$$q1 = 1,19t/m^2$$

Coefficient de majoration

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

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 2} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 2,22 \times 2}{1,19 \times 2}}$$

$$\delta = 1,36$$

La surcharge répartie

$$q = \delta \times q_1$$

$$q = 1,36 \times 1,19$$

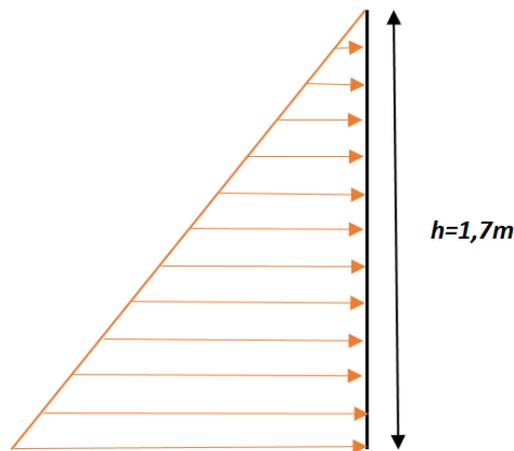
$$q = 1,62 \text{ t/ml}$$

❖ *Sollicitation au niveau des extérieurs A et E*

- *Effort normal sous charge permanente :*

$$R(A) = R(E) = 1,92 \text{ t}$$

- *Calcul du moment dû à la réaction des terres :*



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

$$M = 2 \times 1,7^3 \times \frac{0,33}{6}$$

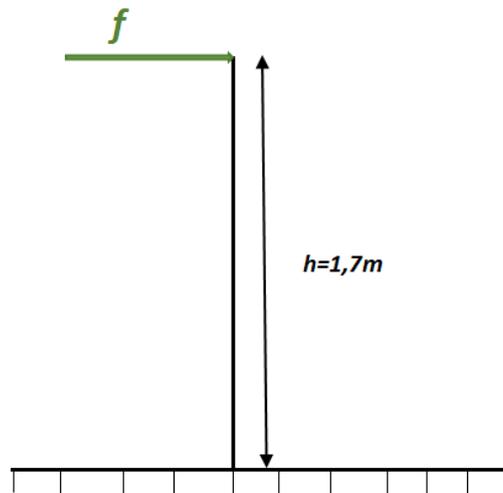
$$M = 0,540 \text{ t.m/ml}$$

- *Effort normal sous surcharge routière*

$$R(A) = R(E) = 7,15 \text{ t}$$

- *Moment dû à la force de freinage*

On repartit l'effort $F=5,2t$ calculé au niveau du tablier sur les deux (2) pénédroits extérieurs d'où $f=2,6t$

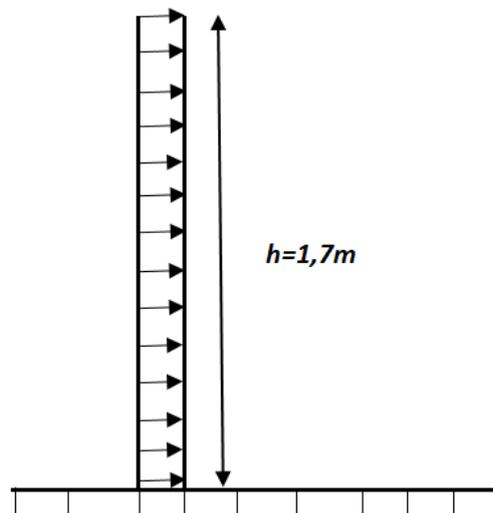


$$M = f \times h$$

$$M = 2,6 \times 1,70$$

$$M = 4,08 \text{ t. m/ml}$$

- Moment du à la surcharge routière de remblai ($\sigma = 1 \text{ t/m}^2$) :



$$M = \sigma \times h^2 \times \frac{K}{2}$$

$$M = 0,5 \times 1,7^2 \times 1 \times 0,33$$

$$M = 0,477 \text{ kN. m/ml}$$

Le tableau suivant donne le récapitulatif des sollicitations engendrer par les charges permanentes et les surcharges routières. Ces sollicitations ont été obtenues après modélisation sur le logiciel Pybar.

PARTIE DE L'OUVRAGE	SOLLICITATIONS	POSITION	CHARGES PERMANENTES	SYSTÈME BC NIGER	SYSTÈME Bt
TABLIER	MOMENT FLECHISSANT [kN.m/ml]	TRAVEE (AB ET DE)	4,86	30,9	28,6
		TRAVEE (BC = CD)	2,29	14,6	13,5
		APPUI C	-4,49	-28,6	-26,5
		APPUI B ET D	-6,94	-42,9	-39,7
RADIER	MOMENT FLECHISSANT [kN.m/ml]	TRAVEE (AB ET DE)	8,29	6,16	6
		TRAVEE (BC = CD)	3,91	2,9	2,85
		APPUI C	-7,71	-5,7	-5,6
		APPUI B ET D	-11,5	-8,6	-8,4
PIEDROITS EXTREMES	MOMENT FLECHISSANT [kN.m/ml]	PIEDROIT A ET E	5,4	4,77	4,77
	EFFORT NORMAL [kN/ml]		19,2	71,5	66,2
PIEDROIT CENTRAL	MOMENT FLECHISSANT [kN.m/ml]	PIEDROIT C	-	-	-
	EFFORT NORMAL [kN/ml]		45,4	168,9	156,5
PIEDROITS INTERMEDIAIRES	MOMENT FLECHISSANT [kN.m/ml]	PIEDROIT B ET D	-	-	-
	EFFORT NORMAL [kN/ml]		55,8	207,9	192,6

Les différentes combinaisons selon les cas de charges sont établies selon le tableau suivant :

<i>ELU</i>	<i>ELS</i>
<i>1,35 G + 1,6 Bc</i>	<i>G + 1,2 Bc</i>
<i>1,35 G + 1,6 Bt</i>	<i>G + 1,2 Bt</i>

De ces cas de combinaisons on retient les sollicitations de calcul suivant :

PARTIE DE L'OUVRAGE	SOLLICITATIONS	POSITION	ELU	ELS
TABLIER	MOMENT FLECHISSANT [kN.m/ml]	TRAVEE (AB ET DE)	56,001	41,9
		TRAVEE (BC = CD)	26,4515	19,8
		APPUI C	-51,8	-38,8
		APPUI B ET D	-77,7	-58,2
RADIER	MOMENT FLECHISSANT [kN.m/ml]	TRAVEE (AB ET DE)	21	15,6
		TRAVEE (BC = CD)	9,9	7,39
		APPUI C	-19,5	-14,5
		APPUI B ET D	-29	-21,8
PIEDROIT EXTREME	MOMENT FLECHISSANT [kN.m/ml]	PIEDROIT A ET E	80,2	60,08
	EFFORT NORMAL [kN/ml]		144,6	105
PIEDROIT CENTRAL	MOMENT FLECHISSANT [kN.m/ml]	PIEDROIT C	-	-
	EFFORT NORMAL [kN/ml]		341,7	248
PIEDROIT INTERMEDIAIRE	MOMENT FLECHISSANT [kN.m/ml]	PIEDROIT B ET D	-	-
	EFFORT NORMAL [kN/ml]		420	305,26

Calcul des armatures

Les armatures du tablier :

❖ *A mi-travée A-B et D-E*

Calcul à l'ELU

$$Mu = 5,6 \text{ t.m} = 56 \text{ kN.m/ml}$$

$$d = 0,9h = 0,9 \times 0,2 = 0,18$$

- *Calculons le moment réduit :*

$$\mu u = \frac{Mu}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{56 \times 10^{-3}}{1 \times 14,17 \times 0,18^2}$$

$\mu u = 0,122$ avec $\mu u < 0,186 \rightarrow$ pivot A donc pas besoin d'acier comprimés

- Calculons le paramètre de déformations.

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu u})$$

$$\alpha_u = 0,163$$

- Calculons le bras de levier

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

$$Z_u = 0,18 \times (1 - 0,4 \times 0,163)$$

$$Z_u = 0,168m$$

- La section théorique d'acier

$$A_u = \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s}$$

$$A_u = \frac{5610^{-3}}{0,168 \times 347,83}$$

$$A_u = 9,58 \text{ Cm}^2$$

Calcul à l'ELS

$$\text{Moment à l'état de service : } M_{ser} = \frac{4,194t}{ml} = 41,94 \text{ kN.m}$$

- Calculons les paramètres de déformations

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

$$\alpha_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63}$$

$$\alpha_{ser} = 0,53$$

$$\overline{\sigma}_{st} = \begin{cases} \rho; & \text{en Fissuration Préjudiciable} \\ 0,8 \times \rho; & \text{en Fissuration Très Préjudiciable} \end{cases}$$

$$\rho = \text{Min} \left[\frac{2}{3} f_e; \max (0,5 \times f_e; 110\sqrt{(\eta \times f_t 28)}) \right]$$

$$2/3 f_e = 266,67; 0,5 \times f_e = 200 \text{ et } 110\sqrt{(\eta \times f_t 28)} = 201,63$$

$$\text{D'où } \rho = 201,63 \text{ MPa}$$

- Fibre neutre

$$y_{ser} = \alpha_{ser} \times d$$

$$y_{ser} = 0,527 \times 0,18$$

$$y_{ser} = 0,095m$$

- Bras de levier

$$Z_{ser} = d - \frac{y_{ser}}{3} ; Z_{ser} = 0,18 - \frac{0,095}{3}$$

$$Z_{ser} = 0,148m$$

- Calcul du moment résistant

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b_0 \times y_{ser} \times \sigma_{bc} \times Z_{ser}$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,095 \times 15 \times 0,148$$

$$M_{serb} = 105,45KN.m$$

$M_{serb} > M_{ser}$ donc on a besoin d'acier comprimés

La section d'acier

$$A_s = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \sigma_{sc}}$$

$$A_s = \frac{41,94 \times 10^{-3}}{0,148 \times 201,66}$$

$$A_s = 14,05 cm^2$$

- Condition de non fragilité

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

$$A_{stmin} = 0,23 \times 0,18 \times 1 \times \frac{2,1}{400}$$

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

$$A_{st} = \text{Max}(A_u ; A_s ; A_{stmin})$$

$$A_{st} = \text{Max}(9,58 ; 14,05 ; 2,17)$$

$$A_{st} = 14,05 cm^2$$

❖ **A mi-travée B-C et C-D :**

Moment ultime $M_u = 2.65 t.m/ml = 26.5 kN.m/ml$

- Calcul du moment réduit

$$\mu_u = \frac{Mu}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{26,5 \times 10^{-3}}{1 \times 14,17 \times 0,18^2}$$

$\mu_u = 0,0577$ avec $\mu_u < 0,186 \rightarrow$ pivot A donc pas besoin d'acier comprimés

- Calcul des paramètres de déformations

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

$$\alpha_u = 0,074$$

- Calcul du bras de levier

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

$$Z_u = 0,18 \times (1 - 0,4 \times 0,074)$$

$$Z_u = 0,175m$$

- Calcul de la section d'acier théorique

$$A_u = \frac{Mu}{Z_u \times \sigma_s}$$

$$A_u = \frac{26,5 \times 10^{-3}}{0,175 \times 347,83}$$

$$A_u = 4,36 \text{ cm}^2$$

ELS

Moment à l'état de service : $M_{ser} = 1,98 \text{ t.m/ml}$

- Condition de Non Fragilité

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

$$A_{stmin} = 0,23 \times 0,18 \times 1 \times \frac{2,1}{400}$$

$$A_{stmin} = 2,17 \text{ cm}^2$$

Fissuration Préjudiciable

$$\sigma_s = \rho = \text{Min}[2/3 f_e ; \text{Max}(0,5 \times f_e ; 110\sqrt{(\eta \times f_{t28})})]$$

$$\sigma_s = \rho = 201,63 \text{ Mpa}$$

- Calcul des paramètres de déformation

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

$$\alpha_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63}$$

$$\alpha_{ser} = 0,527$$

- *Fibre neutre*

$$y_{ser} = \alpha_{ser} \times d$$

$$y_{ser} = 0,527 \times 0,18$$

$$y_{ser} = 0,095m$$

- *Calcul du bras de levier*

$$Z_{ser} = d - \frac{y_{ser}}{3} ; Z_{ser} = 0,18 - \frac{0,095}{3}$$

$$Z_{ser} = 0,148m$$

- *Calcul du moment résistant*

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b_0 \times y_{ser} \times \sigma_{bc} \times Z_{ser}$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,095 \times 15 \times 0,148$$

$$M_{serb} = 105,45 \text{ kN.m}$$

$M_{ser} < M_{serb}$ donc il n'y a pas nécessité d'acier comprimé

$$A_s = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \sigma_{sc}}$$

$$A_{st} = \frac{19,8 \times 10^{-3}}{0,148 \times 201,63}$$

$$A_s = 6,64 \text{ Cm}^2$$

$$A_{st} = \text{Max} [A_u ; A_s ; A_{stmin}]$$

$$A_{st} = \text{Max} [4,26 ; 6,64 ; 2,17]$$

$$A_{st} = 6,64 \text{ Cm}^2$$

Sur appui B et D

Calcul à l'ELU :

Moment ultime : $M_u = 7,77 \text{ t.m/ml} = 77,7 \text{ kN.m/ml}$

- *Calculons le moment réduit*

$$\mu u = \frac{Mu}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{77,7 \times 10^{-3}}{1 \times 14,17 \times 0,18^2}$$

$\mu u = 0,169$ avec $\mu u < 0,186 \rightarrow$ pivot A donc pas besoin d'acier comprimés

- Calcul des paramètres de déformation

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

$$\alpha u = 0,233$$

- Bras de levier

$$Z_u = d \times (1 - 0,4 \alpha u)$$

$$Z_u = 0,18 \times (1 - 0,4 \times 0,233)$$

$$Z_u = 0,163m$$

Calcul de la section d'acier théorique

$$A_u = \frac{Mu}{Z_u \times \sigma_s}$$

$$A_u = \frac{77,7 \times 10^{-3}}{0,163 \times 347,83}$$

$$A_u = 13,69 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'ELS

Moment à l'état de service $M_{\text{ser}} = 5,82 \text{ t.m} = 58,2 \text{ kN.m}$

- Les paramètres de déformations

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

$$\alpha_{\text{ser}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63}$$

$$\alpha_{\text{ser}} = 0,527$$

- Fibre neutre

$$y_{\text{ser}} = \alpha_{\text{ser}} \times d$$

$$y_{\text{ser}} = 0,527 \times 0,18$$

$$y_{\text{ser}} = 0,095m$$

- Bras de levier

$$Z_{\text{ser}} = d - \frac{y_{\text{ser}}}{3}; Z_{\text{ser}} = 0,18 - \frac{0,095}{3}$$

$$Z_{\text{ser}} = 0,148m$$

- Calcul du moment résistant du béton

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b_o \times y_{ser} \times \sigma_{bc} \times Z_{ser}$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,095 \times 15 \times 0,148$$

$$M_{serb} = 105,626 \text{ kN.m}$$

$M_{ser} < M_{serb}$ donc pas besoin d'acier comprimés

- Condition de Non fragilité

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

$$A_{stmin} = 0,23 \times 0,18 \times 1 \times \frac{2,1}{400}$$

$$A_{stmin} = 2,17 \text{ cm}^2$$

$$A_{st} = \text{Max} [A_u ; A_s ; A_{stmin}]$$

$$A_{st} = \text{Max} [19,46 ; 13,69 ; 2,17]$$

$$A_{st} = 19,46 \text{ cm}^2$$

- Sur appui C

Calcul à l'ELU

Moment ultime : $M_u = 5,18 \text{ t.m} = 51,8 \text{ kN.m}$

- Moment réduit

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{51,8 \times 10^{-3}}{1 \times 14,17 \times 0,18^2}$$

$$\mu_u = 0,113$$

- Calcul des paramètres de déformations

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

$$\alpha_u = 0,150$$

- Calcul du bras de levier

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

$$Z_u = 0,18 \times (1 - 0,4 \times 0,15)$$

$$Z_u = 0,169 \text{ m}$$

- Calcul de la section théorique d'acier

$$A_u = \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s}$$

$$Au = \frac{51,8 \times 10^{-3}}{0,169 \times 347,83}$$

$$Au = 8,8 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'ELS

Moment à l'état limite de service :

$$M_{\text{ser}} = 3,881 \text{ t.m/ml} = 38,81 \text{ kN.m/ml}$$

Calcul des paramètres déformation :

