



**ETUDE TECHNIQUE EN VUE DE LA
REHABILITATION DE LA ROUTE NATIONALE
YAMOOUSSOUKRO-BOUAFLE-DALOA (COTE
D'IVOIRE)**

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

Présenté et soutenu publiquement le 16/01/2020 par

Kouassi Hugues Boris KOUAME

**Encadrant 2iE : Mme Marie Thérèse MBENGUE Epse GOMIS, Assistante
d'enseignement et de recherche 2iE**

Maître de stage : Bah Roger KOUAME, Ingénieur Projeteur NSE-CI

Jury d'évaluation du stage :

Président : **Dr. Kokouvi Edem N'TSOUKPOE**

Membres et correcteurs : **M. Amadou SIMAL
M. Célestin OVONO**

Promotion [2019/2020]

DEDICACE

Je dédie ce document à mes parents : Denis et Marie KOUAME, à mes frères et sœurs Ella, Cyrille et Prisca KOUAME pour leurs efforts consentis à ma formation et leur soutien durant mes années de formation à l'Institut 2iE

REMERCIEMENTS

Tout d'abord je remercie l'Eternel DIEU Tout Puissant, pour son amour et ses bénédictions, ses bienfaits qu'Il m'accorde et parce qu'il a permis à ce que ce travail puisse être accompli.

Je tiens à remercier également tous ceux qui ont contribués d'une manière ou d'une autre, tant par leurs conseils, leurs soutiens, que leurs savoir-faire au bon déroulement de mon stage et à l'aboutissement de ce travail. Je profite de cette occasion pour remercier particulièrement les personnes dont les noms suivent :

- ✚ Madame MBENGUE Marie-Thérèse épouse GOMIS, encadreur et enseignante chercheur à 2iE pour ses conseils et le sacrifice de son temps malgré ses diverses autres obligations.
- ✚ A monsieur Arsène, Responsable des Ressources Humaines à NSE-CI, qui a été d'une grande aide à l'obtention de mon stage.
- ✚ A monsieur Bah Roger KOUAME, Ingénieur Génie Civil, Projeteur à NSE-CI mon maître de stage pour sa disponibilité
- ✚ A monsieur Giuseppe AUTIERO, Ingénieur Génie Civil, Chef du Bureau d'Etude sur le chantier pour NSE-CI, pour ses conseils
- ✚ A monsieur Carlos de Freitas, Ingénieur Génie Civil, Directeur des travaux sur le chantier pour NSE-CI
- ✚ A monsieur Edem BAKPO, Ingénieur Génie Civil, Chef du Laboratoire Géotechnique sur le chantier pour NSE-CI, pour son temps et son aide
- ✚ A messieurs BOKA et KONE, Chefs de la mission de contrôle pour le BNETD
- ✚ A l'ensemble du personnel de NSE-CI et du BNETD, pour m'avoir permis de m'intégrer facilement et pour leurs conseils et disponibilité
- ✚ A monsieur Dominique DIARRASSOUBA, Ingénieur Génie Civil, Ingénieur de travaux à PFO un aîné qui a été d'un grand soutien

✚ A mes amis et camarades Aristide KOMBASSERE, Junior YAPO, Maurel BOSSOU, Valy Aboubacar TOURE, Harold BOITENIN, pour leur soutien tout le long de mon parcours

Par ailleurs, à tous ceux et celles dont les noms ne figurent pas sur cette liste, qu'ils trouvent en ces mots, l'expression de notre profonde gratitude

RESUME

Le présent mémoire intitulé : « Etude technique en vue de la réhabilitation de la route nationale YAMOUSSOUKRO-BOUAFLE-DALOA (Côte d'Ivoire) » s'inscrit dans le programme de désenclavement des zones aux riches potentialités de l'Etat de Côte d'Ivoire. L'objectif de ce mémoire est de trouver une solution de réhabilitation adéquate aussi bien économiquement que dans la durée de l'axe Yamoussoukro-Sahabo long de 10 km. Pour ce faire, plusieurs études ont été menées.

L'étude topographique a permis à l'aide du logiciel Autocad-Covadis de faire sortir les tracés en plan, profils en long et en travers permettant ainsi d'obtenir les cubatures et les plans d'aménagement.

La méthode VIZIR faisant intervenir la déflexion, l'évaluation des dégradations de la chaussée et l'étude de trafic, a permis de proposer une solution de réhabilitation de la chaussée existante. Sur recommandation du Ministère des infrastructures économiques une couche de fondation en matériaux recyclés améliorés au ciment a été adoptée. Les résultats de l'étude géotechnique des matériaux en place et d'emprunt ont permis de faire le dimensionnement structural de la chaussée qui a été vérifié à l'aide du logiciel Alizé LCPC. La solution finale de renforcement comprend donc 25 cm de matériaux recyclés améliorés au ciment (3%) en couche de fondation, 8 cm de Grave Bitume en couche de base et une couche de roulement en Béton bitumineux de 6 cm.

Les études hydrologiques et hydrauliques ont permis d'avoir les débits des bassins qui croisent le tronçon et de trouver les sections des ouvrages à remplacer dont nous avons fait le dimensionnement structural. Les questions de signalisation routière, d'éclairage routier et d'impact environnemental et social ont été abordées. Après estimation, il ressort un coût de projet de **six milliards cinq cents trente-six millions neuf cent vingt mille trente-neuf Francs CFA (6 536 920 039 F CFA) cout hors taxes.**

Mots clés

- Réhabilitation
- Renforcement

- Chaussée
- YAMOUSSOUKRO-BOUAFLE-DALOA
- Impact environnemental

ABSTRACT

This thesis entitled: "Technical studies for the rehabilitation of the YAMOOUSSOUKRO-BOUAFLE-DALOA national road (Côte d'Ivoire)" is part of the program to open up areas with high potential for the State of Côte d'Ivoire. The objective of this memoir is to find a suitable rehabilitation solution both economically and in the duration of the Yamoussoukro-Sahabo axis of 10 km. To do this, several studies have been conducted. A topographical study that allowed the help of the software Autocad-Covadis to draw out the drawings in plan, profiles lengthwise and crosswise to obtain the cubatures and layout plan of the leaders of our road. The VIZIR method, which involves the deflection study, the assessment of the deterioration of the roadway and the traffic study, made it possible to propose a solution for the rehabilitation of the existing roadway. On the recommendation of the Ministry of Economic Infrastructure, a foundation layer of cement-based recycled materials has been adopted. The results of the geotechnical study of the materials in place and borrowing made it possible to make the structural dimension of the pavement which was later verified using the Alizé LCPC software. The final reinforcement solution therefore comprises 25 cm of recycled materials improved with cement (3%) as a base course, a base layer of 8 cm thick bitumen and a 6 cm bituminous concrete wearing course. The hydrological and hydraulic studies were used to have the flows of the basins which cross the section, to make an inventory of the works in places with solutions of state for those who are not damaged and to find the sections of the works to replace which we did the structural dimensioning. Road signage and road lighting issues were discussed. An environmental and social impact study was conducted and several measures to mitigate negative impacts were identified. An estimate of the cost of the project has been made and it shows a cost of **six billion five hundred and thirty-six million nine hundred and twenty thousand and thirty nine francs CFA (6 536 920 039 F CFA) cost excluding taxes.**

Keywords

- Rehabilitation
- Enhancement
- Floor

- YAMOUSSOUKRO-BOUAFLE-DALOA
- Environmental impact

LISTE DES ABREVIATIONS

ARP: Aménagements des Routes Principales

CBR: Californian Bearing Ratio;

CCTP : Cahier des Clauses Techniques Particulières ;

CEBTP : Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics ;

EIES : Etude d'Impact Environnemental et social

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées ;

OPM : Optimum Proctor Modifié

PK : Poste kilométrique ;

PL : Poids Lourds ;

NES : Nombre équivalent de poids lourds

TDR : Termes De Référence

NSE-CI : Nicolas Srouji Etablissement

BNETD : Bureau National d'Etude Technique et de Développement

SOMMAIRE

Contenu

DEDICACE	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME	iv
ABSTRACT	vi
LISTE DES ABREVIATIONS.....	viii
SOMMAIRE	ix
LISTE DES TABLEAUX.....	xii
LISTE DES FIGURES	xiv
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : GENERALITES	3
I.1. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL	3
I.1.1. Historique NSE-CI	3
I.1.2. Fiche d'identification.....	3
I.1.3. Expertise	4
I.2. PRESENTATION DU PROJET.....	4
I.2.1. Localisation de la zone du projet.....	4
I.2.2. Contexte et Justification du projet.....	6
I.2.3. Caractéristiques géo-climatique de la zone de projet	7
I.3. METHODOLOGIE DE CONCEPTION	8
I.3.1. Méthode	8
I.3.2. Matériel utilisé.....	10
CHAPITRE II : ETUDE TECHNIQUE	11
II.1. ETUDE DE BASE.....	11
II.1.1. Etude topographique d'exécution du projet.....	11
II.1.2. Résultats de l'étude topographique.....	11
II.1.3. Evaluation de l'état apparent de la chaussée (relevé des dégradations).....	12
II.1.4. Mesure et analyse des résultats de déflexion.....	16

II.1.5.	Evaluation du Niveau de dégradation : Méthode VIZIR.....	18
II.1.6.	Solution à adopter ou préconisée.....	23
II.1.7.	Etude du trafic	23
II.2.	CONCEPTION GEOMETRIQUE : ETUDE DU NOUVEAU TRACE	25
II.2.1.	Rappel des Termes de Référence.....	25
II.2.2.	Calcul des paramètres cinématique en fonction de la vitesse de référence	27
II.2.3.	Nouveau tracé en plan	27
II.2.4.	Caractéristiques du profil en long et du profil en travers du nouveau tracé	28
II.2.5.	Conclusion de l'étude	30
II.3.	ETUDE GEOTECHNIQUE	30
II.3.1.	Présentation des différentes structures de renforcement	30
II.3.2.	Choix de la variante	31
II.3.3.	Principe de dimensionnement.....	31
II.3.4.	Limites admissibles des contraintes et déformations	32
II.3.5.	Vérification du dimensionnement	33
II.3.6.	Conclusion de l'étude	39
II.4.	ETUDE HYDROLOGIQUE, HYDRAULIQUE ET DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL DES OUVRAGES	39
II.4.1.	ETUDE HYDROLOGIQUE.....	39
II.4.1.a.	Caractéristiques des bassins versants obtenus	40
II.4.1.b.	Méthode d'évaluation des débits	41
II.4.1.c.	Calcul des débits projet.....	41
II.4.2.	ETUDE HYDRAULIQUE.....	43
II.4.2.a.	Etat des lieux des ouvrages existants	43
II.4.2.b.	Solution envisagées pour la réhabilitation des dalots et buses	44
II.4.2.c.	Calcul des sections des ouvrages	45
II.4.3.	DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL DES DALOTS A CONSTRUIRE	46
II.4.3.a.	Calcul des sollicitations	48
II.4.3.b.	Calcul des sections d'armatures.....	50
CHAPITRE III :	SIGNALISATION ROUTIERE ET ECLAIRAGE PUBLIC.....	51
III.1.	SIGNALISATION ROUTIERE	51
III.1.1.	Signalisation Horizontale.....	51
III.1.2.	Signalisation verticale.....	52

III.2. ECLAIRAGE PUBLIC	52
CHAPITRE IV : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL ET ESTIMATION DU COUT DU PROJET	53
IV.1. ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL	53
IV.1.1. Cadre institutionnel, législatif et réglementaire	53
IV.1.2. Impact positifs.....	54
IV.1.3. Impacts négatifs et mesures d'atténuation	56
IV.2. COUT ESTIMATIF DU PROJET	60
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	62
BIBLIOGRAPHIE.....	64
ANNEXES.....	I
ANNEXE 1 : ETUDE GEOMETRIQUE	II
ANNEXE 2 : ETUDE GEOTECHNIQUE ET DIMENSIONNEMENT DE CHAUSSEE.....	XIII
ANNEXE 3 : ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE.....	XLVI
ANNEXE 4 : DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL DE DALOT	LXV
ANNEXE 5 : TABLEAU DES SIGNALISATIONS VERTICALES	LXXXIV
ANNEXE 5 : COUT ESTIMATIF DU PROJET	LXXXV
ANNEXE 6 : TRACE COMBINE	LXXXIX
ANNEXE 7 : PROFILS EN TRAVERS TYPES	LXXXIV
ANNEXE 8 : AMENAGEMENT DES AMORCES.....	LXXXVI

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Caractéristiques du profil en travers type de la route existante	12
Tableau 2: Dégradation de type épaufrure et leur localisation	13
Tableau 3: Dégradation de type arrachement et leur localisation.....	13
Tableau 4: Dégradation de type fissuration maillée et leur localisation	14
Tableau 5: Dégradation de type Nids de poule et leur localisation	15
Tableau 6: Interprétation de la qualité de la structure en fonction de la déflexion (manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux).....	18
Tableau 7: Récapitulatif des mesures de déflexion du PK 0+000 au PK 10+000 (Laboratoire NSE chantier).....	18
Tableau 8: Indice de fissuration en fonction de la gravité et de l'étendue (Organigramme méthode VIZIR).....	19
Tableau 9: Indice de déformation en fonction de la gravité et de l'étendue (Organigramme méthode VIZIR).....	20
Tableau 10: Indice de dégradation (Organigramme méthode VIZIR).....	20
Tableau 11: Valeur de la correction due aux réparations (Organigramme méthode VIZIR).21	
Tableau 12: Note de qualité (Manuel pour le renforcement des chaussées souple en pays tropicaux).....	22
Tableau 13: Valeur de d1 et d2 pour certains pays d'Afrique (Manuel pour le renforcement des chaussées souple en pays tropicaux).....	22
Tableau 14: Récapitulatif des études de base.....	25
Tableau 15: Paramètres du tracé en plan pour la catégorie R80 selon l'Aménagement des Routes Principales	26
Tableau 16: Valeur des devers pour une route de type R80.....	26
Tableau 17: Paramètres géométriques limites du profil en long selon l'Aménagement des Routes Principales	27
Tableau 18: Paramètres cinématiques en fonction de la vitesse de référence	27
Tableau 19: Récapitulatif des paramètres du nouveau tracé en plan	28
Tableau 20: Profil en travers type en rase campagne	29
Tableau 21: Profil en travers type en agglomération.....	29
Tableau 22: Proposition des structures de renforcement (Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux).....	30
Tableau 23: Choix de la variante définitive à dimensionner.....	31
Tableau 24: Paramètres d'entrée pour la variante choisie	35
Tableau 25: Vérification du dimensionnement de la variante choisie	36
Tableau 26: Vérification du dimensionnement de la variante choisie, révisée	37
Tableau 27: Vérification du dimensionnement de la variante choisie par la structure d'accueil.....	38
Tableau 28: Caractéristiques des bassins versants obtenus	41
Tableau 29: Débits calculés selon la méthode rationnelle	42

<i>Tableau 30: Débits calculés selon la méthode ORSTOM.....</i>	<i>42</i>
<i>Tableau 31: Etat des lieux des ouvrages existants</i>	<i>44</i>
<i>Tableau 32: Calcul des sections d'ouvrage et observations</i>	<i>46</i>
<i>Tableau 33: Récapitulatif des sollicitations Dalot 150 x 150.....</i>	<i>49</i>
<i>Tableau 34: Récapitulatif du ferrailage des dalots 150 x 150</i>	<i>50</i>
<i>Tableau 35: Impacts négatifs et mesures d'atténuation.....</i>	<i>60</i>
<i>Tableau 36: Coût estimatif du projet</i>	<i>61</i>

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1: Localisation de la zone d'étude</i>	5
<i>Figure 2: Tracé du tronçon à réhabiliter</i>	5
<i>Figure 4: Méthodologie d'étude adoptée</i>	9
<i>Figure 5: Photo illustrative des épaufrures</i>	13
<i>Figure 6: Photo illustrative des arrachements</i>	14
<i>Figure 7: Photo illustrative des fissurations maillées + arrachement</i>	15
<i>Figure 8: Photo illustrative des nids de poule</i>	16
<i>Figure 9: Poutre BENKELMAN</i>	17
<i>Figure 10: Classification du trafic en fonction du nombre d'essieux équivalents (CEBTP)</i> ...24	
<i>Figure 11: Choix de la structure en grave bitume (Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux)</i>	XXI
<i>Figure 12: Choix de la structure de renforcement en grave ciment (Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux)</i>	XXI
<i>Figure 13: Délimitation des Bassins versants (Global Mapper)</i>	XLVII
<i>Figure 14: Abaque de détermination du temps de base en fonction de la superficie du bassin (ORSTOM)</i>	LII
<i>Figure 15: Abaque de détermination du coefficient d'abattement (ORSTOM)</i>	LIII
<i>Figure 16: Abaque de détermination de $H^*=F(Q^*)$ (BCEOM)</i>	LVIII

INTRODUCTION GENERALE

La route est un élément essentiel au développement socio-économique d'un pays. Sa construction permet d'accroître les échanges entre les populations, de créer des emplois à travers les activités économiques, mais aussi d'exploiter les ressources naturelles dont regorge la zone dans laquelle elle est implantée. Il arrive malheureusement que ces routes ne soient plus capables de garantir le confort et la sécurité des usagers du fait de leurs dégradations, ralentissant ainsi la croissance du pays. Ainsi, l'Etat Ivoirien dans un vaste programme de désenclavement des villes abritant des sites touristiques ou disposant de ressources naturelles exploitables a décidé de réhabiliter 1714 km de routes à l'intérieur du pays devant relier la capitale politique Yamoussoukro aux autres villes du pays.

Depuis les années 1980, le tronçon Yamoussoukro-Sahabo (PK 0+000 au PK 10+000) de la route nationale YAMOOUSSOUKRO-BOUAFLE-DALOA constituait l'une des voies d'accès à l'Ouest du pays reliant le centre (Yamoussoukro) au sud-ouest de la Côte d'Ivoire qui est une zone regroupant des parcs nationaux, des réserves naturelles, des lieux touristiques ainsi que des forêts pour l'exploitation du bois. Sur ce même trajet se trouve plusieurs zones d'exploitation de minerais. Ces dernières années cette route a connu des dégradations vue qu'elle est la seule voie d'accès à l'ouest du fait des nombreuses crises qu'a subi le pays. Il devient donc nécessaire de proposer une solution de réhabilitation de l'axe Yamoussoukro-Sahabo en fonction du nouveau trafic. C'est dans ce cadre que s'inscrit le présent projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master II en Génie Civil et Hydraulique dont le thème est : « **Études techniques en vue de la réhabilitation de la route nationale YAMOOUSSOUKRO-BOUAFLE-DALOA (Côte d'Ivoire)** ».

L'objectif de ce travail sera de proposer une solution de réhabilitation tout en comparant les résultats de notre étude avec ceux qui ont été réellement exécutés par la structure d'accueil. Le présent rapport est subdivisé en quatre (4) chapitres énumérés comme suit :

- ✚ Le chapitre 1 qui présente la structure d'accueil, le projet et la méthodologie de travail adoptée

- ✚ Le chapitre 2 qui traite des études topographiques, de la géométrie routière, de l'étude géotechnique, du dimensionnement structural de la chaussée, de l'étude hydrologique, hydraulique et du dimensionnement structural des ouvrages
- ✚ Le chapitre 3 est consacré à l'étude de la signalisation routière et de l'éclairage routier
- ✚ Enfin le chapitre 4 porte sur l'étude d'impact environnemental et social, et fait ressortir le coût estimatif du projet

CHAPITRE I : GENERALITES

I.1. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

I.1.1. Historique NSE-CI

Créée en 2012, NSE Côte d'Ivoire (NSE-CI) est une entreprise ivoirienne spécialisée dans la réalisation d'infrastructures routières et de voiries réseaux divers.

Pour son engagement, son expertise et son sens du professionnalisme, l'entreprise a su se positionner assez rapidement au rang des opérateurs les plus promettant du secteur BTP en Côte d'Ivoire.

Leader dans le domaine du développement routier, NSE-CI se donne pour mission de contribuer efficacement au développement économique à travers la création d'emplois et la réalisation de projets innovateurs et durables. La réduction de la pauvreté, la préservation de l'environnement, la qualité de ses travaux en amélioration continue, en font une référence incontournable sur l'échiquier national et sous régional ouest africain.

Pour concevoir et exécuter rigoureusement tout projet relevant de son savoir-faire, NSE-CI s'appuie sur ses équipes de professionnels et d'experts dans les différents domaines du BTP.

NSE-CI ambitionne de contribuer significativement à la construction de la Côte d'Ivoire et du continent africain en relevant à travers chacune de ses actions le défi du développement durable.

I.1.2. Fiche d'identification

Raison sociale : Nicolas Srouji Etablissement Côte d'Ivoire

Forme Juridique : Société Anonyme (S.A)

Numéro RCS : CI-ABJ-2011-B-9383

Siège social : Abidjan-Plateau, IMMEUBLE TELIUM 3ème étage

17 BP 15 ABIDJAN 17

Tel : (225) 20 21 31 31 / 20 33 30 01

Représenté sur le présent projet par son directeur de projet **Mr Samir TABET**

I.1.3. Expertise

Avec ses centrales d'enrobage, ses centrales à Béton, ses parcs de machines et d'engins, NSE-CI couvre l'ensemble des métiers de la construction routière :

- Les travaux de terrassements généraux
- Construction et entretien des voiries et réseaux divers
- Production d'enrobés et de béton
- Construction d'ouvrages d'arts

I.2. PRESENTATION DU PROJET

I.2.1. Localisation de la zone du projet

La voie à réhabiliter est située au Centre de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest), dans le District de Autonome de Yamoussoukro plus précisément dans les localités de Yamoussoukro et Sahabo.

La zone d'influence indirecte comprend le District Autonome de Yamoussoukro et la Régions de la Marahoué, avec notamment les localités de Yamoussoukro et Bouaflé, ainsi que la (ou les) localité(s) où est (ou sont) située(s) la (ou les) zone(s) d'emprunt de matériaux graveleux.

La zone d'influence directe est constituée par l'emprise même de la route prévue qui est une bande de 10 km de long allant de la sortie de la ville de Yamoussoukro à l'entrée du village de Sahabo, limitée par l'alignement des poteaux électriques et téléphoniques et/ou des ouvrages d'assainissement (caniveaux), de part et d'autre de la voie.

I.2.2. Contexte et Justification du projet

Dans le cadre du désenclavement des zones d'influence directe, aux riches potentialités économiques, le Ministère de l'Équipement et de l'Entretien routier a obtenu des crédits pour financer les coûts des travaux de réhabilitation des anciennes voies de circulation en Côte d'Ivoire. Le projet est situé dans le centre et le centre-ouest de la Côte d'Ivoire. Il commence dans la ville de Yamoussoukro, et passe dans la ville de Bouaflé pour se terminer dans la ville de Daloa.

Ce projet comporte 145 km de route à réhabiliter dont les 10 km qui constituent l'objet de notre projet, ainsi que le prolongement des Ouvrages hydrauliques et l'élargissement des aires de stationnement dans les traversées des villes et villages.

Cette route est l'une des plus importantes de la Côte d'Ivoire. Sa réhabilitation contribuera inéluctablement au renforcement de la base économique dans les régions desservies en facilitant la mobilité d'accès à ces zones importantes de production agricole et minières, ainsi que les échanges entre lesdites régions et Abidjan.

La réhabilitation de ces 10 km de la route nationale tel qu'envisagé dans le cadre du projet global de renforcement de 145 km de routes de Yamoussoukro à Daloa, présentera d'importants avantages qui expliquent le bien-fondé de ce projet, à savoir :

- l'amélioration de l'efficacité du système de transport dans le pays
- l'augmentation de la capacité de la route à réduire sensiblement les accidents, l'insécurité des usagers parfois exposés aux braqueurs à cause de l'état de la route, les pertes de temps et tous les désagréments liés à la circulation des personnes et des biens
- une meilleure sauvegarde et diminution du coût d'exploitation des véhicules et la satisfaction des aspirations des populations dont les besoins ne cessent de s'accroître à ce sujet.

Le Projet de réhabilitation de la Section Yamoussoukro – Sahabo se justifie ainsi par la volonté de l'Etat de Côte d'Ivoire de pallier les situations suivantes :

- problèmes de sécurité routière avec la réduction de la largeur disponible pour les usagers
- accroissement sensible des temps de parcours et des coûts de transport lié à la dégradation importante par formation de nids de poule

- agressions récurrentes des usagers par des individus armés, favorisé par le ralentissement des véhicules dû aux dégradations de la route
- enclavement des localités concernées à certaines périodes de l'année, notamment en saison de pluies.

Les objectifs spécifiques pour nous sont :

- Proposition d'une solution de réhabilitation adéquate
- Rénovation des ouvrages de drainage
- Reconstruction des ouvrages défectueux
- Evaluation des impacts environnementaux avec proposition et suivi des mesures d'atténuation

I.2.3. Caractéristiques géo-climatique de la zone de projet

Le climat de la zone d'étude correspond à un climat équatorial plus précisément au climat Baouléen comportant quatre saisons.

- Longue saison sèche de mi-novembre à mi-mars, caractérisée par la présence, en décembre et janvier, du Harmattan, un vent sec et puissant venu du Sahara, qui abaisse considérablement l'humidité.
- Longue saison des pluies, de mi-mars à mi-juillet
- Courte saison sèche de mi-juillet à mi-septembre
- Courte saison des pluies, de mi-septembre à mi-octobre

En saison des pluies, il peut pleuvoir sans discontinuer pendant plusieurs jours consécutifs ou alors pleuvoir intensément pendant une heure, période à laquelle succède un très fort ensoleillement.

Les moyennes des quantités de pluie varient de 900 à 1 100 mm par an avec une répartition spatiale très variable dans l'année et d'une année à l'autre. La température moyenne de la région est d'environ 26 °C. L'humidité relative varie entre 75 et 85 % avec des chutes à 40 % en période d'harmattan et se situe entre 80 et 85 % en période pluvieuse.

Le paysage géomorphologique de la zone d'étude est généralement constitué d'un ensemble de collines assez uniformes, de plateaux très accidentés et de bas-fonds larges, plats et

marécageux, de pente longitudinale faible. On y rencontre par endroit des vallées et des collines. La végétation est constituée de savanes arborées et elle traversée par des cours d'eau dont la Marahoué et le N'Zi, deux affluents du Bandama.