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

$$\alpha_{\text{ser}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63}$$

$$\alpha_{\text{ser}} = 0,527$$

Fibre neutre

$$y_{\text{ser}} = \alpha_{\text{ser}} \times d$$

$$y_{\text{ser}} = 0,527 \times 0,18$$

$$y_{\text{ser}} = 0,095 \text{ m}$$

Calcul du bras de levier

$$Z_{\text{ser}} = d - \frac{y_{\text{ser}}}{3} ; Z_{\text{ser}} = 0,18 - \frac{0,095}{3}$$

$$Z_{\text{ser}} = 0,148 \text{ m}$$

- Calcul de la section d'acier

$$A_s = \frac{M_{\text{ser}}}{Z_{\text{ser}} \times \sigma_{sc}}$$

$$A_{st} = \frac{38,81 \times 10^{-3}}{0,148 \times 201,63}$$

$$A_{st} = 12,97 \text{ cm}^2$$

- Condition de Non fragilité

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

$$A_{st\text{min}} = 0,23 \times 0,18 \times 1 \times \frac{2,1}{400}$$

$$A_{st\text{min}} = 2,17 \text{ cm}^2$$

- Calcul du moment résistant

$$M_{\text{ser}b} = \frac{1}{2} \times b_o \times y_{\text{ser}} \times \sigma_{bc} \times Z_{\text{ser}}$$

$$M_{serb} = 0.5 \times 1 \times 0.095 \times 15 \times 0,148$$

$$M_{serb} = 105.45 \text{KN.m} \rightarrow \text{Donc pas besoin d'acier comprimé}$$

$$A_{st} = [\text{Max } A_u ; A_s ; A_{stmin}]$$

$$A_{st} = \text{Max} [8.8 ; 12.97 ; 2.17]$$

$$A_{st} = 12,97 \text{ cm}^2$$

Calcul des armatures du radier

❖ A mi- travée AB et DE

Calcul à l'ELU

Moment ultime : $M_u = 21 \text{ kn.m}$

- Calcul du moment réduit

$$\mu_u = \frac{M_u}{b_0 \times d^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{2,1 \times 10^{-3}}{1 \times 0,18^2 \times 347,83} = 0,0457$$

- Calcul des paramètres de déformations

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 0,0585$$

- Calcul du bras de levier

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

$$Z_u = 0,18 \times (1 - 0,4 \times 0,0585)$$

$$Z_u = 0,1757 \text{m}$$

- La section théorique d'acier

$$A_u = \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s}$$

$$A_u = \frac{21 \times 10^{-3}}{0,1757 \times 347,83}$$

$$A_u = 3,43 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'ELS

Moment à l'état de service : $M_{ser} = 1,56 \text{ t.m} = 15,6 \text{ kN.m}$

- Calcul des paramètres de déformations

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

$$\alpha_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63}$$

$$\alpha_{ser} = 0,527$$

- Fibre neutre :

$$y_{ser} = \alpha_{ser} \times d$$

$$y_{ser} = 0,527 \times 0,18$$

$$y_{ser} = 0,095m$$

Bras de levier :

$$Z_{ser} = d - \frac{y_{ser}}{3} ; Z_{ser} = 0,18 - \frac{0,095}{3}$$

$$Z_{ser} = 0,148m$$

- Calcul du moment résistant

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b_0 \times y_{ser} \times \sigma_{bc} \times Z_{ser}$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,095 \times 15 \times 0,148$$

$$M_{serb} = 105,45 \text{ kN.m}$$

$M_{serb} > M_{ser}$ donc on a besoin d'acier comprimés

- Calcul des sections d'aciers

$$A_s = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \sigma_{sc}}$$

$$A_{st} = \frac{15,6 \times 10^{-3}}{0,148 \times 201,63}$$

$$A_{st} = 5,24 \text{ cm}^2$$

- Condition de Non fragilité

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

$$A_{stmin} = 0,23 \times 0,18 \times 1 \times \frac{2,1}{400}$$

$$A_{stmin} = 2,17 \text{ cm}^2$$

- Calcul du moment résistant du béton :

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b_o \times y_{ser} \times \sigma_{bc} \times Z_{ser}$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,095 \times 15 \times 0,148$$

$$M_{serb} = 105,45 \text{ kN.m}$$

$M_{ser} < M_{serb}$ donc on a besoin d'acier comprimés

$$A_{st} = [\text{Max } A_u ; A_s ; A_{stmin}]$$

$$A_{st} = [\text{Max } 3,43 ; 5,24 ; 2,17]$$

$$A_{st} = 5,24 \text{ cm}^2$$

A mi – travée BC et CD

Calcul à l'état limite ultime

Moment ultime : $M_u = 0,991 \text{ t.m} = 9,91 \text{ kN.m}$

- Calcul du moment réduit

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{9,91 \times 10^{-3}}{1 \times 347,8 \times 0,18^2}$$

$$\mu_u = 0,0216$$

- Calcul des paramètres de déformation

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

$$\alpha_u = 0,0273$$

- Bras de levier

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

$$Z_u = 0,18 \times (1 - 0,4 \times 0,0273)$$

$$Z_u = 0,178 \text{ m}$$

Calcul des sections d'aciers

$$A_u = \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s}$$

$$A_u = \frac{9,91 \times 10^{-3}}{0,178 \times 347,83}$$

$$A_u = 1,6 \text{ cm}^2$$

Moment à l'état de service : $M_{ser} = 4,194 \text{ t/ml} = 41,94 \text{ kN.m}$

Calculons les paramètres de déformations

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

$$\alpha_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63}$$

$$\alpha_{ser} = 0,527$$

- *Fibre neutre :*

$$y_{ser} = \alpha_{ser} \times d$$

$$y_{ser} = 0,527 \times 0,18$$

$$y_{ser} = 0,095m$$

- *Bras de levier :*

$$Z_{ser} = d - \frac{y_{ser}}{3} ; Z_{ser} = 0,18 - \frac{0,095}{3}$$

$$Z_{ser} = 0,148 m$$

- *La section d'acier A_s*

$$A_s = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \sigma_{sc}}$$

$$A_{st} = \frac{7,39 \times 10^{-3}}{0,148 \times 201,63}$$

$$A_{st} = 2,47 \text{ cm}^2$$

- *Condition de Non fragilité*

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

$$A_{stmin} = 0,23 \times 0,18 \times 1 \times \frac{2,1}{400}$$

$$A_{stmin} = 2,17 \text{ cm}^2$$

- *Calcul du moment résistant du béton :*

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b_0 \times y_{ser} \times \sigma_{bc} \times Z_{ser}$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,095 \times 15 \times 0,148$$

$$M_{serb} = 105,63 \text{ kN.m}$$

$M_{ser} < M_{serb}$ donc pas d'acier comprimé

La section d'acier A_{st}

$$Ast = [Max Au ; As ; Astmin]$$

$$Ast = [Max 1,6; 2,47 ; 2,17]$$

$$Ast = 2,47 \text{ cm}^2$$

Sur appui B et D :

Calcul à l'ELU

Moment ultime : $M_u=2,92 \text{ t.m} = 29,2 \text{ kN.m}$

- Calcul du moment réduit

$$\mu u = \frac{Mu}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{29,2 \times 10^{-3}}{1 \times 347,8 \times 0,18^2}$$

$$\mu u = 0,0632$$

- Calcul des paramètres de déformation

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu u})$$

$$\alpha_u = 0,082$$

- Bras de levier :

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

$$Z_u = 0,18 \times (1 - 0,4 \times 0,082)$$

$$Z_u = 0,174 \text{ m}$$

- Calcul des sections d'aciers

$$A_u = \frac{Mu}{Z_u \times \sigma_s} = \frac{19,47 \times 10^{-3}}{0,176 \times 343,83}$$

$$A_u = 3,18 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'ELS

Moment à l'état limite de service : $M_{ser}=14,51 \text{ kN.m}$

- Calcul des paramètres de déformation

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

$$\alpha_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63}$$

$$\alpha_{ser} = 0,527$$

- Fibre neutre :

$$y_{ser} = a_{ser} \times d$$

$$y_{ser} = 0,527 \times 0,18$$

$$y_{ser} = 0,095m$$

- Bras de levier

$$Z_{ser} = d - \frac{y_{ser}}{3} ; Z_{ser} = 0,18 - \frac{0,095}{3}$$

$$Z_{ser} = 0,148m$$

- Section d'acier théorique

$$A_s = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \sigma_{sc}}$$

$$A_{st} = \frac{14,51 \times 10^{-3}}{0,148 \times 201,63}$$

$$A_{st} = 4,85 \text{ cm}^2$$

- Calcul du moment résistant du béton

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b_o \times y_{ser} \times \sigma_{bc} \times Z_{ser}$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,095 \times 15 \times 0,148$$

$$M_{serb} = 105,63 \text{ kN.m}$$

$M_{ser} < M_{serb}$ donc pas besoin d'acier comprimé

- Condition de Non fragilité

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

$$A_{stmin} = 0,23 \times 0,18 \times 1 \times \frac{2,1}{400}$$

$$A_{stmin} = 2,17 \text{ cm}^2$$

- La section d'acier A_{st} est :

Sur Appui C :

A l'ELU :

Moment ultime : $M_u = 1,947 \text{ t.m} = 19,47 \text{ kN.m}$

- *Moment réduit*

$$\mu u = \frac{Mu}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{19.47}{1 \times 347,8 \times 0,18^2}$$

$$\mu u = 0,0424$$

- *Paramètres de déformation*

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu u})$$

$$\alpha_u = 0,0542$$

- *Bras de levier*

$$Z_u = d \times (1 - 0.4 \alpha_u)$$

$$Z_u = 0,18 \times (1 - 0,4 \times 0,0542)$$

$$Z_u = 0,176m$$

- *La section d'acier théorique*

$$A_s = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \sigma_{sc}}$$

$$A_{st} = \frac{19,47 \times 10^{-3}}{0,148 \times 201,63}$$

$$A_{st} = 3,18 \text{ cm}^2$$

A I'ELS

$$M_{ser} = 14,51 \text{ kN.m}$$

- *Paramètres de déformations :*

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

$$\alpha_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63}$$

$$\alpha_{ser} = 0,527$$

- *Fibre neutre*

$$y_{ser} = \alpha_{ser} \times d$$

$$y_{ser} = 0,527 \times 0,18$$

$$y_{ser} = 0,095m$$

Bras de levier :

$$Z_{ser} = d - \frac{y_{ser}}{3} ; Z_{ser} = 0,18 - \frac{0,095}{3}$$

$$Z_{ser} = 0,148m$$

- Section d'acier

$$A_s = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \sigma_{sc}}$$

$$A_{st} = \frac{14,51 \times 10^{-3}}{0,148 \times 201,63}$$

$$A_{st} = 4,85 \text{ Cm}^2$$

- Moment résistant du béton

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b_o \times y_{ser} \times \sigma_{bc} \times Z_{ser}$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,095 \times 15 \times 0,148$$

$$M_{serb} = 105,63 \text{ kN.m}$$

$M_{ser} < M_{serb}$ donc pas besoin d'acier comprimé

- Condition de Non fragilité

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

$$A_{stmin} = 0,23 \times 0,18 \times 1 \times \frac{2,1}{400}$$

$$A_{stmin} = 2,17 \text{ cm}^2$$

La section d'acier A_{st} :

$$A_{st} = \text{Max}(A_u ; A_s ; A_{stmin})$$

$$A_{st} = \text{Max}(3,18 ; 4,85 ; 2,17)$$

$$A_{st} = 4,85 \text{ cm}^2$$

 *Calcul des armatures des piédroits*

Les piédroits seront considérés aux mètres linéaires comme des poteaux de $1 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$.

➤ *Calcul des armatures des piédroits B et D*

$$N_u(B) = N_u(C) = 42,04 \text{ t.m}$$

- *La longueur de flambement*

$$L_f = 0,5 \times H = 0,5 \times 1,5 = 0,75$$

- *Elancement*

$$\lambda = 3,46 \times \frac{L_f}{h} = 3,46 \times \frac{0,75}{0,2} = 12,975$$

$$\text{On a } \lambda \leq 50 \quad \beta = \frac{0,85}{1 + 0,2 \times \frac{\lambda^2}{35^2}} = 0$$

La section réduite du béton :

$$Br = (h - c) \times (b - c) = (0,2 \times 100 - 2) \times (1 \times 100 - 2)$$

$$Br = 1764 \text{ Cm}^2$$

Le béton d'équilibre :

$$Nb = \frac{Br \times f_{bu}}{0,9} = \frac{1764 \times 10^{-4} \times 14,17 \times 10^3}{0,9} = 2776,667 \text{ kN.m}$$

Les aciers d'équilibres :

$$Ns = \frac{k \times \beta \times Nu - Nb}{0,85} = \frac{1,1 \times 0,873 \times 420,4 - 2776,66}{0,85}$$

$$Ns = -2791,52 \text{ kN}$$

$Ns < 0 \rightarrow$ le béton est sur abondant, alors il suffit de prévoir la section minimale

Calcul de la section minimale

$$\text{Périmètre : } u = 2 \times (h + b) = 2 \times (0,2 + 1) = 2,6 \text{ m}$$

$$\text{Aire béton : } B = h \times b = 0,2 \times 1 = 0,2 \text{ m}^2$$

$$A_{min} = \text{Max} \left[\frac{4Cm^2}{m} \times u \times Cm^2; 0,2 \times \frac{B}{100} \right]$$

$$A_{min} = 9,6Cm^2$$

Vérification

$$A_{max} = 5 \times \frac{B}{100} = 5 \times \frac{2000}{100} = 100$$

$$A_{min} < A_{max} \rightarrow ok$$

$$\text{Donc } A_s = 9,6 \text{ cm}^2$$

➤ **Calcul du piédroit central(C)**

$$N_u(C) = 31,17 \text{ t} = 341,7 \text{ kN}$$

Les aciers d'équilibres :

$$N_s = \frac{k \times \beta \times N_u - N_b}{0,85} = \frac{1,1 \times 0,873 \times 341,7 - 2776,66}{0,85}$$

$$N_s = -2880,47 \text{ KN}$$

➤ **Calcul des piédroits A et E**

Calcul à l'ELU

$$M_u = 80,2 \text{ t}$$

$$N_u = 14,46 \text{ t}$$

$$e_a = \max \left[2 \text{ cm}; \frac{H}{250} \right]$$

$$e_a = 2 \text{ cm}$$

$$e_1 = \frac{M_u}{N_u} + e_a = \frac{80,2}{144,6} + 0,02 = 0,57$$

Sollicitation ultimes corrigées pour le flambement :

- Elancement géométrique :

$$l_f = 0,5 \times H = 0,5 \times 1,5 = 0,75$$

Pièce chargée de façon excentré :

$$\frac{l_f}{h} < \max \left\{ \frac{15}{20} \times \frac{e_1}{h} \rightarrow \frac{0,75}{0,2} = 3,75 < 15 \right.$$