I.3. METHODOLOGIE DE CONCEPTION

I.3.1. Méthode

Recherche documentaire

Cette phase consiste à la recherche de toutes les pièces écrites tirants des principales thématiques de cette présente étude. Elle conduit à l'obtention de plusieurs documents tels que :

- Les différents supports de cours reçus au cours de notre formation
- Les mémoires et thèses antérieurs
- Les cahiers de normes en vigueurs et les livres d'études scientifiques
- Les différentes pièces écrites traitant de l'exécution du projet

Collecte de données

Ici il est question du regroupement de toutes les données relatives aux différentes études menées dans le cadre du projet ou sur les phénomènes se produisant dans l'environnement du projet. Il s'agit entre autres :

- Du rapport géotechnique
- Du relevé des dégradations visuelles
- Des données du trafic
- Des données topographiques
- Du CCTP et EIES

Organisation

L'organisation du travail s'est fait suivant le chronogramme présent sur la figure ci-dessous

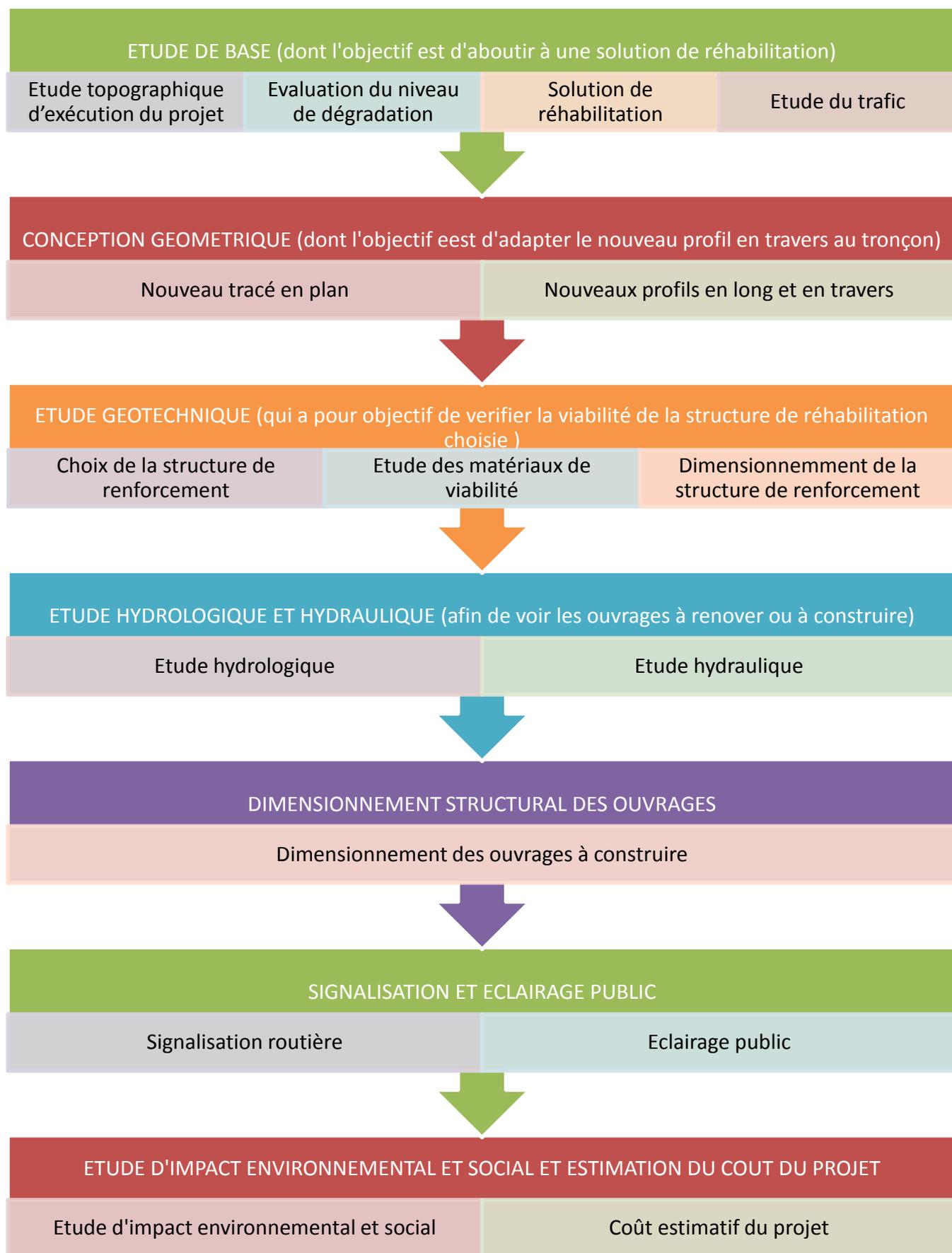


Figure 3: Méthodologie d'étude adoptée

I.3.2. Matériel utilisé

Il s'agit de tous les supports physiques et numériques obtenus lors de la recherche documentaire et de la collecte des données (support de cours de Béton armé, Hydraulique routière, Guides du CEBTP, etc...).

En ce qui concerne le traitement des données elle s'est faite essentiellement avec les logiciels et applications suivantes

- Microsoft office (Word, Excel) pour la rédaction du travail effectué
- Autodesk (Autocad et Covadis) pour la conception des plans
- Piste 5 pour l'obtention des tracés combinés
- Alizé LCPC pour le dimensionnement des structures de chaussée
- Google Earth, Global Mapper pour l'obtention des bassins versants

CHAPITRE II : ETUDE TECHNIQUE

II.1. ETUDE DE BASE

II.1.1. Etude topographique d'exécution du projet

Les études topographiques sont effectuées selon la méthodologie que décrite comme suit :

- Descente de la brigade topographique sur le terrain ;
- Reconnaissance du terrain
- Mise en place des polygonales ;
- Observation au GPS différentiel de tous les points de la polygonale principale;
- Calcul des coordonnées des points de la polygonale principale à l'aide du logiciel **Léica géo-office** ;
- Levé des points de la polygonale secondaire à l'aide de la station totale ;
- Levé de l'état des lieux de la zone du tronçon (amorces, localités, ouvrages, etc...)
- Traitement des données à l'aide des logiciels **Autocad**, **Civil 3D** et **Covadis**.

II.1.2. Résultats de l'étude topographique

L'étude topographique effectuée dans le cadre de notre projet a révélé les résultats suivants :

- La longueur totale du projet est d'environ 10 km
- Identification de buses et dalots ;
- Localisation des points singuliers et des amorces
- Détermination de l'ensemble des points de la polygonale du tronçon
- Profil en travers type de la route existante

Le *Tableau 1* présente les caractéristiques du profil en travers de la route existante :

		Caractéristiques du profil en travers type
--	--	--------------------------------------------

Localisation PK	Type de profil	N°	Désignation	Dimensions
PK 00+000	Tout l'ensemble du tronçon	1	Chaussée 2x1 voie	2x3.5 = 7m
PK 10+000 (Gauche et Droit)		2	Caniveaux en U ou fossés en terre	Variable
		3	Accotements	1m/ côté

Tableau 1: Caractéristiques du profil en travers type de la route existante

Le profil en travers type de la route existante étant différent de celui préconisé par les termes de références, il devient donc nécessaire d'étudier le nouveau tracé afin de répondre aux exigences fixées par le maitre d'ouvrages. Concernant les études du nouveau tracé, elles ont été menées par le BNETD nous nous sommes donc fiés à leurs spécifications pour l'exécution de nos travaux.

II.1.3. Evaluation de l'état apparent de la chaussée (relevé des dégradations)

Au cours de notre campagne d'étude, nous avons procédé à l'énumération des dégradations de la chaussée par observation visuelle en continue le long de la chaussée. L'objectif de cette phase était d'avoir plus de données sur les différents types de dégradations présentes sur le tronçon afin de proposer des solutions de renforcement ou d'amélioration de la chaussée.

Les épaufrures

Les différentes informations que nous avons pu recueillir sur les épaufrures se trouvent dans le *Tableau 2* ci-dessous :

Localisation	Nature de la dégradation et description	Causes
PK 0+000 Au PK 2+000	Epaufrures : cassure ou ébrèchement du bord du bitume	<ul style="list-style-type: none"> * L'action de l'eau * Le compactage insuffisant des rives de chaussée (enrobé bitumineux) * Largeur insuffisante de la

		chaussée (cas de la chaussée de 6 m)
--	--	-----------------------------------------

Tableau 2: Dégradation de type épaufrure et leur localisation



Figure 4: Photo illustrative des épaufrures

Les arrachements

De même que pour les épaufrures, les informations obtenues sur les arrachements se trouvent dans le *Tableau 3* ci-dessous :

Localisation	Nature de la dégradation et description	Causes
PK 0+060 au PK 4+000 PK 7+020 au PK 10+000	Arrachement du béton bitumineux : absence localisée ou arrachement des matériaux par plaque laissant apparaître la couche inférieure ou l'imprégnation	<ul style="list-style-type: none"> * L'arrachement des gravillons à raison de mauvaises mises en œuvre des mauvais accrochages (enduits superficiels) * Quantité insuffisante de liant * Trafic élevé

Tableau 3: Dégradation de type arrachement et leur localisation



Figure 5: Photo illustrative des arrachements

Les fissurations

En ce qui concerne les fissurations, le *Tableau 4* nous donne les différents détails utiles à notre compréhension.

Localisation	Nature de la dégradation et description	Causes
PK 0+060 Au PK 4+000	Fissuration maillée : il s'agit de fissures longitudinales et transversales qui se croisent et découpent la surface de la chaussée en élément de taille variable allant jusqu'au faïençage (mailles serrées).	<ul style="list-style-type: none">* La mauvaise qualité des matériaux* La mauvaise mise en œuvre* L'épaisseur insuffisante de la chaussée par apport au trafic.* L'âge de la chaussée, les fissures sont un signe de fatigue de la chaussée.

Tableau 4: Dégradation de type fissuration maillée et leur localisation



Figure 6: Photo illustrative des fissurations maillées + arrachement

Les nids de poule

Le *Tableau 5* nous indique la nature, les causes probables ainsi que la localisation des nids de poules.

Localisation	Nature de la dégradation et description	Causes
PK 00+000 Au PK 10+000	Nids de poule : C'est une cavité de forme généralement arrondie créée par le départ des matériaux de surface.	<ul style="list-style-type: none">* La qualité insuffisante des matériaux utilisés pour la construction de la chaussée;* L'infiltration de l'eau;* L'effet de la circulation* L'arrachement de matériaux lors du passage des véhicules* Stade finale d'un faïençage ou d'une flache

Tableau 5: Dégradation de type Nids de poule et leur localisation



Figure 7: Photo illustrative des nids de poule

En somme nous avons retrouvé sur l'ensemble du tronçon les dégradations suivantes :

- Des fissurations
- Des épaufrures ou épaufrements
- Des arrachements du béton bitumineux
- Des nids de poule

En plus des dégradations visibles, il y en a que l'on ne peut voir à l'œil nu. Afin de les avoir il est nécessaire de faire une auscultation de la chaussée.

II.1.4. Mesure et analyse des résultats de déflexion

L'auscultation de la route est une technique utilisée pour évaluer l'état de déformabilité d'une chaussée. Elle détecte les déformations qui sont invisibles à l'œil nu et relève aussi toutes les imperfections liées à l'uni et les déflexions. La déflexion donne une indication sur la portance et la rigidité d'une chaussée. Elle intervient comme critère de décision pour le choix de l'épaisseur de renforcement des chaussées et dans l'évaluation de la qualité des chaussées

La campagne de mesures de déflexion a été effectuée en quinconce (droite, gauche, axe) suivant un pas régulier de 20 m à l'aide de la poutre Benkelman et sous une charge à l'essieu de 13 tonnes.

✚ Principe de fonctionnement de la poutre BENKELMAN

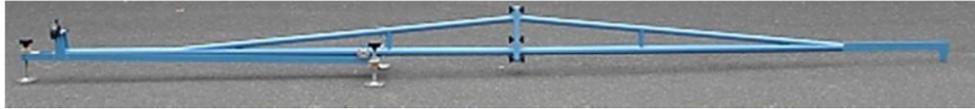


Figure 8: Poutre BENKELMAN

Ce matériel permet de mesurer la déflexion ponctuelle, à l'aide d'un comparateur mécanique, d'une structure de chaussée sous un essieu de véhicule. La poutre Benkelman est composée de deux Parties :

- Le bâti en partie fixe, constitue d'une poutre de 1.50 m environ ;
- Le fléau en partie mobile qui se compose d'une poutre de 3.75 m environ pouvant osciller autour de l'axe porté par le bâti.

L'horizontalité de la poutre Benkelman est contrôlée par un niveau à bulle. Le comparateur au 1/100 mm électronique se monte sur l'extrémité du châssis, par son oreille de fixation

Description de la mesure de la déflexion

La valeur de la déflexion retenue pour les sections unitaires de quelques centaines de mètres de longueur est calculée, en gommant les accidents de portance très ponctuels, avec la formule :

$$D90 = Dm + k\sigma, m = \text{valeur moyenne sur la section considérée}, \sigma = \text{écart type}$$

K = coefficient de probabilité

Dans notre cas comme dans de nombreux pays on adopte $k = 1,3$ c'est-à-dire à une probabilité de dépassement d'environ 10% qui est considérée admissible.

$$\text{On a donc } D90 = Dm + 1,3\sigma$$

$$\text{Coefficient d'homogénéité} = d/Dm$$

On classe alors les sections suivant le tableau à partir de la plus élevée des 2 valeurs mesurées (axe ou rive). L'exploitation statistique de ces paramètres pour un réseau situé dans une unité géologique et climatique, donne les valeurs des seuils de déflexions critiques :

- $d1$: valeur en dessous de laquelle on considère que la structure se comporte d'une façon satisfaisante. Dans notre cas $d1 = 50$.

- d2 : valeur au-dessus de laquelle on considère que la structure présente de sérieux défauts de portance. Dans notre cas d2= 100.

D'où le *Tableau 6* ci-après tiré du manuel du CEBTP-LCPC (mai 1985) :

Déflexion	Faible	d1	d2	Forte
Portance	Elevée	Médiocre	Faible	
Qualité des structures	Bonne	Douteuse	Mauvaise	

Tableau 6: Interprétation de la qualité de la structure en fonction de la déflexion (manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux)

Résultats obtenus

Le *Tableau 7*, récapitulatif des mesures de déflexion sur notre tronçon est le suivant :

PK Début	PK Fin	Nombre	Min	Max	Moyenne Dm	Ecart type	Déflexion caractéristique
0+000	3+000	156	52.0	102.0	78.8	12.0	94.45
3+020	5+000	100	56.0	92.0	75.6	9.7	88.16
5+020	8+000	150	54.0	90.0	74.9	9.3	86.94
8+020	10+000	100	50.0	86.0	66.7	10.0	79.70

Tableau 7: Récapitulatif des mesures de déflexion du PK 0+000 au PK 10+000 (Laboratoire NSE chantier)

Comme mesure de déflexion adoptée pour tout le tronçon nous prendrons celui de la section critique (PK 0+000 à PK 3+000 qui est la section où l'on observe les plus grandes valeurs de déflexion) qui correspond à **94.45**

II.1.5. Evaluation du Niveau de dégradation : Méthode VIZIR

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation de structure de chaussée (VIZIR, CEBTP-LCPC, AASHO, CRR Bruxelles, Loi de MINER...). Les trois premières permettent de déterminer un indice de qualité de service de la chaussée à partir d'une échelle de notes correspondant à l'état de la chaussée. Les deux dernières sont basées sur la notion de fatigue des matériaux ; c'est-à-dire l'endommagement des structures. En fonction du matériel sur place et de la facilité de son utilisation nous avons opté pour la méthode VIZIR

Le VIZIR est constitué d'une méthode de classification et de quantification des dégradations qui s'inscrit dans le cadre d'études générales de gestion de l'entretien des réseaux routiers ou d'études particulières d'entretien d'un itinéraire. Cette méthode est adoptée pour les structures des chaussées souples et consiste à évaluer les niveaux de dégradation (fissures, déformations et réparation) de chaussée en fonction de leur gravité et leur étendue afin de proposer une solution de réhabilitation adéquate.