Excentricité du deuxième ordre :

$$a = 10 \times \left(1 - \frac{M_u}{1,5 \times M_{ser}} \right) = 10 \times \left(1 - \frac{80,2}{1,5 \times 60,08} \right)$$

$$a = 1,1$$

$$e_2 = \frac{3 \times l_f^2}{h \times 10^4} (2 + a \times \rho) = \frac{3 \times 0,75^2}{0,2 \times 10^4} (2 + 1,1 \times 2)$$

$$e_2 = 0,35 \text{ cm}$$

Sollicitation corrigée pour le calcul en flexion composée :

$$Nu = Ni$$

$$M = Nu (e_2 + e_1)$$

$$e_0 = e_2 + e_1$$

$$Nu = 144,6 \text{ kN}$$

$$M = 83,6 \text{ kN.m}$$

$$e_0 = 0,578 \text{ m}$$

Sollicitation ramenée au centre gravité des aciers tendus

$$e_A = e_0 + \left(d - \frac{h}{2}\right)$$

$$MUA = Nu \times e_A$$

Moment réduit de référence

$$\mu_{BC} = 0,8 \times \frac{h}{d} \times \left(1 - 0,4 \frac{h}{d}\right)$$

$$\mu_{BC} = 0,8 \times \frac{0,2}{0,18} \times \left(1 - 0,4 \frac{0,2}{0,18}\right)$$

$$\mu_{BC} = 0,494$$

Moment réduit agissant

$$\mu_{uA} = \frac{MuA}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{95,17 \times 10^{-3}}{1 \times 347,8 \times 0,18^2}$$

$$\mu_{uA} < \mu_{BC} \rightarrow \text{section partiellement comprimée}$$

Calcul à ELS :

$$N_{ser} = 105 \text{ kN}$$

$$M_{ser} = 60,08 \text{ kN.m}$$

$$e_0 = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} = \frac{60,08}{105} = 0,572$$

Sollicitation ramenée au centre gravité des aciers tendus

$$e_A = e_{0ser} + \left(d - \frac{h}{2}\right) = 0,572 + \left(0,18 - \frac{0,2}{2}\right) = 0,652$$

$$M_{ser} = N_{ser} \times e_A = 105 \times 0,654 = 68,48 \text{ kN.m}$$

Moment réduit

$$\gamma_M = \frac{Mu}{M_{ser}} = \frac{80,2}{60,08} = 1,33$$

$$\mu_{tu} = 3440 \times \theta \times \gamma_M + 49 \times \frac{f_{c28}}{\theta} - 3100$$

$$\mu_{tu} = 3440 \times 1 \times 1,33 + 49 \times \frac{25}{1} - 3100$$

$$\mu_{tu} = 0,271$$

$\mu_{ua} < \mu_{tu}$ pas besoin d'aciers comprimés

Paramètre de déformation

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

$$\alpha_u = 0,294$$

Bras de levier

$$Z_{uA} = d \times (1 - 0,4 \alpha_{uA})$$

$$Z_u = 0,18 \times (1 - 0,4 \times 0,294)$$

$$Z_u = 0,159m$$

$$A = \frac{M_{uA}}{Z_{uA} \times \sigma_s} = \frac{95,17 \times 10^{-3}}{0,159 \times 347,83} = 17,22 \text{ cm}^2$$

La section d'acier théorique

$$A_u = A - \frac{N_u}{\sigma_s} = 17,22 \times 10^{-4} - \frac{10510^{-3}}{347,83}$$

$$A_u = 13,07 \text{ cm}^2$$

La condition de non fragilité

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

$$A_{stmin} = 0,23 \times 0,18 \times 1 \times \frac{2,1}{400}$$

$$A_{stmin} = 2,17 \text{ cm}^2$$

$$A_{st} = \text{Max} (13,07 ; 2,17)$$

$$A_{st} = 13,07 \text{ cm}^2$$

Le tableau ci-dessous montre le récapitulatif des sections d'aciers retenues.

PARTIE DE L'OUVRAGE	POSITION	ΦRETENU	ESPACEMENT
TABLIER	TRAVEE (AB ET DE)	HA16	20
	TRAVEE (BC = CD)	HA12	20
	APPUI C	HA16	20

	APPUI B ET D	HA16	20
	TRANSVERSAL	HA10	25
RADIER	TRAVEE (AB ET DE)	HA12	20
	TRAVEE (BC = CD)	HA10	20
	APPUI C	HA12	20
	APPUI B ET D	HA12	20
	TRANSVERSAL	HA10	25
PIEDROITS EXTREMES	INTERIEUR/EXTERIEUR	HA12/FACE	20
	TRANSVERSAL	HA10	25
PIEDROIT CENTRAL	INTERIEUR/EXTERIEUR	HA12	20
	TRANSVERSAL	HA10	25
PIEDROITS INTERMEDIAIRES	INTERIEUR/EXTERIEUR	HA10	20
	TRANSVERSAL	HA10	25

III.7. Dimensionnement structural des caniveaux de section 80x80cm

Dimensionnement Dalette

Récapitulatif des matériaux :

❖ Acier

- Acier haute adhérence(HA) de nuance FeE400
- Coefficient de sécurité $\gamma_s = 1,15$
- Coefficient d'adhérence $\eta = 1,6$
- Contrainte limite des aciers à l'ELS pour une fissuration préjudiciable :

$$\sigma_s = \min\left(\frac{2}{3} f_e; 110\sqrt{\eta \times f_{t28}}\right) = 201,63 \text{ MPa}$$

- $\sigma_{st} = \frac{f_e}{\gamma_s} = 348 \text{ MPa}$

❖ Béton

- Dosage à 150 kg/m³
- $\gamma_{\text{béton}} = 25 \text{ kN/m}^3$

- Résistance à la compression $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$
- Résistance à la traction à 28 jours
 $f_{t28} = 0,6 + 0,06 \times f_{c28} = 2,1 \text{ MPa}$
- Coefficient de sécurité du béton $\gamma_b = 1,5$
- Résistance de calcul du béton en compression à l'ELU
 $f_{bu} = 0,85 \times \frac{f_{c28}}{\gamma_b} = 14,17 \text{ MPa}$
- Contrainte limite du béton comprimé à l'ELS
 $\sigma_{bc} = 0,6 \times f_{c28}$

❖ *Sol*

- Poids volumiques des terres :
 $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- coefficient de poussée des terres :
 $ka = 0,33.$

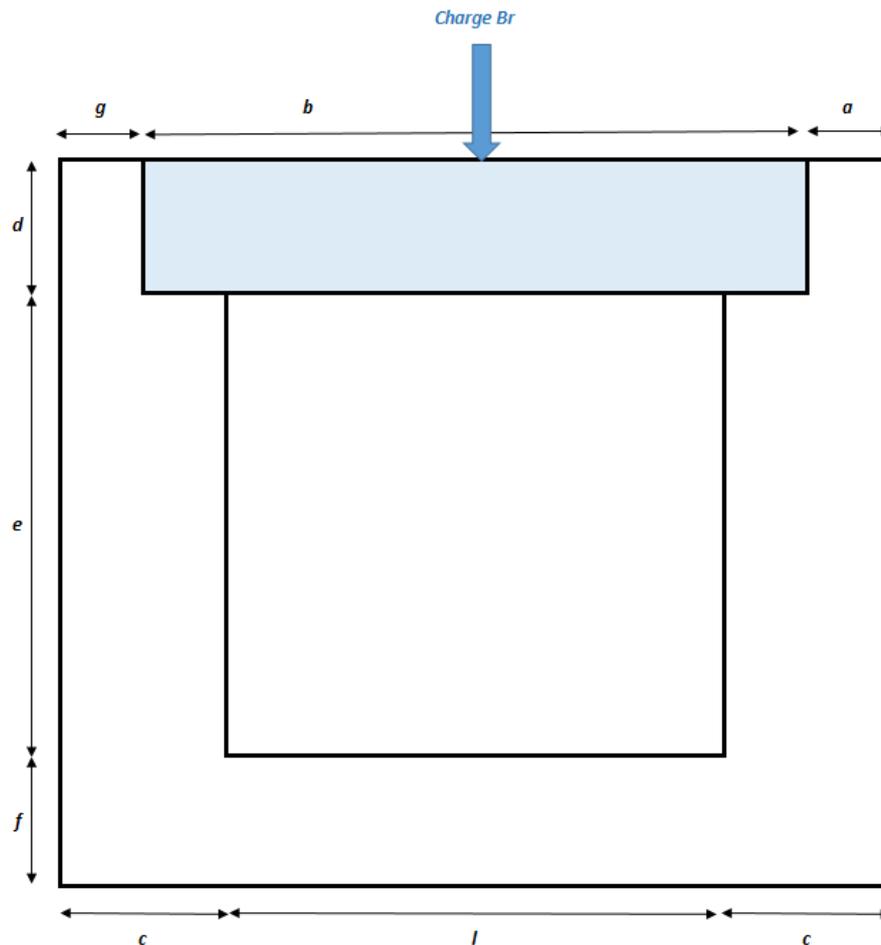


Schéma illustratif du caniveau

Les données :

$$a = 0,08m$$

$$b = 0,93m$$

$$c = 0,15m$$

$$d = 0,15m$$

$$e = 0,8m$$

$$l = 0,8m$$

$$g = 0,07m$$

❖ *Calcul du poids propre de la Dalette :*

$$Pd = \gamma b \times 1 \times b$$

$$Pd = 0,15 \times 25 \times 1$$

$$Pd = 3,75kN/ml$$

❖ *Charge Br :*

$$Br = 100 \times 1m$$

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

ELU

$$Pud = 1,35 \times 3,75 = 5,06 \text{ kN/ml}$$

$$PuBr = 1,5 \times 100 = 150 \text{ kN/ml}$$

$$Mu = \frac{Pud \times l^2}{8} + \frac{PuBr \times l}{4}$$

$$Mu = \frac{5,06 \times 0,93^2}{8} + \frac{150 \times 0,93}{4}$$

$$Mu = 35,42 \text{ kN.m/ml}$$

ELS

$$Pserd = 1 \times 3,75 = 3,75 \text{ kN/ml}$$

$$PserBr = 1 \times 100 = 100 \text{ kN/ml}$$

$$Mser = \frac{PserU \times l^2}{8} + \frac{Pser \times l}{4}$$

$$Mser = \frac{3,75 \times 0,93^2}{8} + \frac{100 \times 0,93}{4}$$

$$Mser = 23,66 \text{ kN.m/ml}$$

Récapitulatifs des sollicitations de calcul.

SOLLICITATION	DALLETTE		PIEDROIT		RADIER	
	ELU	ELS	ELU	ELS	ELU	ELS
MOMENT FLECHISSANT [kN.m]	35,42	23,66	1,21	0,896	6,41	4,75
EFFORT TRANCHANT [kN/m]	77,5	51,9	-	-	17,2	12,7
EFFORT NORMAL [kN/m]	-	-	79,03	55,44	-	-

Calcul à l'ELU

❖ *Moment réduit : $d = 0,9 h$*

$$\mu u = \frac{Mu}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{35,42 \times 10^{-3}}{1 \times 14,17 \times 0,135^2}$$

$\mu u = 0,137$ avec $\mu u < 0,186 \rightarrow$ Pivot A alors pas besoin d'acier comprimés

❖ *Paramètre de déformations :*

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu u})$$

$$\alpha_u = 1,25 * (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,137})$$

$$\alpha_u = 0,185$$

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

$$Z_u = 0,135 \times (1 - 0,4 \times 0,185)$$

$$Z_u = 0,125$$

❖ *Section théorique d'acier*

$$A_{st} = \frac{Mu}{z \times \sigma_s}$$

$$A_{st} = \frac{35,42 \times 10^{-3} \times 10^4}{0,125 \times 348}$$

$$A_{st} = 8,05 \text{ cm}^2$$

❖ *Condition de non fragilité*

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

$$A_{stmin} = 0,23 \times 0,135 \times 1 \times \frac{2,1}{400}$$

$$A_{stmin} = 1,63 \text{ cm}^2$$

$$A_{st} > A_{stmin} \rightarrow OK$$

$$A_{st} = 8,05 \text{ cm}^2/ml$$

Calcul à l'ELS

$$M_{ser} = 23,66 \text{ kN/m}$$

❖ *Paramètre de déformation*

$$\sigma_s = \min\left(\frac{2}{3}fe; 110\sqrt{\eta \times ft_{28}}\right) = 201.63 \text{ MPa}$$

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

$$\alpha_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63}$$

$$\alpha_{ser} = 0,53$$

❖ *Fibre neutre*

$$y_{ser} = \alpha_{ser} \times d$$

$$y_{ser} = 0,53 \times 0,135$$

$$y_{ser} = 0,072m$$

$$Z_{ser} = d - \frac{y_{ser}}{3} ; Z_{ser} = 0,135 - \frac{0,072}{3}$$

$$Z_{ser} = 0,1m$$

❖ *Moment résistant*

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b_0 \times y_{ser} \times \sigma_{bc} \times Z_{ser}$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,072 \times 15 \times 0,1$$

$$M_{serb} = 54 \text{ kN.m/ml}$$

$M_{ser} < M_{serb}$ donc on a besoin d'acier comprimés

❖ *Calcul des sections d'aciers :*

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \sigma_{sc}}$$

$$A_{st} = \frac{23,66}{0,1 \times 201,66}$$

$$A_{st} = 11,73 \text{ cm}^2$$

❖ *Condition de non fragilité*

$$A_{stmin} = \frac{0.23 \times b \times d \times ft_{28}}{fe}$$

$$A_{stmin} = 0,23 \times 0,135 \times 1 \times \frac{2,1}{400}$$

$$A_{stmin} = 1,63 \text{ cm}^2$$

Ast > Astmin donc OK

$$Ast = 11,73 \text{ cm}^2$$

$$Ast = \text{Max}[Ast \text{ ELU} ; Ast \text{ ELS}] = \text{Max} [8,05 \text{ cm}^2; 11,73 \text{ cm}^2]$$

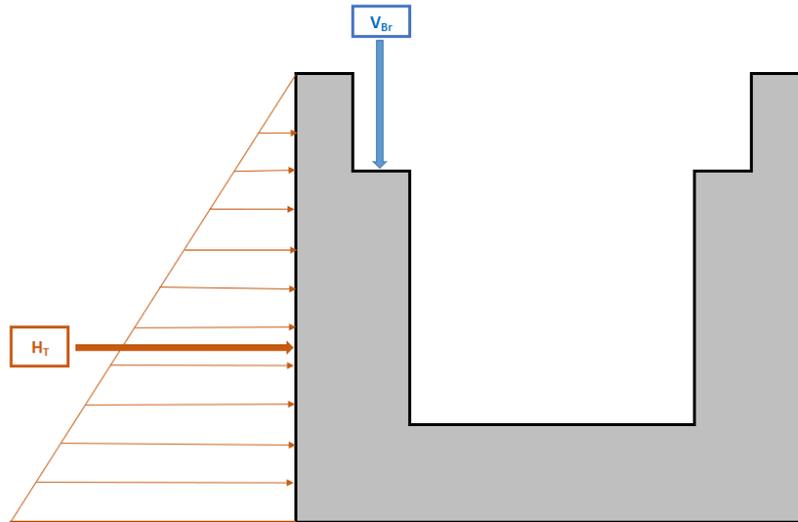
Ast = 11,73 Cm² ; Notre dalette a une largeur de 0,5 m

$$Ast = 11,73/2$$

$$Ast = 5,87 \text{ cm}^2$$

Choix des aciers : 6HA12 = 6,79 cm² avec un espacement de 8cm

Dimensionnement du piédroit



❖ *Poids propre de la Dalette*

$$Pd = b \times \gamma_b \times 0,5 \times 1m$$

$$Pd = 0,15 \times 25 \times 0,5 \times 1m$$

$$Pd = 1,880 \text{ kN/ml}$$

❖ *Charge : V_{br}*

$$V_{br} = 100 \times 0,5 \times 1$$

$$V_{br} = 50 \text{ kN/ml}$$

❖ *Poussée des terres H_t*

$$H_t = \gamma \times k_a \times \frac{(d + e)^2}{2} \times 1$$

$$H_t = 20 \times 0,33 \times \frac{(0,8 + 0,15)^2}{2} \times 1$$

$$H_t = 2,98 \text{ kN/ml}$$

Combinaison des charges

ELU

$$Nu = 1,35 \times (Pd + Ppd) + 1,5 V_{br}$$

$$Nu = 1,35 \times (1,880 + 0,15 \times 0,95 \times 25) + 1,5 V_{br}$$

$$Nu = 79,03 \text{ kN/ml}$$

$$Pu = 1,35 \times Ht$$

$$Pu = 1,35 \times 2,98$$

$$Pu = 4,02 \text{ kN/ml}$$

$$Mu = \frac{Pu \times (l)^2}{3}$$

$$Mu = \frac{4,02 \times (0,95)^2}{3}$$

$$Mu = 1,21 \text{ kN.m/ml}$$

ELS

$$Nser = Vbr + Pd + Ppd$$

$$Nser = 50 + 1,88 + 3,56$$

$$Nser = 55,44 \text{ kN/ml}$$

$$Pser = Ht$$

$$Pser = 2,98 \text{ kN/ml}$$

$$Mser = \frac{Pser \times (l)^3}{3}$$

$$Mser = \frac{2,98 \times (0,95)^3}{3}$$

$$Mser = \frac{2,98 \times (0,95)^3}{3}$$

$$Mser = 0,896 \text{ kN.m/ml}$$

Calcul à l'ELU

$$Mu = 1,21 \text{ kN.m/ml}$$

$$Nu = 79,03 \text{ kN.m/ml}$$

$$ea = \text{Max} [2 \text{ cm} ; H/250] \rightarrow ea = 2 \text{ cm}$$

$$e1 = \frac{Mu}{Nu} + ea = \frac{1,21}{79,03} + 0,02$$

$$e1 = 3,5 \text{ cm}$$

❖ Sollicitation ultimes corrigé pour le flambement :