Dans méthodologie suivante, les dégradations sont relevées et codifiées en fonction de leur étendue et de leur gravité.

Détermination de l'indice de fissuration

L'indice de fissuration (If) dépend de la gravité et de l'étendue (déterminée en fonction du nombre de fissures sur 100 m) des fissurations ou des faïençages rencontrés sur le long de la route considérée.

Dans notre cas l'état visuel de la route nous a montré que les fissures ont une gravité faible et occupent plus de 50% du tronçon considéré.

Le *Tableau 8* ci-après donne l'indice de fissuration en fonction de la gravité et de l'étendue des fissures

(1) Indice de fissuration (If)	Etendue	0 à 10%	10% à 50%	>50%
	Gravité			
	1	1	2	3
	2	2	3	4
	3	3	4	5

Tableau 8: Indice de fissuration en fonction de la gravité et de l'étendue (Organigramme méthode VIZIR)

Détermination de l'indice de déformation

L'indice de déformation (Id) tout comme l'indice de fissuration dépend de la gravité (déterminée en fonction de la profondeur de la déformation) et de l'étendue de la déformation le long du tronçon.

Les valeurs de l'indice de déformation sont représentées dans le *Tableau 9* ci- dessous :

(2) Indice de Déformation (Id)	Etendue Gravité	0 à 10%	10% à 50%	>50%
	1	1	2	3
	2	2	3	4
	3	3	4	5

Tableau 9: Indice de déformation en fonction de la gravité et de l'étendue (Organigramme méthode VIZIR)

Sur notre tronçon les déformations sont inexistantes, nous avons **Id=1**

🚧 Détermination de l'indice de dégradation

Le croisement de la valeur de l'indice de fissuration (If) et celle de l'indice de déformation (Id) permet de déterminer un premier indice de dégradation qui qualifie la chaussée. Dans le cas où il y a nécessité de prendre en compte les réparations en fonction de la gravité et de l'étendue des dégradations, cet indice sera corrigé.

If Id	0	1-2	3	4-5
0	1	2	3	4
1-2	3	3	4	5
3	4	5	5	6
4-5	5	6	7	7

Tableau 10: Indice de dégradation (Organigramme méthode VIZIR)

Le *Tableau 10* ci- dessus nous donne la grille de l'indice de dégradation

Pour caractériser l'état apparent de la chaussée, la grille ci-dessus est divisée en quatre états avec les significations suivantes :

- Bon : 1 (peu ou pas des fissures) ;
- Médiocre : 2- 3 (fissuré mais non déformé) ;
- Mauvais : 4 - 5 (fissuré et déformé) ;

- Très mauvais : 6- 7 (très fissuré et très déformé).

Dans le cas de notre projet l'indice de fissuration étant **If = 3** et celui de déformation **Id = 0**, on déduit donc un **état médiocre de surface fissurée et non déformée** avec comme **indice de dégradation Is = 3**.

Sur le tronçon on peut remarquer des réparations antérieures (PAT) qui sont de gravité moyenne sur une étendue de moins de 50%

Le *Tableau 11* ci-dessous donne la valeur de la correction due aux réparations :

Etendue Gravité	0 à 10%	10% à 50%	>50%
1	0	0	0
2	0	0	+1
3	0	+1	+1

Tableau 11: Valeur de la correction due aux réparations (Organigramme méthode VIZIR)

Ici la valeur de correction est de 0 donc on conserve notre **indice de dégradation Is = 3**.

Détermination de la note de qualité

Au vu des mesures de déflexion et de relevés de dégradation La méthode de détermination de la qualité apparente de la chaussée utilisée est la méthode du « Manuel pour le renforcement des chaussées souple en pays tropicaux » (CEBTP LCPC, Mai 1985) préconise que la qualité (Qi) de la chaussée soit déterminée par le couple (déflexion, état apparent de la structure). On cherchera donc à établir une corrélation entre le niveau des dégradations sur un itinéraire ou plutôt sur un ensemble d'itinéraire et le niveau de déflexion.

Chaque valeur de Qi correspond à une solution de remise en état comme présenté dans le *Tableau 12* ci-dessous. (i) varie de 1 à 5 comme indiqué.

- Q1 pour une chaussée en bonne état,
- Q2 nécessite un enrobé courant,
- Q3 et Q4 nécessite un renforcement de la structure

- Q5 nécessite une reconstruction de la structure

Le croisement de deux paramètres que sont l'état apparent et la déflexion de la chaussée permet de déterminer la note de qualité à donner à la structure. Cette note de qualité oriente pour le choix de la solution d'entretien ou de renforcement à appliquer à la structure de chaussée étudiée. A chaque valeur de qualité Q_i , i allant de 1 à 5 correspond une solution de remise en état à appliquer à la structure comme le montre le tableau ci –dessous :

Déflexion	d ₂		
	Bonne	Douteuse	Mauvaise
1-2 : Peu ou pas de fissures ou pas de déformation	Q ₁	Q ₂	Q ₃
3-4 : Fissures sans ou avec peu de déformation et déformations sans fissures	Q ₂	Q ₃	Q ₄
5- 6-7 : Fissures et déformation	Q ₃	Q ₄	Q ₅

Tableau 12: Note de qualité (Manuel pour le renforcement des chaussées souple en pays tropicaux)

Les niveaux de d_1 et d_2 varient d'ailleurs suivant la situation géographique et climatique. On situe ses niveaux par l'expérience, d'où les valeurs ci-dessous à titre indicatifs données par « Manuel pour le renforcement des chaussées souple en pays tropicaux » (CEBTP LCPC, Mai 1985).

	Niger	Mali	Côte d'Ivoire	Cameroun	Gabon
d ₁ (1/100 mm)	60	60-70	50-75	50-60	80
d ₂ (1/100 mm)	40	80-100	100-150	80	100

Tableau 13: Valeur de d₁ et d₂ pour certains pays d'Afrique (Manuel pour le renforcement des chaussées souple en pays tropicaux)

Le projet se situant en Côte d'Ivoire, nous ferons les choix suivants

- **d₁=50/100^emm**

- **d2=100/100^emm**

Dans notre cas, la structure de chaussée présente un **état médiocre de surface fissurée et non déformée** avec comme **indice de dégradation Is = 3** et la **déflexion de est douteuse (94 comprise entre d1=50 et d2=100)**, ce qui nous donne **une note de qualité Q3**

II.1.6. Solution à adopter ou préconisée

Au vu des résultats des mesures de déflexions et des relevés des dégradations, nous proposons comme solution **le renforcement de la chaussée sur tout le tronçon Yamoussoukro-Sahabo soit du PK 0+000 au PK 10+000**. L'épaisseur de renforcement nous sera donnée en fonction du trafic à étudier.

II.1.7. Etude du trafic

Le trafic est un paramètre important dans le dimensionnement des chaussées. Le passage des véhicules impose à la chaussée des efforts par l'intermédiaire des pneumatiques et ce volet consiste donc à déterminer le volume de trafic que va supporter la route au cours de sa durée de vie.

Dans notre cas l'étude du trafic a été réalisée par le Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics (LBTP).

Les hypothèses suivant ont été émises pour l'étude du trafic :

TMJA à la mise en service en PL : 663

Taux de croissance géométrique annuel : $i = 5,5\%$,

Durée de service initiale de calcul : $n = 20$ ans,

Coefficient d'Agressivité Moyen des poids lourds (CAM) : 2,2

Etude du trafic en nombre d'essieux équivalents

Le trafic projeté sur toute la durée de service de l'ouvrage est un paramètre essentiel d'entrée dans l'abaque de dimensionnement du CEBTP. Pour le calcul des structures de chaussée, le trafic à prendre en compte doit finalement être exprimé par le nombre cumulé d'essieux standard (NES) qui passeront sur la voie la plus chargée de la chaussée.

La formule de calcul du NES est la suivante :

$$NES = 365 \times A \times TMJA \times n \frac{(1 + i)^n - 1}{n \times i}$$

Avec :

- TMJA, le trafic moyen journalier annuel de l'année de base en UPL
- n, la durée de service de la route en année
- i, le taux de croissance annuelle par catégorie de véhicule.
- A, l'agressivité du poids lourds type.

On obtient :

$$NES = 1.0E + 07 \text{ Essieux équivalents}$$

Conformément à la classification CEBTP nous verrons dans quelle tranche se situe notre valeur afin d'avoir la classe de notre trafic qui suit :

	T_1	$< 5 \cdot 10^5$
$5 \cdot 10^5$	T_2	$< 1,5 \cdot 10^6$
$1,5 \cdot 10^6$	T_3	$< 4 \cdot 10^6$
$4 \cdot 10^6$	T_4	$< 10^7$
10^7	T_5	$< 2 \cdot 10^7$

Figure 9: Classification du trafic en fonction du nombre d'essieux équivalents (CEBTP)

La valeur obtenue est la limite du trafic T4 mais conformément aux prescriptions du CCTP nous allons garder un trafic de **type T4**.

Les résultats de toutes ces études sont consignés dans le *Tableau 14* ci-dessous :

Tronçon	Trafic	Qualité structure	D90 (1/100mm)	Eléments complémentaires	Recommandations

PK 0+000 PK 10+000	T4	Q3	94	Nids de poule	Nécessité de renforcement
-----------------------	----	----	----	---------------	----------------------------------

Tableau 14: Récapitulatif des études de base

II.2. CONCEPTION GEOMETRIQUE : ETUDE DU NOUVEAU TRACE

II.2.1. Rappel des Termes de Référence

Les termes de références qui nous ont été imposé pour l'étude du tracé de la route Yamoussoukro-Sahabo ont été définis par le maitre d'ouvrage et se présentent comme suit :

- La vitesse de référence est de 80Km/h
- Élargissement des accotements à 1.50 m en rase campagne et à 2.00 m en agglomération pour servir de stationnement et bande d'arrêt d'urgence.
- Profil de 2 x 1 voie de 3.70m de largeur en rase campagne comme en agglomération (villages environnants)

En ce qui concerne les normes utilisées, l'étude a été fait en se basant sur « **les recommandations techniques pour la conception générale et la géométrie de la route – Aménagement des Routes Principales (ARP)** » du SETRA.

Pour le tracé en plan, les caractéristiques géométriques des sections routières relatives à la catégorie **R80** telles que définies par l'ARP sont rappelées dans le *Tableau 15* ci-après :

Paramètres caractéristiques		Symboles	Valeurs
Dévers maximal		M (%)	7
Rayon en plan RH(m)	Minimal absolu (dévers M)	RHm	240
	Minimal normal (dévers)	RHN (%)	425 (5%)

Au dévers minimal (*)	RH'' (2.5%)	650
	RH'' (2%)	700

Tableau 15: Paramètres du tracé en plan pour la catégorie R80 selon l'Aménagement des Routes Principales

La route sera aménagée avec un dévers en alignement droit de 2,5 %. Le *Tableau 16* ci-après présente les dévers types retenus pour une route de catégorie R80.

Valeur de rayon	Sens du dévers	Valeur du dévers (%)
240 m	Vers l'intérieur du virage	7%
Compris entre 240 et 650 m	Vers l'intérieur du virage	$-0,13 + 1712,2/R$
650 m	Vers l'intérieur du virage	2,5 %
Compris entre 650 et 900 m	Vers l'intérieur du virage	2,5 %
900 m et plus	En toit	2,5 %

Tableau 16: Valeur des devers pour une route de type R80

Déclivité maximale en rampe		m (%)	6	
Rayon avec angle saillant Rv(m)	Chaussée unidirectionnelle. (Route à 4 voies ou à 2 chaussées)	Minimal absolu	RVm1	3000
		Minimal normal	RVN1	6000
	Chaussée bidirectionnelle. (Route à 2 ou 3voies)	Minimal absolu	RVm2	4500
		minimal normal	RVN2	10000
Rayon en angle	Minimal absolu	RVm'	2200	

rentrant RV' (m)	Minimal normal	RVN'	3000
Rayon assurant la distance de visibilité de dépassement minimale sur route à 2 ou 3 voies		RVD (m)	11000

Tableau 17: Paramètres géométriques limites du profil en long selon l'Aménagement des Routes Principales

II.2.2. Calcul des paramètres cinématique en fonction de la vitesse de référence

Le calcul des paramètres cinématiques est effectué pour assurer la sécurité et le confort des usagers de la route, c'est pour cette raison que nous avons déterminé tous les paramètres fonction de la vitesse de référence nécessaires à une meilleure conception géométrique de la route. Les détails de calcul sont présentés en annexe. Les résultats de calculs sont regroupés dans le *Tableau 18* ci-dessous.

Désignation		Unités	Valeurs
Vitesse de référence		Vr (Km/h)	80
Distance de freinage		d ₀ (m)	58,78
Distance d'arrêt en alignement droit		d ₁ (m)	71
Distance d'arrêt en courbe		d ₂ (m)	85,71
Distance de visibilité de dépassement	Minimale	d _d (m)	311,11
	Normale	dD(m)	466,67

Tableau 18: Paramètres cinématiques en fonction de la vitesse de référence

II.2.3. Nouveau tracé en plan

Le tracé en plan est constitué d'une succession d'alignements droits et de courbes respectant pour la majorité les caractéristiques géométriques de référence et les règles de construction (les rayons qui ne respectent pas les caractéristiques de références étant dus aux contraintes du terrain naturel). Les alignements droits constituent un tracé idéal mais on évitera

cependant des alignements droits d'une longueur supérieure à 2km car elles créent une certaine monotonie chez le conducteur de jour et sont gênantes de nuit à cause de l'éblouissement des phares. Nous vérifierons le respect d'un pourcentage d'au moins 50% pour les alignements droits dans les tracés routiers comme prescrit dans le document ARP.

Ainsi, dans notre projet, sur un linéaire total de 10.005 km, nous avons relevé :

- 18 courbes d'un linéaire total d'environ 974 m, représentant 10% du linéaire total
- 19 alignements droits d'un linéaire total d'environ 9031 m, représentant 90% du linéaire total.

Les tableaux faisant une synthèse des différentes caractéristiques de l'axe en plan de notre projet obtenus à partir de **Covadis 10** sont en annexe.

Intitulé	Valeurs (m)	Nombre de fois utilisés	Longueurs (m)	Pourcentage
Plus petit rayon (courbes)	9.56	1	4,546	-
Plus grand rayon (courbes)	4500	1	4,979	-
Plus grand alignement droit	-	-	877,881	-
Total courbes	-	-	973,98	9.73%
Total clothoïdes	9.56	1	4,546	0.45%
Total alignements droits	-	-	9031,329	90.27%
LONGUEUR TOTALE DU PROJET			10005,309	100%

Tableau 19: Récapitulatif des paramètres du nouveau tracé en plan

Au vu de ces pourcentages, nous pouvons dire que notre tracé est équilibré compte tenu du respect de la marge de pourcentage des raccordements circulaires (environs 10 %) et des alignements droit (environs 90 %).

II.2.4. Caractéristiques du profil en long et du profil en travers du nouveau tracé

Le profil en long se compose d'une succession d'éléments rectilignes caractérisés par leur déclivité (pentes et rampes) et de raccordements paraboliques caractérisés par leur rayon (rentrant et saillant). Les raccordements convexes en points haut sont appelés raccordement en angles saillants et les raccordements concaves sont appelés les angles entrants.

Dans notre cas nous avons essayé de nous rapprocher le plus possible du profil en long de la route existante, le tracé combiné obtenu avec le tracé en plan se retrouve en ANNEXE 6 : TRACE COMBINE.

Les *Tableau 20* et *Tableau 21* présentent les caractéristiques des profils en travers types qui ont été retenus pendant l'étude dans les agglomérations et en rase campagne les plans étant en ANNEXE 7 : PROFILS EN TRAVERS TYPES.

		Caractéristiques du profil en travers type		
Localisation PK	Type de profil	N°	Désignation	Dimensions
PK 00+000 PK 10+000 (Gauche et Droit)	Rase Campagne	1	Chaussée 2x1 voie	2x3.7 = 7.4m
		2	Fossés en terre	Variable
		3	Accotements	1.5m/ côté

Tableau 20: Profil en travers type en rase campagne

		Caractéristiques du profil en travers type		
Localisation PK	Type de profil	N°	Désignation	Dimensions
PK 2+740 PK 3+280 (Aboua Kouassikro)	Agglomération (Traversée des villages)	1	Chaussée 2x1 voie	2x3.7 = 7.4m
PK 4+200 PK 4+660 (Bonzi)		2	Caniveaux en U	Variable
PK 5+315 PK 6+000 (Kikro)		3	Accotements	2m/ côté
PK 10+000 (Sahabo)				

Tableau 21: Profil en travers type en agglomération

II.2.5. Conclusion de l'étude

Les travaux à prévoir dans le volet routier doivent respecter les résultats des enquêtes socioéconomiques relatives à l'étude de saturation de trafic menée sur une période de 20 ans après la mise en service. Ces travaux concerneront pour le :

- ❖ Tracé en plan : Nouveau tracé ayant des caractéristiques différentes de l'ancien.
- ❖ Profil en long : conservation du profil en long sur tout l'itinéraire ;
- ❖ Profil en travers :
 - Profil de 2 x 1 voie avec accotements de 2 m avec caniveaux en U à la traversée des agglomérations.
 - Profil de 2 x 1 voies avec accotements de 1,5 m avec fossé (en V) en rase campagne.

II.3. ETUDE GEOTECHNIQUE

II.3.1. Présentation des différentes structures de renforcement

A partir de la qualité de la structure existante (Q3) et du type de trafic T4 et selon le « Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux » du CEBTP nous obtenons les structures solution de renforcement présentées dans le « *Tableau 22 : Proposition des structures de renforcement* »

VARIANTE	COUCHE DE ROULEMENT	COUCHE DE BASE
VARIANTE 1	6 cm BB	10 cm GB
VARIANTE 2	6 cm BB	12 cm GB
VARIANTE 3	6 cm BB	20 cm GC
VARIANTE 4	6 cm BB	22 cm GC

Tableau 22: Proposition des structures de renforcement (Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux)

Afin de prendre en compte les observations du Ministère des Infrastructures Economiques, l'entreprise en charge des travaux a réalisé à la date du 23 mars 2018 une planche d'essai de recyclage au ciment à 3% sur une épaisseur de 25 cm. Cette planche d'essai a été réalisée sur la demi-chaussée gauche (Sens allant vers Bouaflé) sur un linéaire de 180 m.

II.3.2. Choix de la variante

Ces structures finales sont obtenues à partir des solutions proposées par le « Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux » du CEBTP tout en tenant compte des observations du Ministère des Infrastructures Economiques. Elles sont présentées dans le *Tableau 23* suivant :

VARIANTE	COUCHE DE ROULEMENT	COUCHE DE BASE	COUCHE DE FONDATION	SOL SUPPORT
VARIANTE 1	6 cm BB	10 cm GB	25 cm MATERIAUX AMELIORES AU CIMENT 3%	ANCIENNE STRUCTURE
VARIANTE 2	6 cm BB	12 cm GB	25 cm MATERIAUX AMELIORES AU CIMENT 3%	ANCIENNE STRUCTURE
VARIANTE 3	6 cm BB	20 cm GC	25 cm MATERIAUX AMELIORES AU CIMENT 3%	ANCIENNE STRUCTURE
VARIANTE 4	6 cm BB	22 cm GC	25 cm MATERIAUX AMELIORES AU CIMENT 3%	ANCIENNE STRUCTURE

Tableau 23: Choix de la variante définitive à dimensionner

II.3.3. Principe de dimensionnement

Le dimensionnement routier consiste à évaluer le niveau de sollicitation de la chaussée et à déterminer les épaisseurs à donner aux différentes couches afin de réduire les contraintes et les déformations à des valeurs admissibles pour un trafic donné. Ce type de dimensionnement prend en compte la méthodologie du Guide technique du LCPC-SETRA qui fait appel au programme de calcul de structure ALIZE. Ce dernier est basé sur la méthode de Burmister, calcule sous une charge circulaire, les contraintes et déformations en différents points dans un

massif multicouches semi-infini, où chaque couche est homogène, isotrope à comportement élastique linéaire.

De façon générale, les critères retenus pour le dimensionnement de chaussées sont au nombre de trois :

- ✓ **la déformation verticale des matériaux non traités et du sol support, notée ε_z** et exprimée sans unité, paramètre retenu pour les chaussées souples ;
- ✓ **la déformation horizontale exercée à la base des matériaux bitumineux, notée ε_t** et exprimée sans unité, paramètre retenu pour les chaussées en enrobés ;
- ✓ **la contrainte horizontale exercée à la base des matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH), noté σ_t** et exprimée en bars ; critère retenu pour les matériaux traités aux liants hydrauliques.

II.3.4. Limites admissibles des contraintes et déformations

A la lumière de ce bref rappel sur les fondements de la méthode rationnelle de dimensionnement, nous retenons trois critères et leurs valeurs admissibles ε_{tadm} : la déformation horizontale admissible à la base des matériaux bitumineux d'assise de chaussée ; la déformation verticale à la surface de la plate-forme ε_{zadm} et la contrainte horizontale exercée à la base des matériaux traités aux liants hydrauliques σ_{tadm} .

Sur cette base et en fonction de plusieurs coefficients définis ci-dessous, ces critères de dimensionnement sont donnés par les équations suivantes :

- **la déformation horizontale exercée à la base des matériaux bitumineux**

$$\varepsilon_{tadm} = \varepsilon_6 \times \left(\frac{E_1}{E_2}\right)^{0,5} \times \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b \times k_c \times k_r \times k_s$$

$(NE/10^6)^b$: coefficient lié au nombre d'essieux équivalents

- ✓ ε_6 : l'élongation admissible pour une fréquence de 25 Hz et une température de 10°C
- ✓ E_1 : le module du matériau à la température équivalente de 10°C
- ✓ E_2 : le module du matériau à la température équivalente du milieu d'utilisation;
- ✓ NE : nombre d'essieux équivalents

- ✓ b : la pente de la droite de fatigue des matériaux
- ✓ kc : coefficient de salage destiné à ajuster les résultats du modèle de calcul ou comportement observé de chaussée du même type. Pour les chaussées a assise traitée aux liants hydrauliques, la valeur retenue est 1.5
- ✓ $K_r = 10^{-ub} 10^{-ub\varepsilon}$: coefficient qui traduit l'approche probabiliste de la méthode
- ✓ ks : coefficient lié à la qualité de la plate-forme qui vaut 1/1,2 si PF1 ; 1/1 si PF2 et 1 pour PF3 et PF4.
- **la contrainte horizontale exercée à la base des matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH)**

$$\varepsilon_{tadm} = \sigma_i \times k_c \times k_r \times k_d \times k$$

- $\sigma_t(\text{NE})$: contrainte pour laquelle la rupture par traction en flexion sur éprouvette de 360j est obtenue pour 10^6 cycles
- kd : coefficient introduit pour prendre en compte l'effet des discontinuités pour la couche de base, il prend pour valeur 1/1,25 pour les graves traités.
- **la déformation verticale des matériaux non traités et du sol support**

$$\varepsilon_{zadm} = 2,8 \cdot 10^{-2} \times NE^{-0,25} \quad (\text{Loi de tassement de Shell})$$

$$\sigma_{zadm} = \frac{0,3 \times CBR}{1 + 0,7 \log NE} \quad (\text{Kerkhoven et Dormon})$$

II.3.5. Vérification du dimensionnement

ALIZE LCPC permet de déterminer à partir d'un modèle multicouche, élastique et linéaire, les déformations et contraintes réellement observées au niveau de nos différentes couches, ensuite nous comparons ses valeurs à celles des déformations et contraintes admissibles. Il est possible d'ajuster les épaisseurs pour obtenir de meilleurs résultats Les hypothèses considérées sont les suivants :

- La structure d'une chaussée est déterminée par n couches d'épaisseurs finies (sauf la dernière), infinie en plan.
- Les matériaux ont un comportement élastique et linéaire,

- Les contraintes sont des pressions ou des cisaillements. Chaque couche de chaussée est caractérisée par quatre paramètres de base ou les données à rentrer dans le modèle pour les différentes simulations sont :
 - L'épaisseur h_i ;
 - Le module d'Young (E_i) ;
 - Le coefficient de poisson (ν) ;
 - Les types d'interface entre les couches (conditions de collage) : Ici toutes les couches utilisent l'**interface « collé »**

Les paramètres d'entrée des différents matériaux utilisés sont les indiqués dans le *Tableau 24* suivant :

Matériaux	e (cm)	CBR	CAM	Module de rigidité E (MPa)	Coefficient de Poisson	ϵ_6 (μm)	σ_6	Sh (cm)	1/b	SN	kc	r (%)	u	c (cm^{-1})	ks	Kd
Béton bitumineux	6		2.2	2220	0,35	100	-	1	5	0,25	1,1	10	-1,28	0,02	1	
Grave Bitume 2	10	-	2.2	3420	0,35	80	-	$1+0,3(e-10) =1$	5	0,3	1,3	10	-1,28	0,02		
Sol ciment	25	-	2.2	12000	0,25	-	0.42	2,5	12	0,8	1,4	10	-1,28	0,02	1	1
Grave Latéritique Ciment	15	-	2.2	5000	0,25	-	0.21	2.5	10	0.8	1.4	10	-1.28	0.02	1	1
Grave Latéritique	18		2.2	280	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grave Latéritique argileuse	30		2.2	148	0.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grave Latéritique	-		2.2	100	0.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau 24: Paramètres d'entrée pour la variante choisie

Les hypothèses, les résultats des valeurs admissibles et les valeurs obtenues après simulation sur le logiciel *Alizé* sont présentés en ANNEXE 2 : ETUDE GEOTECHNIQUE ET DIMENSIONNEMENT DE CHAUSSEE.

Après vérification nous obtenons les résultats consignés dans le *Tableau 25* ci-dessous

COUCHES	EPAISSEURS (cm)	VALEURS ADMISSIBLES	VALEURS OBTENUES	CONDITION
Roulement en BB	6	$\varepsilon_{Tadm} = 95,53$	$\varepsilon_{Tsup} = 19,9$	Condition vérifiée
			$\varepsilon_{Tinf} = 7,5$	Condition vérifiée
Base en GB	10	$\varepsilon_{Tadm} = 92,14$	$\varepsilon_{Tsup} = 7,5$	Condition vérifiée
			$\varepsilon_{Tinf} = -1,0$	Condition vérifiée
Fondation en matériaux recyclés améliorés au ciment 3%	25	$\sigma_{Tadm} = 0,483$	$\sigma_{Tsup} = 0,113$	Condition vérifiée
			$\sigma_{Tinf} = -0,379$	Condition vérifiée
Plateforme 2 (Ancienne structure)	63	$\varepsilon_{Zadm} = 426,6$	$\varepsilon_Z = 78,8$	Condition vérifiée
Plateforme 1 (Sol support ancienne structure)	-	$\varepsilon_{Zadm} = 426,6$	$\varepsilon_Z = 143,7$	Condition vérifiée

Tableau 25: Vérification du dimensionnement de la variante choisie

Après avoir procédé à des variations automatiques des épaisseurs de la Grave Bitume, nous nous rendons compte qu'avec une épaisseur de 8 cm les conditions sont toujours vérifiées et nous obtenons toujours une structure acceptable aussi bien techniquement qu'économiquement. Le *Tableau 26* montre les vérifications pour cette variante révisée :

COUCHES	EPAISSEURS	VALEURS ADMISSIBLES	VALEURS OBTENUES	CONDITION
Roulement en BB	6	$\varepsilon_{Tadm} = 95,53$	$\varepsilon_{Tsup} = 25,8$	Condition vérifiée
			$\varepsilon_{Tinf} = 9,2$	Condition vérifiée
Base en GB	8	$\varepsilon_{Tadm} = 92,14$	$\varepsilon_{Tsup} = 9,2$	Condition vérifiée
			$\varepsilon_{Tinf} = 1,6$	Condition vérifiée
Fondation en matériaux recyclés améliorés au ciment 3%	25	$\sigma_{Tadm} = 0,483$	$\sigma_{Tsup} = 0,147$	Condition vérifiée
			$\sigma_{Tinf} = -0,404$	Condition vérifiée
Plateforme 2 (Ancienne structure)	63	$\varepsilon_{Zadm} = 426,6$	$\varepsilon_Z = 83,8$	Condition vérifiée
Plateforme 1 (Sol support ancienne structure)	-	$\varepsilon_{Zadm} = 426,6$	$\varepsilon_Z = 152,7$	Condition vérifiée

Tableau 26: Vérification du dimensionnement de la variante choisie, révisée

Nous retenons donc la structure suivante pour notre variante 1

- ❖ **6 cm de Béton Bitumineux en couche de roulement**
- ❖ **8 cm de Grave bitume en couche de base**
- ❖ **25 cm de Matériaux recyclés améliorés au ciment (3%) en couche de fondation**
- ❖ **63 cm de graveleux recyclés (nouvelle plateforme)**
- ❖ **l'ancienne plateforme**

La deuxième variante à vérifier est celle utilisée par la structure d'accueil à savoir :

- 8cm de Béton Bitumineux en couche de roulement
- 20 cm de Grave non traitée en couche de base
- 30 cm de Matériaux recyclés améliorés au ciment (3%) en couche de fondation

Les vérifications avec le logiciel Alizé ont donné les résultats consignés dans le *Tableau 27* suivant, les détails de calculs et résultats obtenus étant en ANNEXE 2 : ETUDE GEOTECHNIQUE ET DIMENSIONNEMENT DE CHAUSSEE.