- *Elancement géométrique*

$$Lf = 0,5 \times lo$$

$$Lf = 0,5 \times 0,95$$

$$L_f = 0,45$$

- Pièce chargée de façon excentré

$$l_f/h < \text{Max} [15 ; 20 \times e_1/h] \quad 0,45/0,15 = 3 < \text{Max} [15 ; 4,66]$$

$$l_f/h < 15$$

- Excentricité du deuxième ordre :

$$a = 10 \left(1 - \frac{Mu}{1,5 \times M_{ser}} \right)$$

$$a = 10 \left(1 - \frac{1,21}{1,5 \times 0,896} \right)$$

$$a = 0,99$$

$$e_2 = \frac{3 \times l_f^2}{h \times 10^4} (2 + a\rho) ; \text{ avec } \rho = 2$$

$$e_2 = \frac{3 \times (0,35)^2}{0,15 \times 10^4} (2 + 2 \times 0,99)$$

$$e_2 = 1 \text{ cm}$$

- Sollicitations corrigées pour le calcul en flexion composé

$$Nu = Ni \text{ avec } Nu = 79,03 \text{ kN/ml}$$

$$M = Nu \times (e_1 + e_2) \rightarrow M = 79,03 \times (0,035 + 0,001)$$

$$e_0 = e_1 + e_2 = 0,035 + 0,001$$

$$Nu = 79,03 \text{ kN/ml}$$

$$M = 2,85 \text{ kN.m}$$

$$e_0 = 0,0365 \text{ m}$$

- Sollicitation ramenée au centre de gravité des aciers tendus :

$$e_A = e_0 + \left(d - \frac{h}{2} \right) \rightarrow e_A = 0,095$$

$$M_{\mu A} = Nu \times e_A \rightarrow M_{\mu A} = 7,5 \text{ kN.m}$$

- Moment réduit de référence à l'ELU

$$\mu_{BC} = 0,8 \times \frac{h}{d} \times \left(1 - 0,4 \frac{h}{d} \right)$$

$$\mu_{BC} = 0,8 \times \frac{0,15}{0,135} \times \left(1 - 0,4 \frac{0,15}{0,135}\right)$$

$$\mu_{BC} = 0,494$$

❖ *Moment réduit agissant*

$$\mu_{\mu A} = \frac{M_{ua}}{b_0 \times f_{bu} \times d^2}$$

$$\mu_{\mu A} = \frac{7,5 \times 10^{-3}}{1 \times 14,17 \times 0,135^2}$$

$$\mu_{\mu A} = 0,029$$

$\mu_{\mu A} < \mu_{BC}$; Alors la section est partiellement comprimée

Calcul à l'ELS

$$N_{ser} = 55,44 \text{ KN.m}$$

$$M_{ser} = 0,896 \text{ KN.m}$$

$$e_{ser} = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} = 0,016$$

- Sollicitation ramenée au centre gravité des aciers tendus

$$e_A = e_{oser} + \left(d - \frac{h}{2}\right)$$

$$M_{serA} = N_{ser} \times e_A$$

$$e_A = 0,016 + \left(0,135 - \frac{0,15}{2}\right) = 0,08$$

$$M_{serA} = 55,44 \times 0,08 = 4,21 \text{ kN.m}$$

❖ *Moment réduit*

$$\gamma_M = \frac{M_u}{M_{ser}} ; \gamma_M = \frac{1,21}{0,896}$$

$$\gamma_M = 1,35$$

$$10^4 \mu_{tu} = 3440 \times \theta \times \gamma_M + 49 \times \frac{f_{c28}}{\theta} - 3100$$

$$10^4 \mu_{tu} = 3440 \times 1,35 + 49 \times 25 - 3100$$

$$\mu_{tu} = 0,277 ; \mu_{\mu A} < \mu_{tu} \rightarrow \text{Alors la section est partiellement comprimée}$$

- Paramètre de déformation

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

$$\alpha uA = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,029})$$

$$\alpha uA = 0,037$$

- Bras de levier

$$ZuA = d \times (1 - 0,4 \alpha uA)$$

$$ZuA = 0,135 \times (1 - 0,4 \times 0,037)$$

$$ZuA = 0,133m$$

$$A = \frac{7,5 \times 10^{-3}}{0,133 \times 348}$$

$$Ast = 1,62 \text{ cm}^2$$

- Section théorique d'acier

$$Au = A - \frac{Nu}{\sigma s}$$

$$Au = 1,62 - \frac{79,03 \times 10}{348}$$

$$Au = 0,65 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité de la section

$$Amin = \frac{0,23 \times b \times d \times ft28}{fe}$$

$$Amin = 0,23 \times 0,135 \times 1 \times \frac{2,1}{400}$$

$$Amin = 1,63 \text{ cm}^2$$

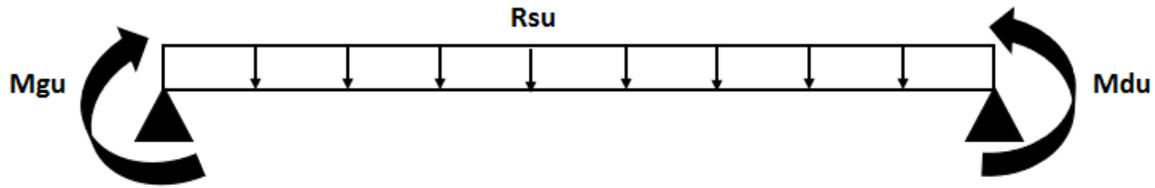
$Au < Amin \rightarrow$ Alors nous considérons la valeur de $Amin = 1,63 \text{ Cm}^2$

D'où $Ast = 1,63 \text{ Cm}^2$

Choix : 5H10 espacement 15 cm

 Dimensionnement du RADIÉ

Ci-dessous le schéma illustrant les sollicitations du radier



Charges à considérer :

→ *Poids propre des piédroits*

→ *Poids propre du radier*

- *Poids propre des piédroits :*

$$Ppd = \gamma_b \times ((e + d) \times c - g \times d) \times \frac{1}{(2 \times C + l)}$$

$$Ppd = 25 \times ((0,8 + 0,15) \times 0,15 - 0,07 \times 0,15) \times \frac{1}{(2 \times 0,17 + 0,8)}$$

$$Ppd = 21,35 \text{ kN/ml}$$

- *Poids propre du radier :*

$$Pr = \gamma_b \times (l + 2 \times c) \times d \times 1$$

$$Pr = 25 \times (0,8 + 2 \times 0,15) \times 0,15 \times 1$$

$$Pr = 4,125 \text{ kN/ml}$$

ELU

$$Mgu = Mdu = 1,21 \text{ kN.m/ml}$$

$$Pu = 1,35 \times (21,35 + 4,125)$$

$$Pu = 34,39 \text{ kN/ml}$$

$$Mu = \frac{34,39 \times 1,1^2}{8} + 1,21$$

$$Mu = 6,41 \text{ kN.m}$$

ELS

$$Pser = 21,35 + 4,125$$

$$Pser = 25,46 \text{ kN.ml}$$

$$Mser = = \frac{Pser \times (l)^2}{8} + Mserg$$

$$M_{ser} = \frac{25,46 \times (1,1)^2}{8} + 0,896$$

$$M_{ser} = 4,750 \text{ kN.m}$$

Calcul à l'ELU

$$\mu u = \frac{Mu}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{6,4110^{-3}}{1 \times 14,17 \times 0,135^2}$$

$$\mu u = 0,0250 \text{ avec } \mu u < 0,186 \rightarrow \text{pivot A donc pas d'acier comprimés}$$

- Paramètre de déformations :

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

$$\alpha u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,0132})$$

$$\alpha u A = 0,032$$

$$Z_u = d \times (1 - 0,4 \alpha u)$$

$$Z_u = 0,135 \times (1 - 0,4 \times 0,0166)$$

$$Z_u = 0,130 \text{ m}$$

$$A_{st} = \frac{Mu}{Z_u \times \sigma_s}$$

$$A_{st} = \frac{6,41 \times 10^{-3}}{0,134 \times 347,83}$$

$$A_{st} = 1,42 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité : CNF

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

$$A_{stmin} = 0,23 \times 0,135 \times 1 \times \frac{2,1}{400}$$

$$A_{stmin} = 1,63 \text{ cm}^2$$

$$A_u = \text{Max}[A_{st} ; A_{stmin}]$$

Calcul à l'ELS

$$M_{ser} = 4,75 \text{ kN.m}$$

Nous travaillerons en fissuration préjudiciable

$$\sigma_s = \min\left(\frac{2}{3}f_e; 110\sqrt{\eta \times f_{t28}}\right) = 201,63 \text{ MPa}$$

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

$$\alpha_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63}$$

$$\alpha_{ser} = 0,53$$

- *Fibre neutre*

$$y_{ser} = \alpha_{ser} \times d$$

$$y_{ser} = 0,53 \times 0,135$$

$$y_{ser} = 0,07 \text{ m}$$

$$Z_{ser} = d - \frac{y_{ser}}{3}; Z_{ser} = 0,135 - \frac{0,07}{3}$$

$$Z_{ser} = 0,11 \text{ m}$$

- *Calcul du moment résistant*

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b_o \times y_{ser} \times \sigma_{bc} \times Z_{ser}$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,072 \times 15 \times 0,1$$

$$M_{serb} = 54 \text{ kN.m/ml}$$

$M_{ser} < M_{serb}$ ce qui veut dire qu'on n'a pas besoin d'acier comprimés

- *Calcul de la section d'acier correspondante*

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \sigma_{st}}$$

$$A_{st} = \frac{4,75 \times 10^{-3}}{0,11 \times 201,63}$$

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

❖ *Condition de non fragilité*

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

$$A_{st} = \max[A_{uELU}; A_{stELS}]$$

$$A_{st} = \max [1,63; 2,14]$$

$$A_{st} = 2,14 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Ci-dessous, dans le tableau qui suit, nous avons le récapitulatif des sections d'aciers retenues pour les différents éléments du caniveau.

FERRAILLAGE CANIVEAU 80X80			
PARTIE DE L'OUVRAGE	POSITION	F RETENU	ESPACEMENT
DALETTE DE 50 CM DE LARGEUR	INFERIEUR	HA12	8 cm
	SUPERIEUR	HA8	8 cm
	TRANSVERSAL	HA8	20 cm
PIEDROITS	PRINCIPAL	HA10	15 cm
	TRANSVERSAL	HA8	20 cm
RADIER	PRINCIPAL	HA10	15 cm
	TRANSVERSAL	HA8	20 cm

ANNEXE IV : ETUDE IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

IV.1. Grille d'interrelation entre les sources des impacts et les composantes du milieu pendant les différentes phases du projet

		<i>Milieu physique et biologique</i>				<i>Milieu humain</i>														
		<i>Micro climat et qualité de l'air</i>	<i>Eaux surface</i>	<i>Eaux souterraine</i>	<i>Sols</i>	<i>Végétation zone sensibles</i>	<i>Faune sauvage et habitats</i>	<i>Santé publique sécurité</i>	<i>Ambiance sonore et nuisances</i>	<i>Ressources Naturelles</i>	<i>Emploi</i>	<i>Circulation et mobilité urbaine</i>	<i>Activités économiques</i>	<i>Artisanat Tourisme</i>	<i>Patrimoine culturel, historique et archéologique</i>	<i>Activités économiques</i>	<i>Destruction de biens et déplacement involontaire</i>	<i>Paysage</i>	<i>Condition, qualité de vie et biens être</i>	
Phase des travaux		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
	<i>Libération des emprises</i>	A														N	N	N	N	
	<i>Installation des chantiers et bases-vie</i>	B	N	O	O	N	N	O	N	N	N	P	O	P	O	N	P	N	N	0
	<i>Transport et circulation main d'œuvre, machinerie et matériaux</i>	C	N	O	O	N	N	N	N	N	N	P	O	P	O		P	N	N	N

	<i>Déboisement et débroussaillage</i>	D	O	N	N	N	N	N	0	N	N	P	O	O	O	N	P	N	N	P/N
	<i>Dépôt du tout-venant et des déchets</i>	E	N	O	O	N	N	N	N	N	N	O	O	O	O	N	N	N	N	N
	<i>Exploitation de zones d'emprunt de matériaux</i>	F	N	O	O	N	N	N/P	N	N	N	P	N	0	O	N	P	N	N	N
	<i>Travaux de terrassement</i>	G	N	N	O	N	N	N	N	N	N	0	N	P	O	N	P	N	N	0

<i>Préparation du bitume et imprégnation de la plateforme</i>	H	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	P	O	P	O		P	N	N	P
<i>Exécution de l'enduit bitumineux</i>	I	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	P	O	P	O		P	N	N	P
<i>Construction d'ouvrage de franchissement</i>	J	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	P	N	O	O	N	P	N	N	O
<i>Construction des ouvrages connexes</i>	K	N	N/P	O	N	N	N	N	N	N	N	P	N	O	O	N	P	N	N	O
<i>Pose de la signalisation</i>	L	O	N	N	N	N	N	N	N	O	N	P	P	O	O	O	O	O	O	O

	<i>verticale et horizontale</i>																				
	<i>Présence de main d'œuvre</i>	M	O	N	N	O	N	N	N	0	N	P	O	P	P	N/P	N/P	0	0	N	
	<i>Plantation d'arbres</i>	N	O	0	O	N	P	P	0	0	P	P	O	P	0		P	N	P	P	
Phase d'exploitation	<i>Repli du chantier</i>	P	N	N	N	N	0	N	N	N	N	N/P	N	N/P	N/P	O	0	O	0	0	
	<i>Gestion de l'entretien</i>	Q								O		P	P	P	P	O	P				
	<i>Entretien courant ou périodique du tronçon</i>	R	N	N	O	N	O	O	N	N/P	N	P	N	0	O	N	P			O	N/P

	<i>Présence de la route aménagée et infrastructures d'accompagnement</i>	S	N/P	N	N	N	O	N	N/P	N/P	N	P	N/P	N/P	P	N/P	P		N	N/P
--	--	---	-----	---	---	---	---	---	-----	-----	---	---	-----	-----	---	-----	---	--	---	-----

IV.2. Evaluation des impacts environnementaux du projet.