COUCHES	EPAISSEURS	VALEURS ADMISSIBLES	VALEURS OBTENUES	CONDITION
Roulement en BB	8	$\varepsilon_{Tadm} = 95,53$	$\varepsilon_{Tsup} = -120$	Condition vérifiée
			$\varepsilon_{Tinf} = -166,2$	Condition vérifiée
Base en GNT 0/31,5	20	$\varepsilon_{Zadm} = 426,6$	$\varepsilon_Z = 180,9$	Condition vérifiée
				Condition vérifiée
Fondation en matériaux recyclés améliorés au ciment 3%	30	$\sigma_{Tadm} = 0,483$	$\sigma_{Tsup} = 0,148$	Condition vérifiée
				$\sigma_{Tinf} = -0,283$
Plateforme 2 (Ancienne structure)	63	$\varepsilon_{Zadm} = 426,6$	$\varepsilon_Z = 63,6$	Condition vérifiée
Plateforme 1 (Sol support ancienne structure)	-	$\varepsilon_{Zadm} = 426,6$	$\varepsilon_Z = 116,5$	Condition vérifiée

*Tableau 27: Vérification du dimensionnement de la variante choisie par la structure
d'accueil*

Cette structure de renforcement qui est semi-rigide est aussi bonne et les matériaux d'emprunts sont disponibles dans la zone du projet. Cependant il est possible qu'elle ne respecte pas la durée de vie fixée (20 ans) du fait de sa nature (semi-rigide).

II.3.6. Conclusion de l'étude

A la fin de notre étude structural, nous voyons que les deux structures de renforcement sont acceptables, **mais vu la durée de vie de la route (20 ans) il est préférable de garder la structure de chaussée souple par rapport à une structure semi-rigide (avec la GNT)** donc nous opterons pour notre première variante à savoir :

- ❖ **6 cm de Béton Bitumineux en couche de roulement**
- ❖ **8 cm de Grave bitume en couche de base**
- ❖ **25 cm de Matériaux recyclés améliorés au ciment (3%) en couche de fondation**
- ❖ **63 cm de graveleux recyclés (nouvelle plateforme)**
- ❖ **l'ancienne plateforme**

II.4. ETUDE HYDROLOGIQUE, HYDRAULIQUE ET DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL DES OUVRAGES

L'assainissement routier est l'ensemble des moyens et techniques mis en œuvre pour pallier aux problèmes de collecte et d'évacuation des eaux superficielles et des eaux internes sur l'emprise de l'ouvrage.

Il s'agira donc de faire le point des débits d'eau des écoulements naturels observés sur l'emprise de notre chaussée afin de déterminer et de dimensionner les ouvrages hydrauliques nécessaires à l'évacuation de ces eaux. Mais, avant tout il est impératif d'identifier les bassins versants ainsi que leurs caractéristiques. Cette identification se fait à travers l'étude hydrologique.

II.4.1. ETUDE HYDROLOGIQUE

L'étude hydrologique met en évidence la détermination des débits de crue pour chaque bassin versant dont l'écoulement coupe notre projet. Il est cependant nécessaire de pouvoir délimiter ces bassins et trouver leurs caractéristiques. Nous utiliserons à cet effet :

- Google Earth
- Global Mapper un logiciel de Système d'Information Géographique (SIG) qui permet d'arriver à ces résultats.

II.4.1.a. Caractéristiques des bassins versants obtenus

Les paramètres physiques et géométriques (*Tableau 28*) de ces bassins ont été déterminés par le logiciel Global Mapper. Pour notre projet, ces paramètres sont essentiellement:

- L'exutoire : à partir duquel on peut tracer la ligne de partage des eaux qui délimite le bassin versant ;
- Le périmètre : c'est le contour des surfaces des bassins versant ;
- La superficie en km², il s'agit de l'aire totale, incluant éventuellement ceux des sous bassins, drainé par l'écoulement et circonscrite par les ligne de partages des eaux ;
- La longueur hydraulique : la distance entre l'exutoire et le point le plus éloigné du bassin
- La pente moyenne des bassins versants en pourcentage (%) ;
- Les altitudes : ce sont les altitudes maximales et minimales des bassins;

N° des BV	Superficie (km ²)	Périmètre (km)	Longueur hydraulique (km)	Zmin (m)	Zmax (m)	Indice de Gravelius Ic (%)	Pente moyenne I (%)
BV1	7.063	11.957	3.30	201	254	12.02	3.89
BV2	1.967	5.508	1.45	211	249	7.75	3.95
BV3	0.603	3.15	0.751	208	246	7.28	3.54
BV4	1.484	5.745	1.40	208	248	8.62	3.87

BV5	0.713	3.36	0.468	212	241	7.46	3.62
BV6	0.3144	2.554	0.275	215	240	5.95	3.69
BV7	1.025	4.47	1.10	192	235	10.68	4.21
BV8	1.115	4.737	1.33	180	226	7.68	3.74
BV9	0.672	3.793	0.914	174	200	7.38	3.58

Tableau 28: Caractéristiques des bassins versants obtenus

II.4.1.b. Méthode d'évaluation des débits

Toute étude d'un réseau d'assainissement nécessite à l'étape initiale la détermination des débits d'eaux pluviales à prendre en compte. Le problème d'évaluation des débits pluviaux dans les bassins versants a fait depuis longtemps l'objet de nombreuses études théoriques. Ainsi plusieurs méthodes d'évaluation des débits pluviaux sont adoptées parmi lesquelles on peut citer (NGUYEN VAN, 1981) :

- La méthode rationnelle ;
- La méthode superficielle de Caquot ;
- La méthode du CIEH ;
- La méthode ORSTOM ;
- ...

II.4.1.c. Calcul des débits projet

Dans le cadre de notre projet nous avons étudié 2 méthodes à savoir :

- Méthode rationnelle : pour les bassins dont la superficie est inférieure 4 km²
- La méthode ORSTOM : pour les bassins de plus de 4 km²

Les détails de calculs sont présentés en ANNEXE 3 : ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE. Les différents débits obtenus sont regroupés dans les *Tableau 29* et *Tableau 30* :

N° BV	Superficie (km ²)	Longueur Hydr. (m)	Pente I (m/m)	Coefficient ruis. C	Temps de conc. Tc (min)	Montana		Intensité (mm/h)	Débit de Crue Q10 (m ³ /s)	Débit ruisselé (m ³ /s)	Débit de pointe Qp (m ³ /s)
						A	B				
BV2	1.967	1450	0.0395	0.3	18.36	570	0.67	81.10	13.3	0.42	13.71
BV3	0.603	751	0.0354	0.3	11.54	570	0.67	110.71	5.6	0.24	5.80
BV4	1.484	1400	0.0387	0.3	18.01	570	0.67	82.15	10.2	0.36	10.52
BV5	0.713	468	0.0362	0.3	7.94	570	0.67	142.11	8.4	0.31	8.75
BV6	0.314	275	0.0369	0.3	7.24	570	0.67	187.49	4.9	0.18	5.10
BV7	1.025	1100	0.0421	0.3	14.48	570	0.67	95.07	8.1	0.31	8.43
BV8	1.115	1330	0.0374	0.3	17.54	570	0.67	83.71	7.8	0.31	8.07
BV9	0.672	914	0.0358	0.3	13.36	570	0.67	100.32	5.6	0.24	5.85

Tableau 29: Débits calculés selon la méthode rationnelle

N° BV	Superficie (km ²)	Pente I (m/m)	Pan (mm)	Coefficient d'abattement	Kr10 (%)	P10 (mm)	Coeff. de pointe	Tps de base Tb10 (min)	Débit de crue Q10 (m ³ /s)	Débit ruisselé (m ³ /s)	Débit de pointe Qp (m ³ /s)
BV1	7.063	0.0389	1015	0.8987	38.5	106.25	2.5	460	23.52	0.8	24.31

Tableau 30: Débits calculés selon la méthode ORSTOM

II.4.2. ETUDE HYDRAULIQUE

L'étude hydraulique aboutira à la détermination des sections des ouvrages hydrauliques capables d'évacuer les débits décennaux. Ensuite nous ferons une comparaison avec les sections existantes dans le but de voir les sections à augmenter. Mais d'abord il est important de faire un état des lieux des ouvrages existants

II.4.2.a. Etat des lieux des ouvrages existants

Le *Tableau 31* nous donne les résultats de l'état des lieux au niveau des ouvrages

N°	PK	Caractéristiques	Photos	Observations
1	0+180	Dalot 240 x 120		<ul style="list-style-type: none"> - Ouvrage entièrement enterré - Regard en amont - Bon état visuel
2	1+210	Dalot 80 x 60		<ul style="list-style-type: none"> - Bon état visuel
3	2+352	Dalot 200 x 140		<ul style="list-style-type: none"> - Désagrégage de l'ouvrage de tête - En cours de travaux
4	3+710	Buse 800		<ul style="list-style-type: none"> - Tête légèrement endommagée - Un élément de buse endommagé
5	4+920	-	Section non vue	

6	6+420	Buse 800		- Désagrégage de l'ouvrage de tête
7	7+040	Buse 800		- Ouvrage rempli à moitié
8	8+385	Dalot 150 x 140		- Dalot entièrement enterré et en charge en aval
9	8+800	Buse 1000		- Ouvrage entièrement ensablé

Tableau 31: Etat des lieux des ouvrages existants

II.4.2.b. Solution envisagées pour la réhabilitation des dalots et buses

En général, ces ouvrages nécessitent tous un entretien à différents niveaux à savoir :

- Le débroussement en amont et en aval de chaque ouvrage
- Le curage des ouvrages ensablés et le recalibrage des lits
- La mise en bon état des ouvrages existants selon les résultats des tests de solidité
- Le prolongement des ouvrages existants conformément au nouveau profil en travers
- Tous les ouvrages dont les sections ont été jugées insuffisantes ont été renforcés par des sections complémentaires

Ces solutions proposées permettront d'assurer le bon fonctionnement et la durabilité de ces ouvrages. Leur mise en œuvre offrira donc à la route un confort acceptable.

II.4.2.c. Calcul des sections des ouvrages

Les études hydrologiques et l'état des lieux ont permis de collecter des données sur les différents débits et les différents ouvrages en place. Ainsi, il sera question de déterminer les sections des ouvrages hydrauliques capables d'évacuer les débits décennaux, les comparer avec les sections existantes et voir si oui ou non il est nécessaire de remplacer ces ouvrages par de nouveaux ouvrages qui feront l'objet d'un dimensionnement structural avant leurs mises en place sur le terrain. Le principe est de déterminer un débit d'ouvrage supérieur au débit à évacuer. La détermination de ce débit se fera avec la formule de Manning Strickler défini comme suit :

$$Q = K \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2}$$

Avec :

- Q : Débit de crue (en m³/s) ;
- K : Coefficient de rugosité qui dépend de la surface considérée (K = 67 pour les surfaces en Béton Armé)
- S_m : Section mouillée (en m²) ;
- R_h : Rayon hydraulique = $\frac{S_m}{P_m}$ (en m)
- I : Pente (en m/m).

Dans le *Tableau 32* suivant se trouve les résultats de calcul de sections. Les détails de calcul sont renseignés en annexe

PK	Pente projet (m/m)	H (m)	L (m)	N	Lret (m)	Section retenue	Section existante	Vérification	Observation
1+210	0.01	1.5	2	1	2	200x150	80x60	Non	Remplacer par un Dalot 200x150
2+35	0.004	1.5	1.5	1	1.5	150x15	200x140	Oui	Curage de

2						0			l'ouvrage existant
3+71 0	0.007	1.5	2	1	2	200x150	Buse 800	Non	Remplacer par un Dalot 200x150
4+92 0	0.006	1.5	1.8	1	1.8	180x150	-	Non	Construction d'un Dalot 180x150
6+42 0	0.004	1.5	1.5	1	1.5	150x150	Buse 800	Non	Remplacer par un Dalot 150x150
7+04 0	0.006	1.5	1.8	1	1.8	180x150	Buse 800	Non	Remplacer par un Dalot 180x150
8+38 5	0.005	1.5	1.8	1	1.8	150x180	150x140	Non	Ajouter une section complémentaire 150x40
8+80 0	0.004	1.5	1.5	1	1.5	150x150	Buse 1000x2	Oui	Curages des buses 1000

Tableau 32: Calcul des sections d'ouvrage et observations

II.4.3. DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL DES DALOTS A CONSTRUIRE

Nous déterminerons dans cette partie le ferrailage de dalot cadre (150x150 cm²). On adoptera la même épaisseur pour le tablier, les piédroits et le radier.

L'épaisseur est déterminée par la formule suivante : $e=l/32+0,125$

Où l désigne l'ouverture de l'ouvrage. $e=(1,5 /32)+0,125=0,172 m$

Prenons $e=0, m$

Longueur du dalot : 10 m ;

Guide-roues en béton armé de section rectangulaire de dimensions $0.20\text{ m} \times 1.5\text{ m}$ délimitant la longueur du dalot de part et d'autre.