<i>Composante environnementale</i>	<i>Impact</i>	<i>Critères</i>	<i>Importance</i>
<i>Ecosystèmes</i>	Destruction de plusieurs écosystèmes	Nature : Négative	<i>Majeure</i>
		Intensité : Forte	
		Etendue : Locale	
		Durée : Permanente	
<i>Végétation ligneuse</i>	Abattage de quelques arbres dans l'emprise de la route, des zones d'emprunt et des carrières, de la base-vie, des zones de dépôts des matériaux et déviations temporaires Exploitations anarchiques pour les revenus	Nature : Négative	<i>Moyenne à majeure</i>
		Intensité : Forte	
		Etendue : Locale	
		Durée : Courte à Longue	
<i>Végétation herbacée</i>	Destruction de végétations herbacées dans l'emprise de la route, des zones d'emprunt et des carrières, de la base-vie, des zones de dépôts des matériaux et des déviations temporaires	Nature : Négative	<i>Moyenne à majeure</i>
		Intensité : Forte	
		Etendue : Locale	
		Durée : Courte à Longue	

<i>Composante environnementale</i>	<i>Impact</i>	<i>Critères</i>	<i>Importance</i>
<i>Santé publique</i>	Risques de maladies respiratoires chez les riverains Risques de contamination par les IST, le VIH/SIDA liées au brassage de populations Risques de grossesses non-désirées	Nature : Négative	<i>Majeure</i>
		Intensité : Forte	
		Etendue : Locale	
		Durée : Longue	
<i>Sécurité</i>	Risques d'accidents pendant les travaux et exploitation (excès de vitesses et des stationnements hasardeux)	Nature : Négative	<i>Majeure</i>
		Intensité : Forte	
		Etendue : Locale	
		Durée : Longue	
	Facilitation de la circulation et des évacuations sanitaires vers les centres mieux équipés	Nature : Positive	<i>Majeure</i>
		Intensité : Forte	
		Etendue : Locale	
		Durée : Longue	

<i>Composante environnementale</i>	<i>Impact</i>	<i>Critères</i>	<i>Importance</i>
<i>Ressources naturelles</i>	Destruction, pollution, tassement de ressources naturelles (végétation, faunes, microfaune, eau et sols)	Nature : Négative	<i>Moyenne</i>
		Intensité : Forte	
		Etendue : Ponctuelle	
		Durée : Longue	

<i>Composante environnementale</i>	<i>Impact</i>	<i>Critères</i>	<i>Importance</i>
<i>Réserves naturelles</i>	Empiètement et destruction de réserves naturelles	Nature : Négative	Nulle
		Intensité : Nulle	
		Etendue : Nulle	
		Durée : Nulle	
<i>Zones écologiquement sensibles</i>	Fragmentation de zones écologiquement sensibles	Nature : Négative	Mineure
		Intensité : Moyenne	
		Etendue : Ponctuelle	
		Durée : Courte	

<i>Composante environnementale</i>	<i>Impact</i>	<i>Critères</i>	<i>Importance</i>
<i>Qualité de vie et être des populations</i>	Gênes pour la population riveraine dues à l'altération de la qualité de l'air par les poussières et les fumées émanant des travaux et aux nuisances sonores	Nature : Négative	Mineure
		Intensité : Faible	
		Etendue : Ponctuelle	
		Durée : Courte	
	Risques de nuisances et de maladies (piqures d'insectes, paludisme) liés à la rétention d'eau dans les zones d'emprunt Risques d'inondations dues à la réalisation d'ouvrages hydrauliques mal dimensionnés	Nature : Négative	Mineure
		Intensité : Faible	
		Etendue : Ponctuelle	
		Durée : Courte	
	Réduction des envoles des poussières source de nuisances et de maladies due au bitumage du tronçon de route Evacuation des eaux pluviales due à la réalisation d'ouvrages d'assainissement	Nature : Positive	Majeure
		Intensité : Forte	
		Etendue : Locale	
		Durée : Moyenne a Longue	
	Facilitation des évacuations sanitaires vers les centres mieux équipés Amélioration de niveau du confort des voyageurs	Nature : Positive	Majeure
		Intensité : Forte	
		Etendue : Locale	
		Durée : Longue	

	Amélioration des conditions de vie des populations suite aux retombées économiques générées par le projet Réduction du niveau de pauvreté des populations	Nature : Positive	
		Intensité : Forte	
		Etendue : Locale	
		Durée : Moyenne a Longue	

ANNEXE V : ESTIMATION DU COUT DU PROJET

Le tableau suivant présente le devis quantitatif et estimatif des quantités de matériaux à mettre en place.

N° PRIX	DÉSIGNATION	U	QUANTITE	PU (FCFA)	PT (FCFA)
SERIE 000 : INSTALLATION GENERALE ET REPLI DU CHANTIER					
1	Installation générale du chantier et amené du matériel	Fft	1	700 000 000	700 000 000
2	Repli des installations et du matériel	Fft	1	100 000 000	100 000 000
3	Ouverture et entretien de déviations ou de la route existante	mois	15	14 000 000	210 000 000
4	Laboratoire de la MDC et de l'Administration	Fft	1	66 000 000	66 000 000
5	Bureaux de la MDC et de l'Administration	Fft	1	75 000 000	75 000 000
6	Logements de la MDC et de l'Administration	u	5	25 000 000	125 000 000
7	Logements pour chauffeurs de l'Administration	Fft	1	30 000 000	30 000 000
8	Véhicules de la MDC et de l'Administration				
008-b	Tout terrain 4x4 diesel type Pickup double cabine	u	4	22 000 000	88 000 000

TOTAL SERIE 000 : INSTALLATIONS GENERALES ET REPLI DU CHANTIER		1 394 000 000			
SERIE 100 : TRAVAUX PREPARATOIRES					
101	Débroussaillage et nettoyage de l'emprise	m ²	325053,6	300	97 516 071
102	Déplacement réseau SONABEL	Prov	1	100 000 000	100 000 000
103	Déplacement réseau ONATEL	Prov	1	50 000 000	50 000 000
104	Déplacement réseau ONEA	Prov	1	25 000 000	25 000 000
105	Démolition de construction existante	m ²	2	10 000	20 000
106	Démolition buses métalliques	ml	168,33	25 000	4 208 250
107	Démolition d'ouvrages existant en béton armé	m ³	286,58	15 000	4 298 700
108	Démolition d'ouvrages existant en béton ou maçonnerie	m ³	67,6	12 500	845 000
109	Abattage d'arbres de circonférence ≥1,00 m	u	5	27 500	137 500
110	Enlèvement de panneaux de signalisation existants	u	10	10 000	100 000
111	Enlèvement de bornes kilométriques existantes	u	10	10 000	100 000
TOTAL SERIE 100 : TRAVAUX PREPARATOIRES					282 225 521
SERIE 200 : TERRASSEMENTS					
201	Décapage de la terre végétale	m ²	218436	600	131 061 599
202	Purges	m ³	2000	8 000	16 000 000
203	Déblais meuble et rippable mis en dépôt	m ³	10591,2	2 800	29 655 360
204	Déblais rocheux mis en dépôt	m ³	600	15 000	9 000 000
205	Remblai provenant d'emprunt	m ³	61243,2	5 000	306 216 000
206	Remblai provenant de déblais	m ³	42364,8	3 400	144 040 320
207	Exécution de redans	m ³	500	5 000	2 500 000
208	Fourniture et pose de géotextile	m ²	10000	2 600	26 000 000

TOTAL SERIE 200 : TERRASSEMENTS					664 473 279
SERIE 300 : CHAUSSEE					
301	Couche de forme	m3	113000	5 500	621 500 000
303	Couche de fondation en graveleux latéritiques (ép. : 20cm)	m3	90000	6 000	540 000 000
304	Couche de base en graveleux latéritiques (ép. : 20cm)	m3	88000	7 000	616 000 000
305	Plus-value de transport aux prix 303 et 304	m3 x km	1710000	300	513 000 000
306	Fourniture et transport de liant cut-back 0/1 pour imprégnation	t	491	550 000	270 050 000
307	Fourniture et transport de bitume pour enduit superficiel	t	1203	600 000	721 800 000
308	Fourniture et transport de granulats pour enduit superficiel	m3	7937	30 000	238 110 000
309	Mise en œuvre de l'imprégnation	m ²	409070	500	204 535 000
310	Mise en œuvre de l'enduit superficiel du monocouche (accotement)	m ²	122665	600	73 599 000
311	Mise en œuvre de l'enduit superficiel bicouche (chaussée)	m ²	286405	700	200 483 500
312	Aménagement de trottoirs en pavés	m ²	8400	16 000	134 400 000
TOTAL SERIE 300 : CHAUSSEE					4 133 477 500
SERIE 400 : OUVRAGES DE DRAINAGE (DALOTS)					
401,01	Corps de dalot de 1x1	ml	12	400 000	4 800 000
401,01b	Corps de dalot de 1.5x1	ml	12	450 000	5 400 000
401,02b	Corps de dalot de 2x1x1	ml	24	780 796	18 739 104
401,03	Corps de dalot de 2x1.5x1	ml	24	975 000	23 400 000
401,04	Corps de dalot de 2x2x1.5	ml	12	1 450 000	17 400 000
401,06	Corps de dalot de 3x2x1.5	ml	12	2 150 000	25 800 000
401,06b	Corps de dalot de 3x2.5x1.5	ml	12	2 970 878	35 650 536
401,07	Corps de dalot de 4x2x1,5	ml	12	2 150 000	25 800 000

402,01	Ouvrage de tête de dalot de 1x1	U	4	1 650 000	6 600 000
402,01b	Ouvrage de tête de dalot 1.5x1	U	8	1 560 643	12 485 144
402,02b	Ouvrage de tête de dalot 2x1x1	U	8	1 896 608	15 172 864
402,03	Ouvrage de tête de dalot 2x1.5x1	U	8	2 275 000	18 200 000
402,04	Ouvrage de tête de dalot 2x2x1.5	U	4	3 850 000	15 400 000
402,06	Ouvrage de tête de dalot 3x2x1.5	U	4	4 450 000	17 800 000
402,06b	Ouvrage de tête de dalot 3x2.5x1.5	U	4	4 171 438	16 685 752
402,07	Ouvrage de tête de dalot 4x2x1,5	U	4	4 375 000	17 500 000
412	Maçonnerie de moellons	m3	67,6	26 000	1 757 600
417	Gabions	m3	132	26 000	3 432 000
417 bis	Fourniture et pose de bordure T2	ml	5000	14 000	70 000 000
418	Fourniture et pose de bordure J1	ml	900	13 000	11 700 000
419	Curage de fossées existants	ml	4000	750	3 000 000
420	fossé triangulaire en terre - type C	ml	1000	1 600	1 600 000
420b	fossé triangulaire maçonné - type C	ml	4000	25 000	100 000 000
421b	fossé trapezoidal en terre - type B	ml	1000	2 500	2 500 000
421	fossé trapezoidal maçonné - type B	ml	4000	38 000	152 000 000
422	Dalettes série lourde pour fossé revêtu	m ²	1000	30 000	30 000 000
423	Rectification de lit de cours d'eau	m3	4000	3 700	14 800 000
424	Enrochements	m3	350	15 000	5 250 000
428	Caniveau maçonné 80 cm x 80 cm	ml	4000	46 000	184 000 000
429	Dalettes amovibles pour caniveau 80 cm x 80 cm en BA	ml	4000	30 000	120 000 000
TOTAL SERIE 400 : OUVRAGES DE DRAINAGE (DALOTS)					976 873 000
SERIE 600 : SIGNALISATION - SECURITE					
601	Ligne d'axe continue largeur 10 cm	ml	10500	500	5 250 000
602	Ligne d'axe discontinue module T1 largeur 10 cm	ml	9947	500	4 973 500

603	Ligne de rive module T2 largeur 15 cm	ml	10000	1 200	12 000 000
604	Marquage spécial pour piétons	m2	25	8 000	200 000
605	Marquage spécial des flèches de rabattement	m2	40	8 000	320 000
606	Marquage embranchements et carrefours	m2	75	8 000	600 000
607	Fourniture et mise en œuvre de borne kilométrique	u	10	25 000	250 000
608	Fourniture et mise en œuvre de borne pentakilométrique	u	2	45 000	90 000
609	Fourniture et mise en œuvre de balises	u	10	22 000	220 000
610	Panneau de signalisation type A	u	7	160 000	1 120 000
611	Panneau de signalisation type AB	u	20	160 000	3 200 000
612	Panneau de signalisation type B et C	u	15	160 000	2 400 000
613	Panneau de signalisation type D	u	4	160 000	640 000
615	Panneau de signalisation type J5	u	4	160 000	640 000
616	Fourniture et mise en œuvre de garde-corps métalliques de type S7	ml	16	160 000	2 560 000
617	Fourniture et mise en œuvre de glissières de sécurité	ml	125	46 000	5 750 000
618	Fourniture et pose d'extrémité rabaissée de glissière	u	4	100 000	400 000
619	Ralentisseur type dos d'âne y compris avertisseurs	u	5	3 500 000	17 500 000
TOTAL SERIE 600 : SIGNALISATION - SECURITE					58 113 500
SERIE 700 : MESURES ENVIRONNEMENTALES ET SOCIALES					
701	Fourniture et plantation d'arbres y compris l'entretien	u	1250	11 700	14 625 000
702	Remise en état des emprunts	ha	8	1 500 000	12 000 000

703	Remise en état des carrières	ha	1,5	3 000 000	4 500 000
704	Réalisation de forage positif équipé	u	2	15 000 000	30 000 000
705	Construction de mur de clôture pour écoles et/ou centres de santé	ml	1000	36 000	36 000 000
TOTAL SERIE 700 : MESURES ENVIRONNEMENTALES ET SOCIALES					97 125 000
MONTANT TOTAL DES TRAVAUX HT-HD					7 606 287 800
MONTANT TOTAL DES DROITS D'ENREGISTREMENT ET DIVERS (3%)					228 188 634
MONTANT TVA (18 %)					1 274 481 254
MONTANT TOTAL DES TRAVAUX TTC					8 354 932 668

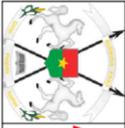
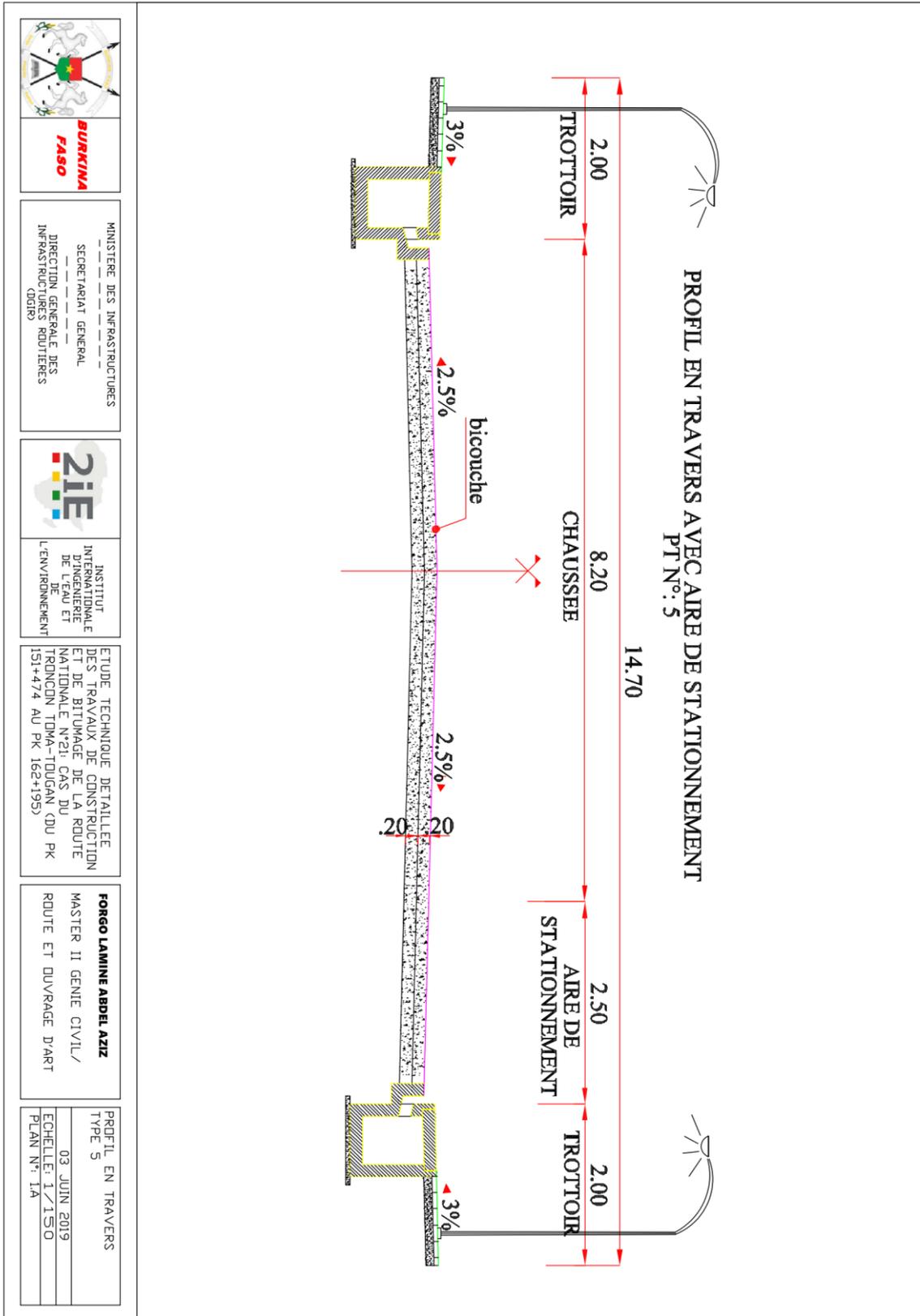
Le cout total de ses travaux s'élève à huit *milliards trois cent cinquante-quatre million neuf cent trente-deux mille six cent soixante-huit FCFA toutes taxes comprises (8 354 932 668 FCFA TTC)*.

Récapitulatif du devis estimatif.

N° PRIX	DESIGNATION	MONTANT HT	POURCENTAGE (%)
SERIE 000	INSTALLATIONS GENERALES ET REPLI DU CHANTIER	1 394 000 000	18
SERIE 100	TRAVAUX PREPARATOIRES	282 225 521	4
SERIE 200	TERRASSEMENTS	664 473 279	9
SERIE 300	CHAUSSEE	4 133 477 500	54
SERIE 400	OUVRAGES DE DRAINAGE (DALOTS)	976 873 000	13
SERIE 600	SIGNALISATION - SECURITE	58 113 500	1
SERIE 700	MESURES ENVIRONNEMENTALES ET SOCIALES	97 125 000	1

TOTAL GENERAL	7 606 287 800	
MONTANT TOTAL DES DROITS D'ENREGISTREMENT ET DIVERS (3%)	228 188 634	
MONTANT TVA (18 %)	1 274 481 254	
MONTANT TOTAL DES TRAVAUX TTC	8 354 932 668	

ANNEXE VI : PLAN D'AMENAGEMENT ET PLAN D'EXECUTION



BURKINA FASO

MINISTRE DES INFRASTRUCTURES
SECRETARIAT GENERAL
DIRECTION GENERALE DES
INFRASTRUCTURES ROUTIERES
(DIGIR)

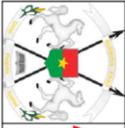
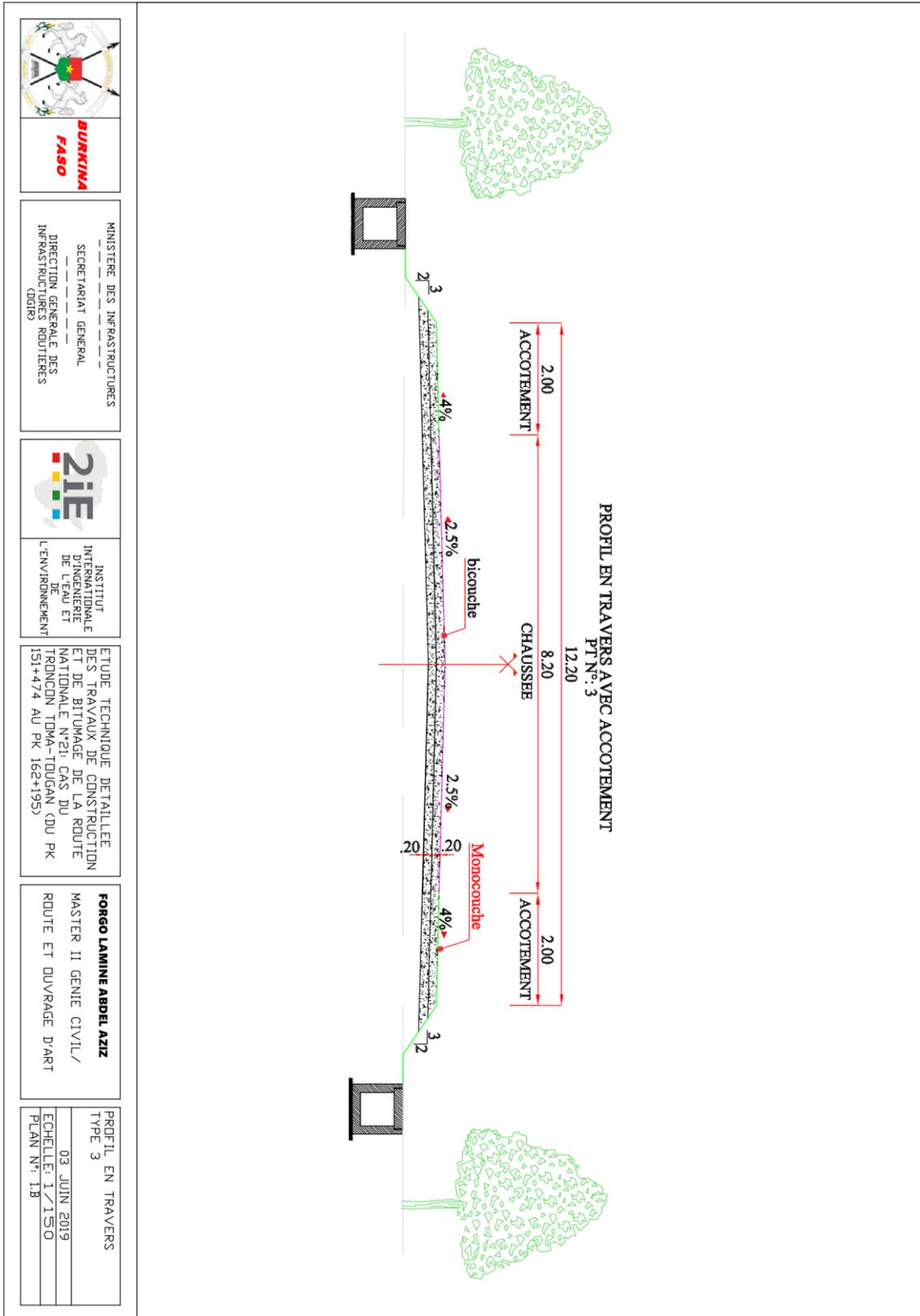


INSTITUT
INTERNATIONAL
DE L'EAU ET
DE L'ENVIRONNEMENT

ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE
DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION
ET DE BITUMAGE DE LA ROUTE
NATIONALE N°21 CAS DU
TRONÇON TOMA-TOUGAN (DU PK
151+474 AU PK 162+195)

FORGO LAMINE ABDEL AZIZ
MASTER II GENIE CIVIL/
ROUTE ET OUVRAGE D'ART

PROFIL EN TRAVERS
TYPE 5
03 JUN 2019
ECHELLE: 1/150
PLAN N°: 1A



BURKINA FASO

MINISTRE DES INFRASTRUCTURES
SECRETARIAT GENERAL
DIRECTION GENERALE DES
INFRASTRUCTURES ROUTIERES
(DGIR)