Pré-dimensionnement du dalot

Epaisseur de la dalle : $e = 0,20\text{ m}$

Epaisseur du radier : $e = 0,20\text{ m}$

Epaisseur des voiles : $e = 0,20\text{ m}$

Largeur rouable : $= 10,4\text{ m}$

Nombre de voies : $n = 2$

Portée de la travée : $= 12\text{ m}$

Classe de l'ouvrage de franchissement : Première classe car $Lr > 7\text{ m}$

Les différents cas de charges suivantes seront considérés pour le calcul des sollicitations dans les éléments de structure du cadre simple :

- Sous actions permanentes d'une part, et ;
- Sous surcharge d'exploitation d'autre part ;

Les chargements à considérer sont ceux définis dans le Titre II du fascicule 61 (Conception, Calcul et Epreuves des ouvrages d'Art) du Cahier des Prescriptions Communes applicables aux marchés de travaux publics de l'Etat Français ;

- Les règles de calcul béton armé sont celles définies dans le BAEL 91 modifié 99 ;
- Fissuration considérée préjudiciable

Données du dimensionnement :

Matériaux

➤ Béton

Dosage : 350 kg/m^3 de CPA 45 ou de classe équivalente ;

Poids volumique : $\gamma_{\text{béton}} = 25\text{ kN/m}^3$;

Résistance à la compression à 28 jours : $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$;

Résistance à la traction à 28 jours : $f_{t28} = 2,1 \text{ MPa}$;

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

Résistance de calcul du béton en compression à l'ELU : $f_{bu} = 14,17 \text{ MPa}$;

Contrainte limite de béton comprimé à l'ELS $\sigma_{bc} = 15 \text{ MPa}$.

➤ Acier

Acier à haute adhérence (HA) de nuance FeE400 ;

Limite d'élasticité $f_e = 400 \text{ MPa}$;

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

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

Contrainte limite des aciers à l'ELS, pour une fissuration préjudiciable :

$$\sigma_s = \min\left[\frac{2}{3} f_e ; \max(0,5 f_e ; 110 \sqrt{\eta \cdot f_{t28}})\right] = 201,63 \text{ MPa} ;$$

$$\sigma_{st} = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{400}{1,15} = 347,83 \text{ MPa}$$

➤ Sol

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$;

Coefficient de poussée des terres : $k_a = 0,33$.

Pour chaque cas de charge, nous calculerons les moments fléchissant M aux appuis, les moments en mi- travée et les efforts normaux dans les différents éléments du dalot (piédroits ; tablier et radier).

II.4.3.a. Calcul des sollicitations

Le *Tableau 33* donne le récapitulatif des moments et des efforts sur notre dalot $150 \times 150 \text{ cm}^2$.

		Moments en (t.ml)							Efforts en tonne			
		MA	M (A-B)	MB	M (B-C)	MC	M (A-D)	MD	N1	N2	N'2	N3
Tablier	1	-0,27	-0,27	-0,27	0,542	-0,27	0,542	-0,27	0	1,91	1,91	0
Piédroits	2	-0,15	0,06	0,03	0,03	0,03	0,211	-0,15	0,106	0,85	-0,85	-0,106
Poussée des terres	3	-0,115	0,221	-0,101	-0,101	-0,101	-0,115	-0,115	0,927	0	0	0,593
Charge B	4	-0,67	-0,67	-0,67	1,34	-0,67	1,34	-0,67	0	4,73	4,73	0
Surcharge sur remblais	5	-0,04	0,08	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	0,028	0	0	0,028
Freinage	6	-2,47	0,13	-2,73	0	-2,73	0	-2,47	3,06	3,21	3,21	3,06
G	1+2+3	-0,535	0,011	-0,341	0,471	-0,341	0,638	-0,535	1,033	2,76	1,06	0,487
Q	4+5+6	-3,18	-0,46	-3,44	1,3	-3,44	1,3	-3,18	3,088	7,94	7,94	3,088

Tableau 33: Récapitulatif des sollicitations Dalot 150 x 150

II.4.3.b. Calcul des sections d'armatures

Le *Tableau 34* suivant donne le récapitulatif du ferrailage des Dalots 150 x 150

RECAPITULATIF DES FERRAILLAGES		
TABLIER	Inférieur	HA12, esp = 20 cm
	Supérieur	HA12, esp = 20 cm
	Transversal	HA8, esp = 20 cm
PIEDROITS	Intérieur	HA12, esp = 20 cm
	Extérieur	HA12, esp = 20 cm
	Transversal	HA8, esp = 20 cm
RADIER	Inférieur	HA12 esp = 20 cm
	Supérieur	HA8, esp = 20 cm
	Transversal	HA8, esp = 20 cm

Tableau 34: Récapitulatif du ferrailage des dalots 150 x 150

CHAPITRE III : SIGNALISATION ROUTIERE ET ECLAIRAGE PUBLIC

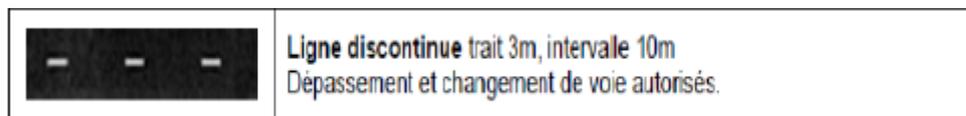
III.1. SIGNALISATION ROUTIERE

La signalisation routière désigne l'ensemble des informations (signaux conventionnels) utiles aux usagers afin de rendre plus aisé leur circulation tout en assurant leur sécurité. On distingue deux types de signalisations à savoir les signalisations horizontales et les signalisations verticales.

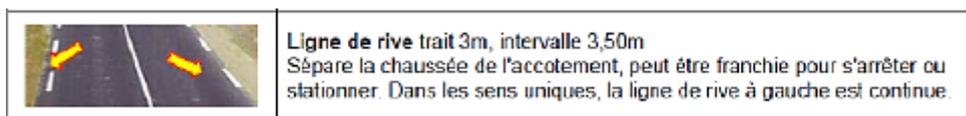
III.1.1. Signalisation Horizontale

La signalisation horizontale regroupe, l'ensemble des marquages au sol ou bandes peintes se retrouvant sur la chaussée dans le but de guider les usagers en fonction de leur apparence. On distingue plusieurs types des marquages dont les principales sont les suivantes :

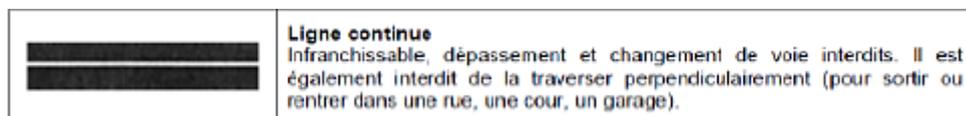
- **Lignes discontinues axiales** ou de délimitation de voies (Type T1 et T'1)



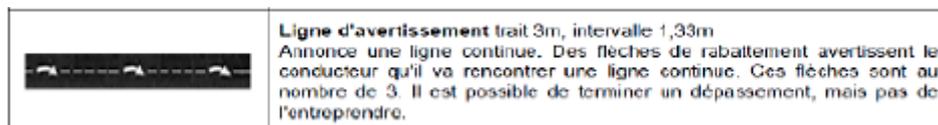
- Lignes longitudinales discontinues de rives (Type T2)



- Lignes continues ou de séparation de chaussée aux points singuliers



- Lignes d'avertissement (Type T3)



A cela s'ajoutent les lignes transversales « STOP » et les marquages « Passage piétons »

III.1.2. Signalisation verticale

La signalisation verticale est caractérisée par tous les panneaux et panonceaux présents sur la route servant à guider les usagers. Les signalisations verticales sont classées en diverses catégories répondant à divers objectifs, particulièrement on a dans ce présent projet les :

- Panneaux de danger : A – triangulaires ;
- Panneaux de prescription : B – Circulaires ou carrés ;
- Panneaux d'intersection : AB – Triangulaires, carrés ou orthogonaux ;

Le tableau récapitulatif des signalisations utilisées dans le cadre de notre projet en annexe.

III.2. ECLAIRAGE PUBLIC

L'éclairage public représente un élément important dans la sécurité routière, il contribue au confort de l'utilisateur et améliore la qualité de la vue. Nous proposons la mise en place de l'éclairage public seulement au niveau des agglomérations (villages traversés), car en règle générale les routes en rase campagne ne doivent pas être éclairées, même au niveau des carrefours comme nous le recommandons le guide « ARP, SETRA » à la page 104.

Notre choix se porte donc sur des candélabres simples en acier et seront implantés unilatéralement. Ils auront une hauteur $H = 10$ m avec un espacement de 35 m.

CHAPITRE IV : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL ET ESTIMATION DU COUT DU PROJET

IV.1. ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL

IV.1.1. Cadre institutionnel, législatif et réglementaire

Plusieurs institutions nationales sont impliquées dans la mise en œuvre de la procédure de l'Etude d'Impact Environnemental et Social dans le cadre de ce projet. Ce sont entre autres :

- le Ministère des Infrastructures Economiques (MIE), qui interviendra en tant que Maître d'Ouvrage, ministère de tutelle de l'AGEROUTE ;
- le Ministère de l'Economie et des Finances (MEF), qui interviendra en tant que tutelle financière pour la mise en œuvre du projet ;
- le Ministère de l'Environnement, de la Salubrité Urbaine et du Développement Durable (MINESUDD), qui interviendra dans la certification environnementale dudit projet à travers l'ANDE ;
- le Ministère des Eaux et Forêts (MINEF), qui interviendra dans la protection des ressources en eau traversées ou situées à proximité de l'axe routier à renforcer
- le Ministère de l'Agriculture (MINAGRI), qui interviendra dans la compensation des différentes cultures présentes en dehors de l'emprise de la voie à renforcer et qui seront détruites par la mise en œuvre du projet ;
- le Ministère du Transport (MT), qui interviendra en collaboration avec le MIE, dans l'amélioration de la qualité de vie de la population et l'obtention d'un gain de confort et de sécurité pour tous les usagers
- le Ministère de l'Industrie et des Mines (MIM), qui interviendra au niveau de l'ouverture d'éventuelles zones d'emprunt et de carrières, pendant la mise en œuvre du projet ;
- le Ministère d'Etat, Ministère de l'Intérieur et de la Sécurité (MEMIS) mettant à disposition, les services des forces de l'ordre et de sécurité pour assurer la sécurité du personnel de chantier ;

- le Ministère de la Santé et de la Lutte contre le SIDA (MSLS), qui interviendra en appui de la sensibilisation du personnel du chantier et des populations riveraines contre le VIH-SIDA ;

Les textes juridiques nationaux qui régissent le projet sont :

- la Loi n° 2000-513 du 1^{er} août 2000 portant Constitution de la République de Côte d'Ivoire, parce que le projet sera réalisé en République de Côte d'Ivoire et par conséquent, il est soumis à cette loi ; - la Loi n° 81-640 du 31 juillet 1981 portant Code Pénal, parce que le projet sera réalisé en République de Côte d'Ivoire et par conséquent, il est soumis à cette loi ;

- la Loi n° 96-766 du 3 octobre 1996 portant Code de l'Environnement, parce qu'il régleme la préservation de l'environnement de la zone d'insertion du projet ;

- la Loi n° 98-755 du 23 décembre 1998 portant Code de l'Eau, parce qu'il régleme la préservation des ressources en eau liées au projet ;

- la Loi n° 95-553 du 18 juillet 1995 portant Code Minier, parce qu'il régleme la préservation des ressources minières liées au projet ;

- la Loi n° 98-750 du 23 décembre 1998 modifiée par la loi du 28 juillet 2004 portant Code Foncier Rural, parce que certaines terres dédiées au projet sont encore régies par le droit coutumier (faute de purge) et sont traitées comme telles ;

- la Loi n° 95-15 du 12 janvier 1995 portant Code du Travail, modifiée par la Loi n° 97-400 du 11 juillet 1997, parce qu'il régleme les conditions de travail pendant la mise en œuvre du projet ;

- la Loi n° 99-477 du 02 août 1999 portant Code de Prévoyance Sociale, parce qu'il régleme les conditions de travail pendant la mise en œuvre du projet ;

- la Loi n°2003-2008 du 07 juillet 2003 portant transfert et répartition des compétences de l'état aux collectivités territoriales, parce que ledit projet doit prendre en compte les intérêts de toutes les collectivités territoriales plus ou moins concernées par sa réalisation ;

IV.1.2. Impact positifs

Sur le milieu physique

Le projet n'aura aucun impact positif significatif sur le milieu physique, en phase de préparation et d'installation, de même qu'en phase de construction. Comme impact positif du projet sur le milieu physique en phase d'exploitation et d'entretien, on pourrait noter l'amélioration de la qualité du paysage au niveau des localités traversées.

Sur le milieu biologique

Le projet n'aura aucun impact positif significatif sur le milieu biologique, en phase de préparation et d'installation, en phase de construction et en phase d'exploitation et d'entretien.

Sur le milieu humain

Les impacts positifs du projet sur le milieu humain en phase d'installation et de préparation seront :

- **Au niveau de la population et de la vie sociale** : source d'emplois temporaires pour les populations bénéficiaires du projet dont les retombées seront ressenties dans les ménages, apport humain significatif pouvant affecter positivement l'équilibre social et contribuer à l'animation de la vie sociale des villages riverains ;
- **Au niveau des activités économiques** : développement circonstanciel des activités commerciales autour de la base-vie, développement des activités génératrices de revenus dont la restauration avec l'installation de petits commerces à proximité du chantier ;
- **Au niveau de la santé et du cadre de vie** : réalisation d'un bilan de santé pré-embauche et assistance sanitaire apportée au personnel de l'entreprise. Les impacts positifs du projet sur le milieu humain en phase de construction seront :
- **Au niveau de la population et de la vie sociale** : emplois temporaires pour les populations riveraines, création de nombreux emplois à plusieurs niveaux, réduction du chômage, apport humain significatif pouvant affecter positivement l'équilibre social et contribuer à l'animation de la vie sociale des villages riverains, enrichissement des échanges culturels des populations, valorisation de la fonction de chef coutumier dans les villages traversés ;
- **Au niveau du foncier** : libération des installations anarchiques ;

- **Au niveau des activités économiques** : développement des activités génératrices de revenus, installation de petits commerces, augmentation de la consommation de plusieurs produits de base, augmentation des chiffres d'affaires des différentes activités ;
- **Au niveau de l'habitat et des équipements** : accroissement et renforcement du nombre des infrastructures d'assainissement des grandes localités traversées ;
- **Au niveau de la sécurité et de la circulation routière** : renforcement de la sécurité au niveau des villages riverains, réduction de la fréquence des actions des coupeurs de route.