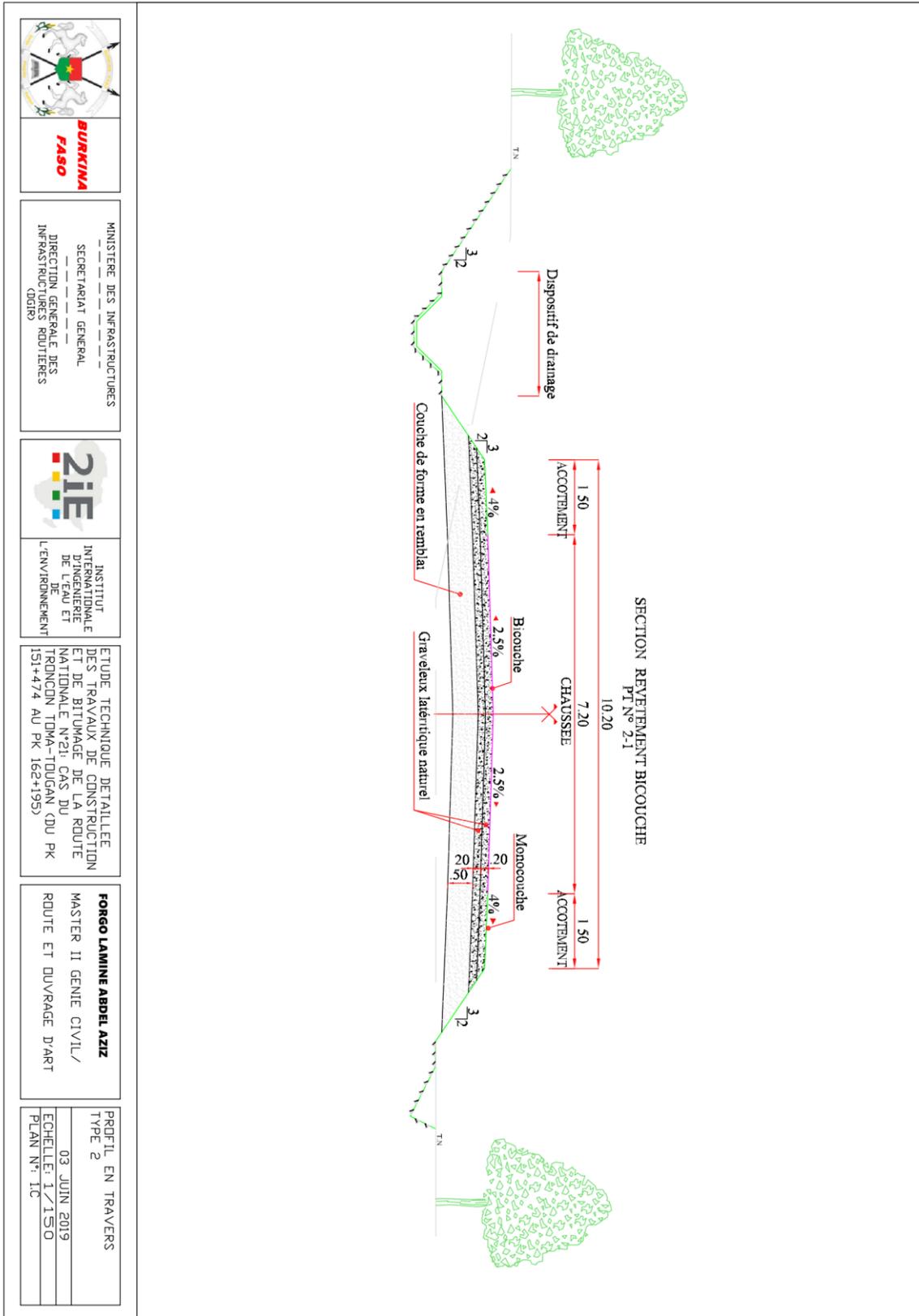


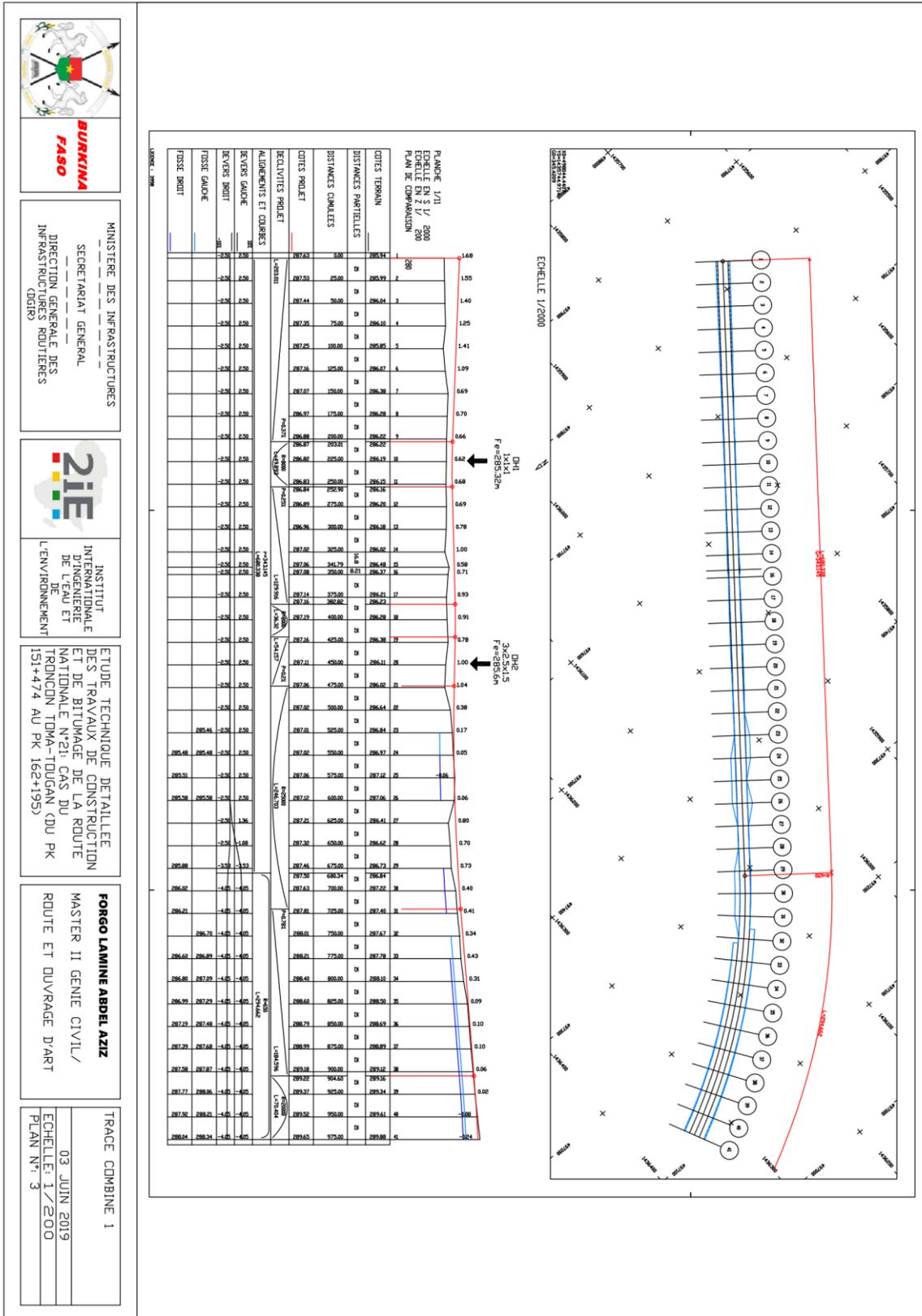
INSTITUT
INTERNATIONAL
DE L'EAU ET
DE L'ENVIRONNEMENT

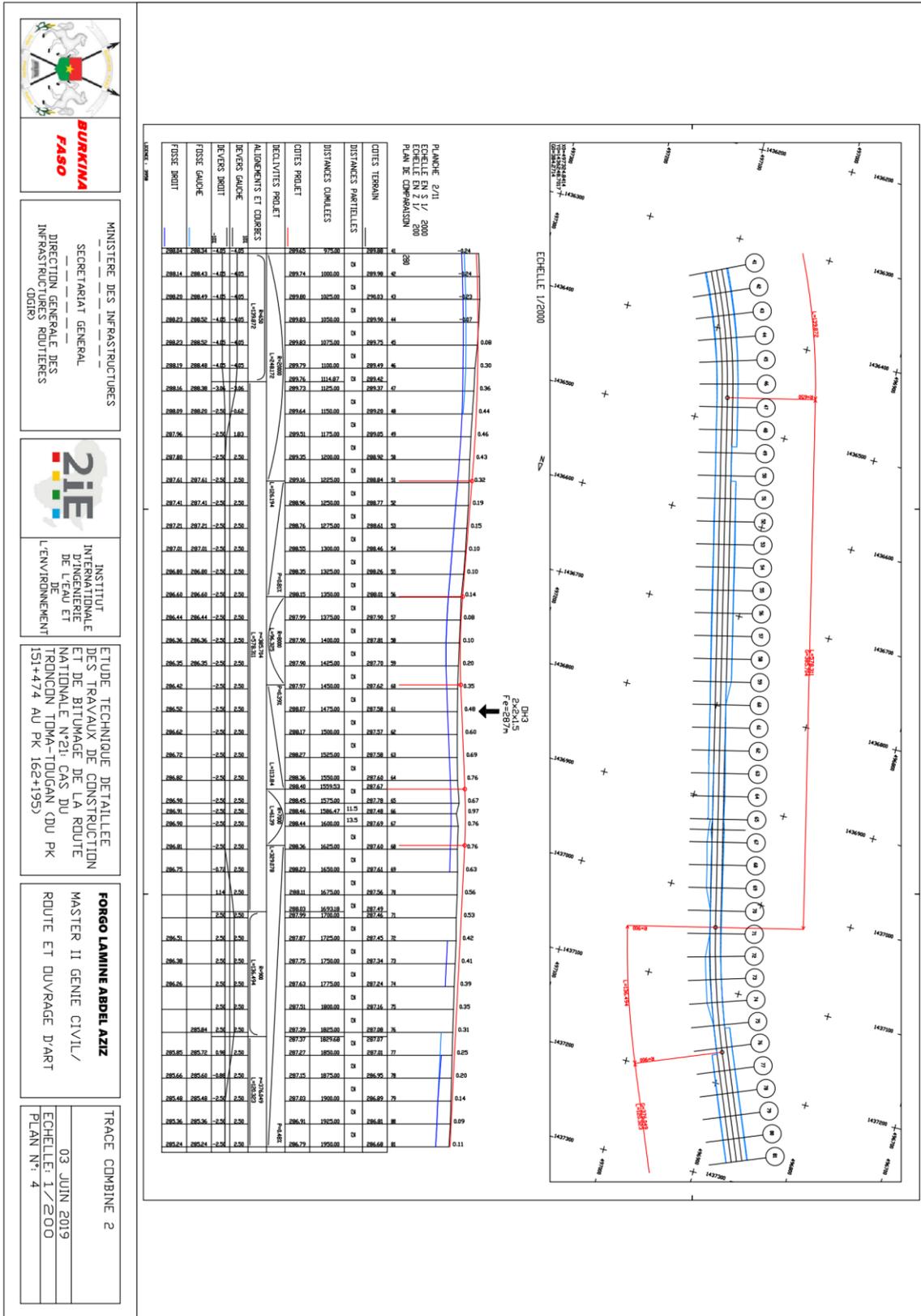
ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE
DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION
ET DE BITUMAGE DE LA ROUTE
NATIONALE N°21 CAS DU
TRONÇON TOMA-TOUGAN (DU PK
151+474 AU PK 162+195)

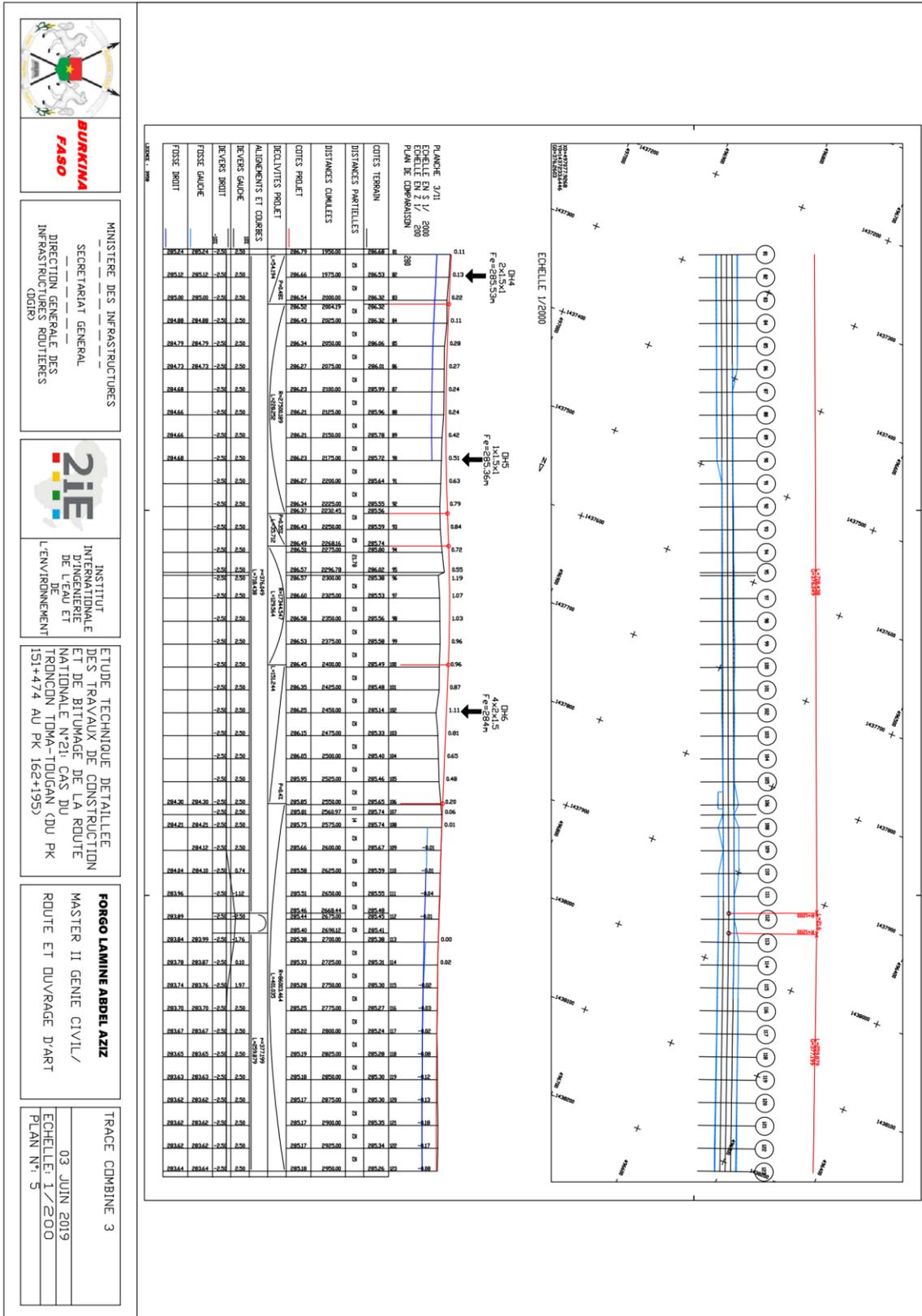
FORGO LAMINE ABDEL AZIZ
MASTER II GENIE CIVIL/
ROUTE ET OUVRAGE D'ART

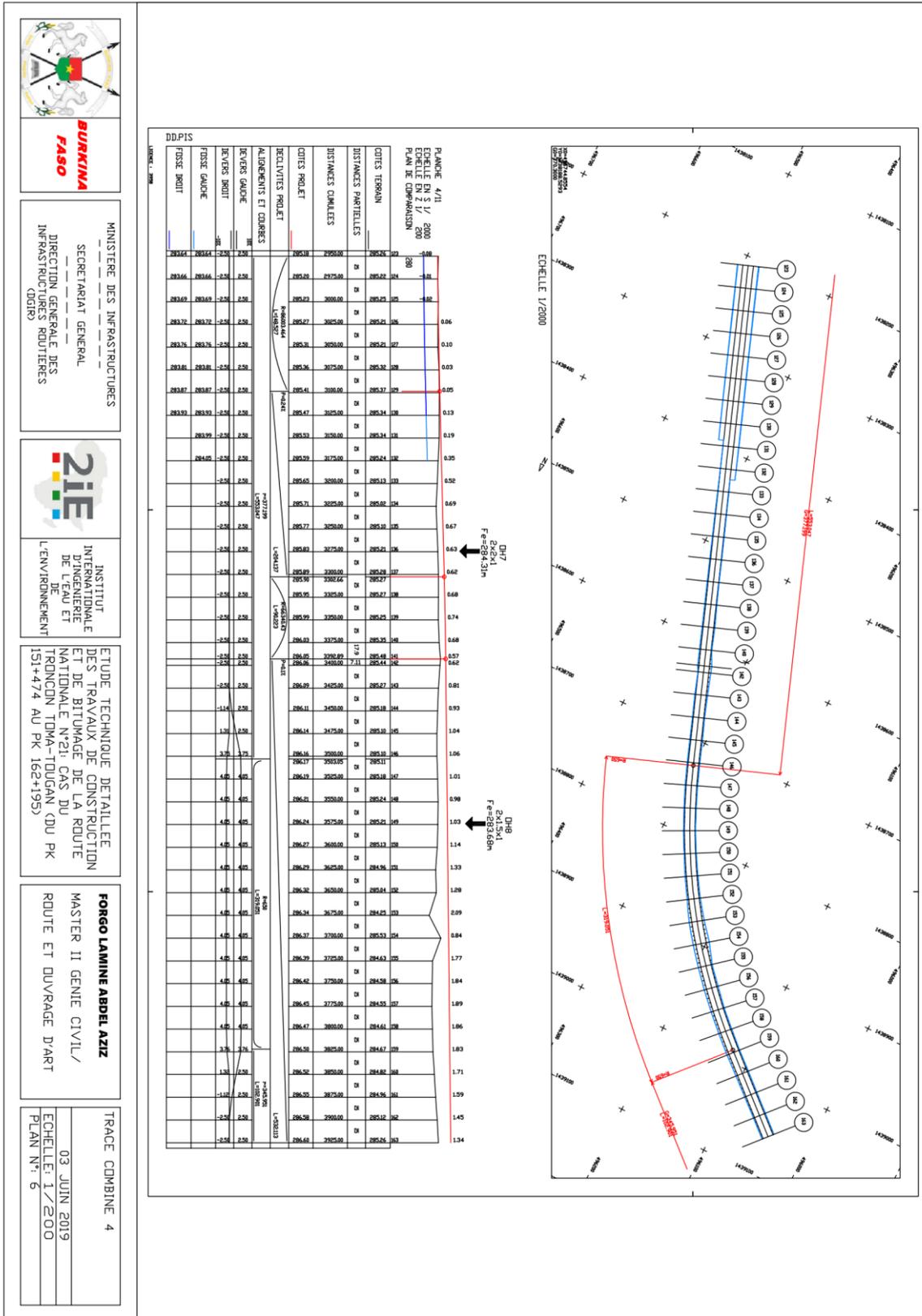
PROFIL EN TRAVERS
TYPE 3
03 JUN 2019
ECHELLE: 1/150
PLAN N°: 1B

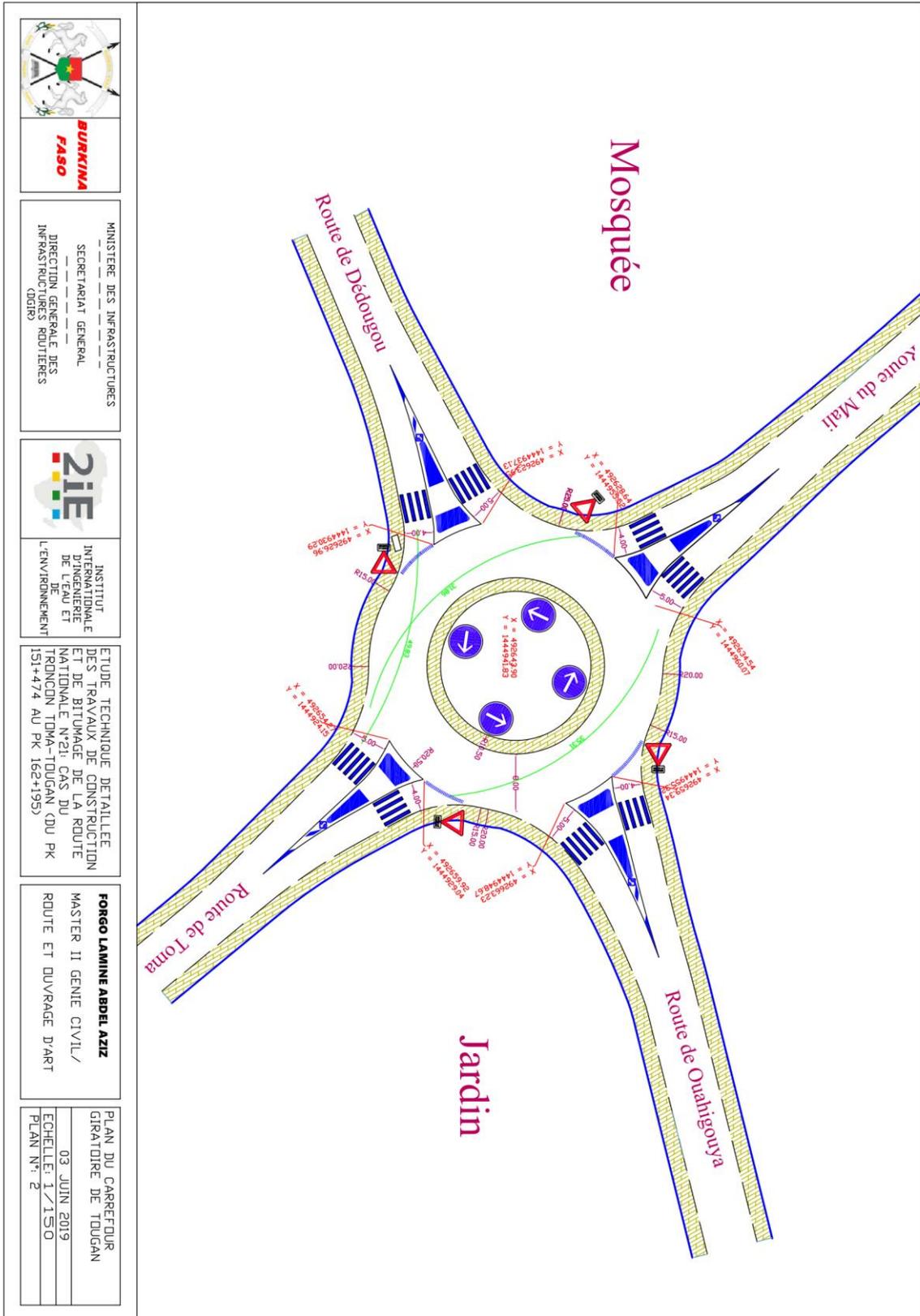


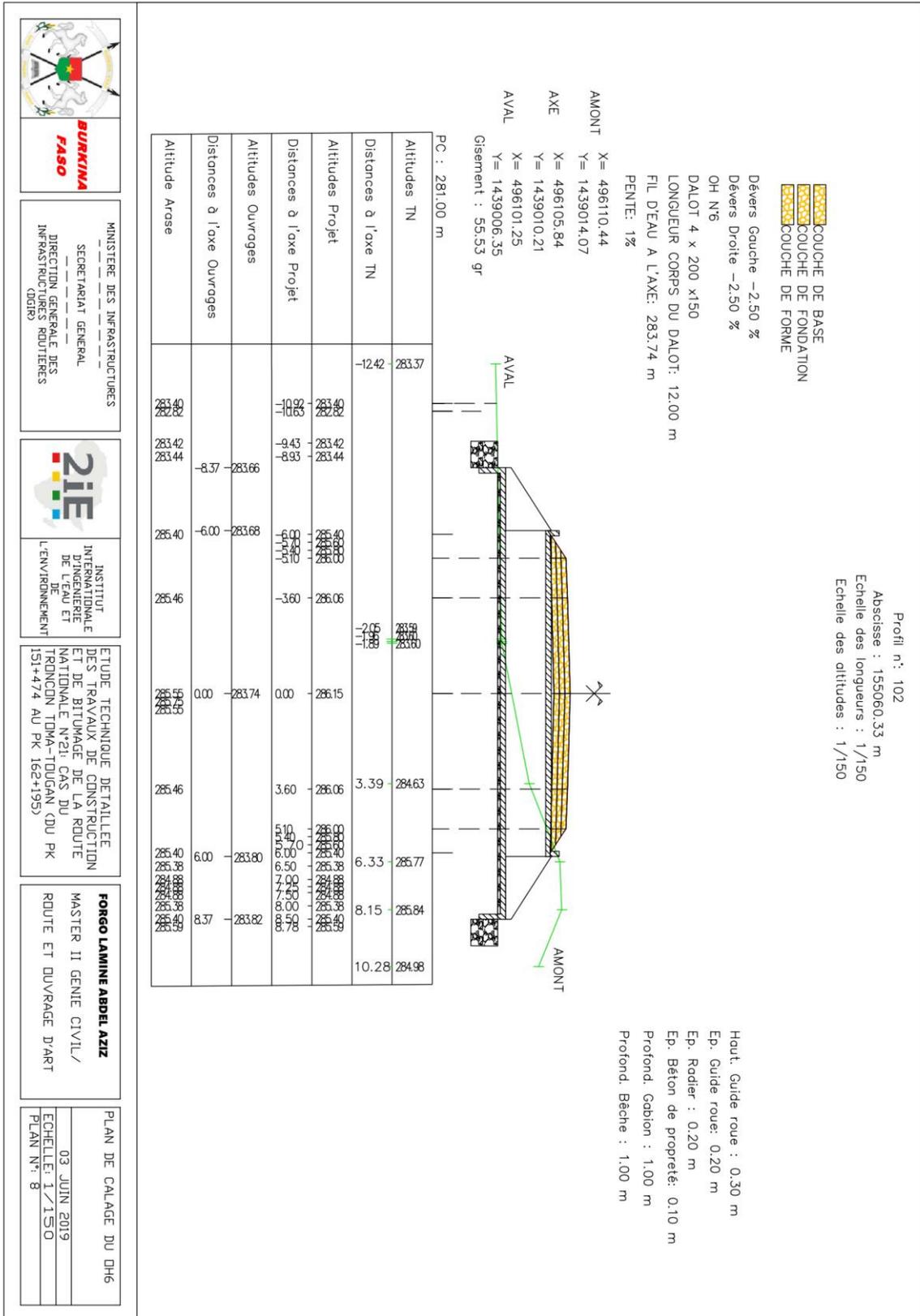


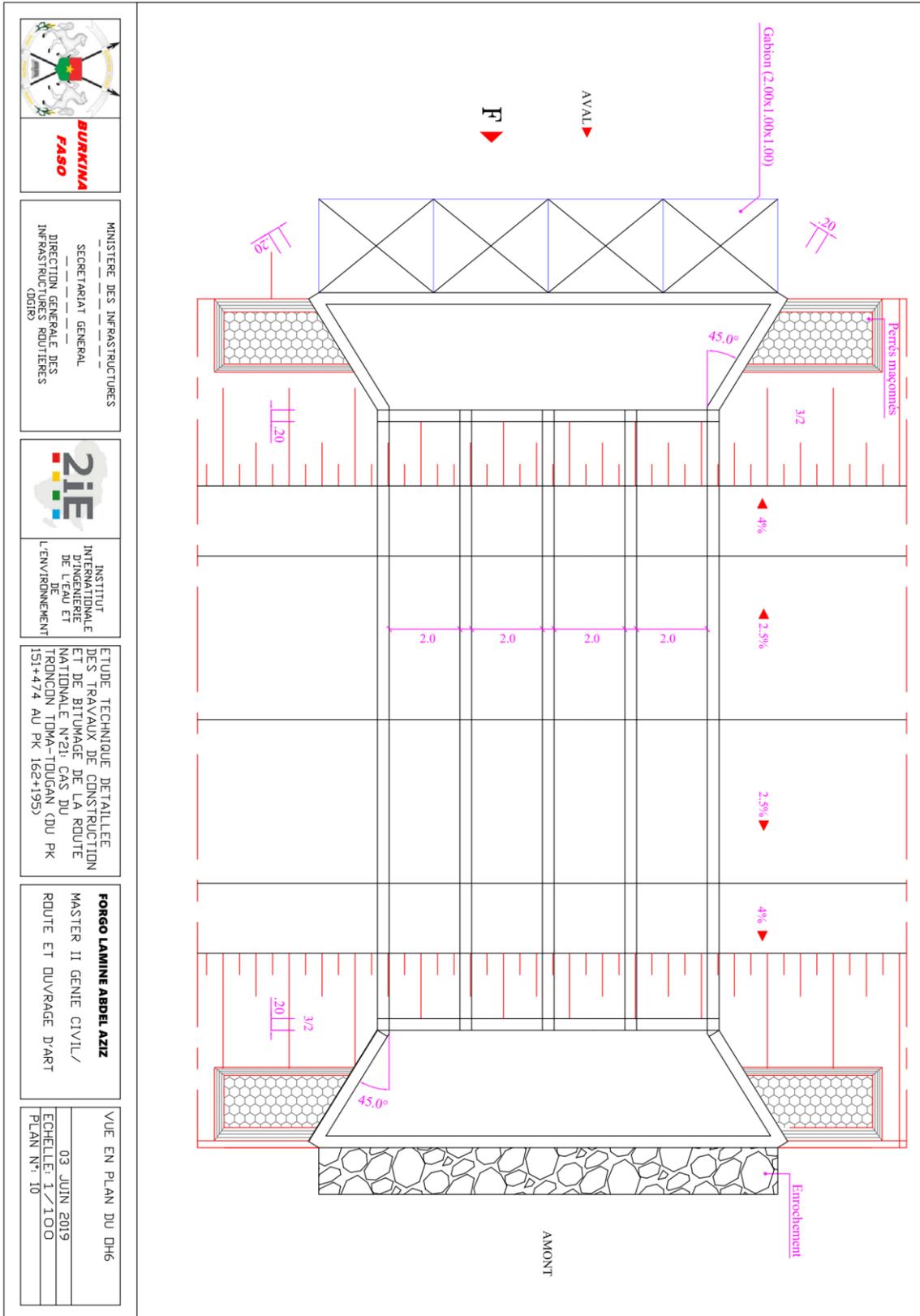




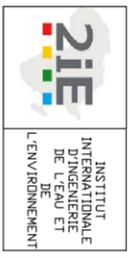








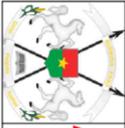
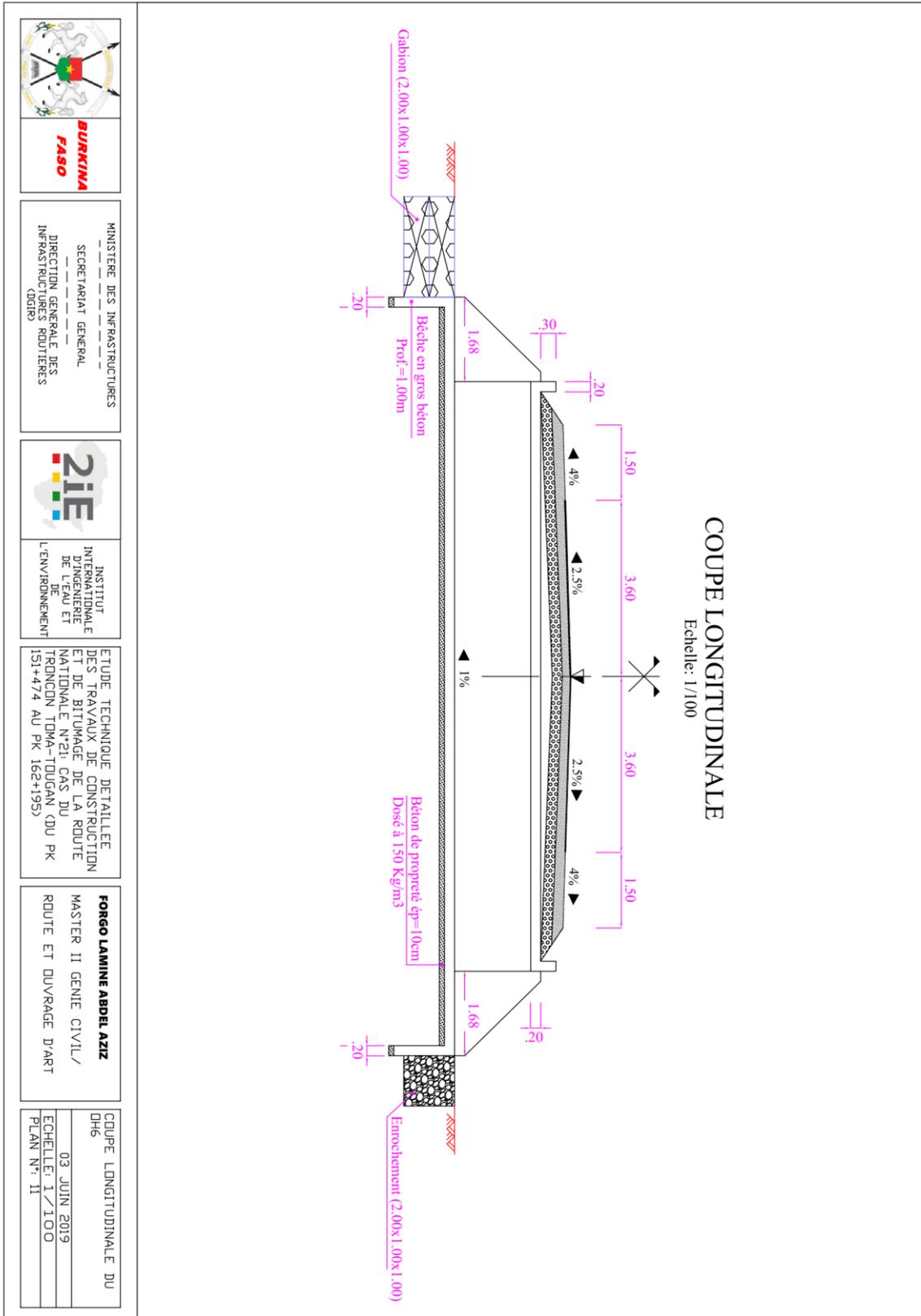
BURKINA FASO
 MINISTRE DES INFRASTRUCTURES
 SECRETARIAT GENERAL
 DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES ROUTIERES (DGR)



INSTITUT INTERNATIONAL DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
 ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION ET DE BITUMAGE DE LA ROUTE NATIONALE N°21 CAS DU TRONCON TOMA-TOUGAN (DU PK 151+474 AU PK 162+195)

FORGO LAMINE ABDEL AZIZ
 MASTER II GENIE CIVIL/
 ROUTE ET OUVRAGE D'ART

VUE EN PLAN DU OH6
 03 JUN 2019
 ECHELLE: 1/100
 PLAN N°: 10



BURKINA FASO

MINISTRE DES INFRASTRUCTURES
SECRETARIAT GENERAL
DIRECTION GENERALE DES
INFRASTRUCTURES ROUTIERES
(DGIR)

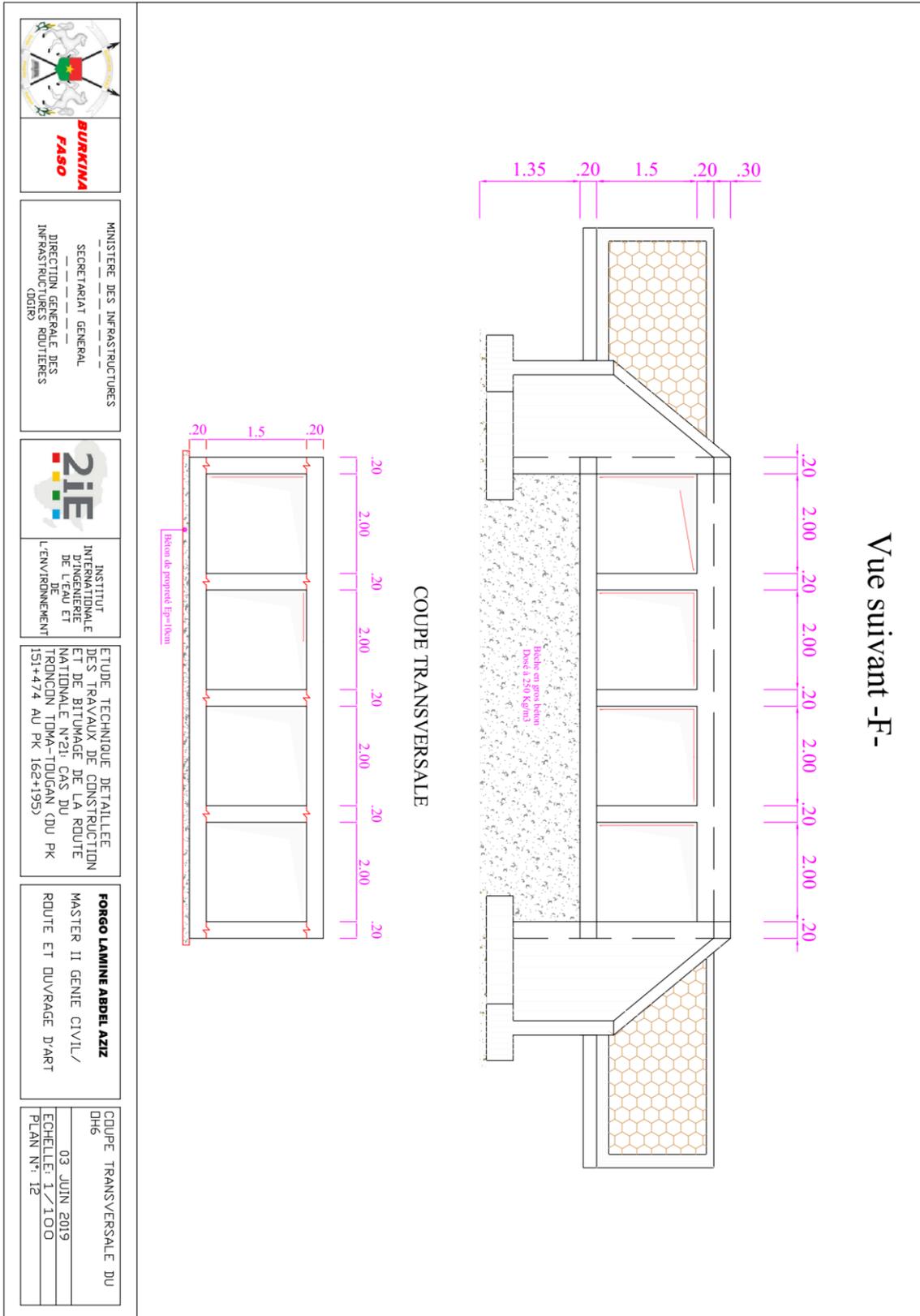


INSTITUT
INTERNATIONAL
DE L'EAU ET
DE L'ENVIRONNEMENT

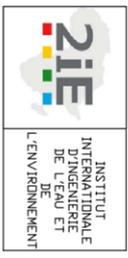
ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE
DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION
ET DE BITUMAGE DE LA ROUTE
NATIONALE N°21 CAS DU
TRONÇON TOMA-TOUGAN (DU PK
151+474 AU PK 162+195)

FORGO LAMINE ABDEL AZIZ
MASTER II GENIE CIVIL/
ROUTE ET OUVRAGE D'ART

COUPE LONGITUDINALE DU
DH6
03 JUN 2019
ECHELLE: 1/100
PLAN N°: II



BURKINA FASO
MINISTRE DES INFRASTRUCTURES
SECRETARIAT GENERAL
DIRECTION GENERALE DES
INFRASTRUCTURES ROUTIERES
(DGR)



INSTITUT
INTERNATIONAL
DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION
ET DE BITUMAGE DE LA ROUTE
NATIONALE N°21 CAS DU
TRONÇON TOMA-TOUGAN (DU PK
151+474 AU PK 162+195)

FORGO LAMINE ABDEL AZIZ
MASTER II GENIE CIVIL/
ROUTE ET OUVRAGE D'ART

COUPE TRANSVERSALE DU
DH6
03 JUN 2019
ECHELLE: 1/100
PLAN N°: 12