Les impacts positifs du projet sur le milieu humain en phase d'exploitation et d'entretien seront :

- **Au niveau de la population et de la vie sociale** : communication directe entre les populations des localités de la région et celles du reste du pays, suppression des désagréments et autres inconvénients dus à l'état défectueux de la route (risques d'accidents, contraintes horaires totalement incontrôlables, etc.), raffermissement des liens sociaux et consolidation de la cohésion sociale
- **Au niveau des activités économiques** : gain de temps pour les gérants d'activités économiques, affluence de la clientèle, essor de l'activité locative dans les localités et villages riverains ou traversés, création de nouveaux emplois ;
- **Au niveau de l'habitat et des équipements** : accès facile aux infrastructures urbaines, désenclavement de certains équipements peu fréquentés ;
- **Au niveau de la santé et du cadre de vie** : amélioration du cadre de vie ;
- **Au niveau de la sécurité et de la circulation** : augmentation des potentialités du transport en commun, économie des dépenses de réparation et d'entretien des véhicules, réduction des risques d'accident de circulation, réduction du taux de braquage et de criminalité dans la zone du projet.

IV.1.3. Impacts négatifs et mesures d'atténuation

Le *Tableau 35* nous fait le résumé des impacts négatifs ainsi que des mesures d'atténuation.

ACTIVITES	SOURCES	IMPACTS	MESURES
PREPARATION ET INSTALLATION DU CHANTIER	Passage des engins	<p>* Pollution de l'air par les gaz et la poussière</p> <p>* Nuisances sonores</p>	<p>* Arrosage périodique des plates-formes surtout quand le tracé doit traverser une localité</p> <p>* Planification et restriction des activités bruyantes au jour (entre 06h00 et 18h00), respect de la quiétude des riverains par les employés</p>
	Installation de la base du chantier	<p>* Risques de contestations, de conflits et de spéculations foncières</p> <p>* Modification des vues habituelles au niveau du paysage</p> <p>*Risques de transmission des</p>	<p>*: initiation de négociations relatives aux aspects fonciers avec le concours des autorités coutumières et municipales auprès des propriétaires fonciers ou tout autre détenteur de droit pour l'expropriation des terres dans l'emprise immédiate du projet</p>

		IST/MST/SIDA, risques de dégradation de la qualité du cadre vie ;	*Elaboration et mise en action d'un plan de lutte contre les IST/MST/SIDA basé sur la sensibilisation des populations riveraines et du personnel de chantier, large distribution de préservatifs à la population cible
	Débroussaillage et abattage des arbres	* la perte d'espèces à statut particulier ayant une valeur écologique de conservation * Destruction de tombes	* sensibilisation des populations et du personnel sur la nécessité de préserver la biodiversité de la zone * déplacement des tombes affectées par le projet
	Rejet des déchets solides et liquides	*Risques de contamination des eaux de surface par les déchets solides et liquides.	* Prise de toutes les dispositions pour l'enlèvement et la valorisation des huiles de vidange produites au cours des travaux * aménagement des sites d'installation de

			chantier loin du cours d'eau
Terrassements, Amenagements et Bitumage	Passage et travaux des engins	<p>* Pollution de l'air par les gaz et la poussière</p> <p>* Nuisances sonores</p>	<p>* Arrosage périodique des plates-formes surtout quand le tracé doit traverser une localité</p> <p>* Planification et restriction des activités bruyantes au jour (entre 06h00 et 18h00), respect de la quiétude des riverains par les employés</p>
	Approvisionnement et transport des matériaux d'emprunts	<p>* risques de pollution des sols par des polluants divers</p> <p>* Pollution de l'air</p>	<p>* Mise en place d'une bâche de protection sur les camions transportant les matériaux,</p> <p>* Réglage de la teneur en eau des graveleux pour atténuer l'impact de la poussière avant leur déchargement</p>
	Circulation alternée	* perturbation de la	* Information des

		circulation des piétons, des véhicules et des activités des populations et des services	populations riveraines et des usagers sur le planning des d'exécution des travaux
	Emissions de la centrale d'enrobage	* Pollution de l'air par la fumée et les gaz	* aménagement de la centrale d'enrobage loin des zones d'habitations et surtout des points * contrôle de la pollution émise par la centrale d'enrobage

Tableau 35: Impacts négatifs et mesures d'atténuation

IV.2. COUT ESTIMATIF DU PROJET

L' étude de l'avant métré permet de quantifier les parties d'ouvrage en vue de la réalisation du projet. Pour les différentes séries, le devis quantitatif s'effectuera suivant les postes :

- Installation de chantier ;
- Travaux préparatoires
- Terrassement ;
- Chaussée ;
- Revêtement
- Ouvrages d'art ;
- Sécurité et signalisations ;
- Mesures environnementales et social

Les coûts (par poste et coût final) sont renseignés dans le *Tableau 36* suivant :

ETUDES TECHNIQUES EN VUE E LA REHABILITATION DE LA ROUTE NATIONALE
YAMOISSOUKRO-BOUAFLE-DALOA (COTE D'IVOIRE)

Série	Poste	Montant HT	Pourcentage
000.	INSTALLATION DE CHANTIER	476 425 000,00	7,29
100	TRAVAUX PREPARATOIRES	134 558 000,00	2,06
200	TERRASSEMENTS	415 741 354,50	6,36
300	CHAUSSEE	587 128 942,32	8,98
400	REVETEMENT	3 619 112 104,00	55,36
500	OUVRAGES D'ART	1 130 080 844,00	17,29
600	SECURITE ET SIGNALISATION	86 373 794,00	1,32
700	MESURES ENVIRONNEMENTALES	87 500 000,00	1,34
Total		6536920039	100

Tableau 36: Coût estimatif du projet

Au final, on obtient pour notre projet un budget estimé à **six milliards cinq cents trente-six millions neuf cent vingt mille trente-neuf Francs CFA (6 536 920 039 F CFA) hors taxes.**

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Au terme de notre étude dont l'objectif était de déterminer une structure de renforcement capable de résister au trafic pendant sa durée de vie tout en faisant ressortir un aménagement répondant les normes de conception géométrique en respectant les normes de sécurité et l'assainissement, nous avons retenu la structure de chaussée suivante :

- Couche de roulement en Béton Bitumineux d'épaisseur 6 cm
- Couche de base en Grave Bitume d'épaisseur 8 cm
- Couche de fondation en matériaux recyclés améliorés au ciment 3% d'épaisseur 25 cm

La structure proposée d'infrastructures répond aux normes techniques en tenant compte de l'aspect économique et surtout de l'aspect durée (en comparaison avec la structure de l'entreprise semi-rigide).

L'état des lieux des ouvrages a aussi révélé des ouvrages en bon état qui auront besoin de nettoyage et de curage tandis que les ouvrages en mauvais état ou n'arrivant plus à écouler les débits devront être remplacés. De ce fait nous avons obtenu trois (3) familles de dalots en remplacements de ceux endommagés (150 x 150, 180 x 150, 200 x 150).

Nous avons aussi proposé l'aménagement des amorces rencontrées sur notre tronçon pour assurer non seulement la sécurité des différents usagers, mais aussi le minimum de confort de la structure routière

L'étude des signalisations nous a permis d'avoir les différents marquages au sol ainsi que les panneaux de manière à mieux guider les usagers. L'éclairage public a ressorti l'implantation de 16 candélabres dont bénéficierons les différentes populations au niveau des agglomérations. Les questions environnementales et sociales ont été abordées et des mesures ont été prises

Toutes les études menées dans le cadre de ce projet nous ont permis d'avoir une idée des quantités des différents matériaux et matériels entrant dans la réalisation du projet. Ces quantités nous ont permis de trouver après calcul un budget de **six milliards cinq cents trente-six millions neuf cent vingt mille trente-neuf Francs CFA (6 536 920 039 F CFA)** pour la réalisation du projet.

Nous avons mené toutes ses études afin que la route assure ceux pourquoi elle a été conçue. Cependant une infrastructure routière ne peut assurer toute sa fonctionnalité ni garantir sa pérennité sans entretiens. La sensibilisation de la population doit être faite pour éviter tout comportement non civique sur l'emprise du projet, des travaux de maintenances devraient aussi y être compris.

Il faut toutefois noter que le travail ne s'est pas déroulé sans difficultés. Les principales difficultés ont été le manque de données pour mener à bien nos études (Soit confidentielles, soit payantes).

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES ET ARTICLES

- ✚ **Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics CEBTP**, Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux
- ✚ **CEBTP – LCPC**, Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux, 1985
- ✚ **SETRA**, Aménagement des routes principales, 1994
- ✚ **Dr Adamah MESSAN**, Cours BA1 (cours 2iE)
- ✚ **Dr Adamah MESSAN**, Cours d'Ouvrage d'art, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), 2013
- ✚ **Dr Angelbert C. BIAOU**, Cours d'hydraulique routière - Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement, 2013
- ✚ **Issoufou TAMBOURA**, Cours de route, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), 2014
- ✚ **SETRA, Fascicule n°62-Titre I – Section I**, Règles techniques de conception et calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites BAEL 91 révisé 99, Avril 1999
- ✚ **Marc COMBERE**, Polycopié de cours de pathologies et entretien routier, 2018
- ✚ **Marc COMBERE**, Polycopié de cours de voiries, 2013

SITES INTERNET

- ✚ <http://www.passerlecode.info/fiches/liste-des-panneaux-de-signalisation.pdf>, consulté le 21/11/2019

ANNEXES

ANNEXE 1 : ETUDE GEOMETRIQUE

1. Calcul des paramètres cinématique en fonction de la vitesse de référence

- Distance de freinage (d0)

C'est la distance que parcourt le véhicule pendant l'action de freinage, pour passer de la vitesse V à la vitesse nulle.

$$\frac{1}{2}m \times V^2 = F(V) \times mg \times d_0$$

Avec F(v) = coefficient de frottement longitudinal pneus/chaussée.

V (km/h)	40	60	80	100	120
F(v)	0,46	0,46	0,42	0,38	0,34

$$d_0 = \frac{V^2}{2 \times F(V) \times g} = \frac{22,22^2}{2 \times 0,42 \times 10} \text{ avec } V = 80 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 22,22 \text{ m/s}$$

$$d_0 = 58,79 \text{ m}$$

- Distance d'arrêt en alignement droit (d1)

A partir du moment où un conducteur, circulant à la vitesse V veut s'arrêter, il parcourra une distance d1 comprenant la distance réelle de freinage d0, augmentée d'une distance, au préalable, correspondant aux temps morts comprenant le temps physiologique de perception-réaction du conducteur (estimé à 1,5 s si V < 100 km/h et à 1,3 s si V > 100 km /h) et le temps mort mécanique ou temps réponse du système de freinage (estimé à 0,5 s).

Ici on a **V = 80 km/h < 100 km/h** ainsi :

$$d_1 = d_0 + 0,55 \times V(m/s)$$

$$d_1 = 58,79 + 0,55 \times 22,22$$

$$d_1 = 71,01 \text{ m}$$

- **Distance d'arrêt en courbe (d₂)**

Dans ce cas la distance d₀ est majorée de 25% en courbe, l'action de freinage devant être moins énergétique pour éviter la perte de contrôle du véhicule. Pour V_r < 100 km/h, on a :

$$d_2 = 1,25 \times d_0 + 0,55 \times V(m/s)$$

$$d_2 = 1,25 \times 58,79 + 0,55 \times 22,22$$

$$d_2 = 85,71 \text{ m}$$

- **Distance de visibilité de dépassement**

- **Distance de visibilité de dépassement minimal dd**

Cette distance correspond à une manœuvre de dépassement qui dure 7 à 8 s en supposant qu'un véhicule adverse puisse surgir en sens inverse à la même vitesse V.

Donc dd = double de la distance nécessaire au dépassement.

$$d_a = 2 \times V(m/s) \times 7$$

$$d_a = 2 \times 22,22 \times 7$$

$$d_a = 311,11 \text{ m}$$

- **Distance de visibilité de dépassement normal dD**

Cette distance est supérieure de 50% à dd et correspond à une manœuvre de dépassement qui dure de 11 à 12s.

$$d_D = 1,5 \times d_a$$

$$d_D = 1,5 \times 311,11$$

$$d_D = 466,67 \text{ m}$$

- **Les éléments de l'axe en plan**

En général, le tracé en plan d'une route est constitué d'une succession de courbes et d'alignements droits séparés ou pas par des raccordements progressifs. Il vise à assurer de

bonnes conditions de sécurité et de confort tout en s'intégrant au mieux dans la topographie du site. Le tracé en plan comme le profil en long est prévu pour donner à la circulation :

- La sécurité et la rapidité
- Chercher le plus court chemin du point de vue technique et économique
- Répondre aux besoins de la plus grande majorité des personnes habitants les environs
- Garder toujours la fondation de la route au-dessus de la nappe phréatique
- En terrain plat, élever la route au-dessus du terrain naturel afin d'avoir un meilleur drainage et moins de risque d'inondation.
- Réduire au minimum les volumes des déblais et des remblais, mais toujours garder le volume de remblais sensiblement supérieur à celui des déblais ;
- Donner le plus grand rayon possible aux courbes horizontales afin de permettre une circulation rapide

COVADIS - LISTING DE L'AXE EN PLAN DU PROJET Description

Nom du dessin : C:\Users\ELLA\Documents\Axe en Plan

Nom du listing : C:\Users\ELLA\Documents\MEMOIRE VRAI\Axe en
Plan_Yakro_Axe.rtf

Elements d'axe		Longueur (m)	Abscisse	X	Y
			0.000	246252.589	756355.631
Alignement droit		318.751			
Gisement	301.2118				

ETUDES TECHNIQUES EN VUE E LA REHABILITATION DE LA ROUTE NATIONALE
YAMOISSOUKRO-BOUAFLE-DALOA (COTE D'IVOIRE)

			318.751	245933.895	756361.698
Arc de cercle		43.685			
X Centre	245905.345				
Y Centre	754861.970				
Rayon	1500.0000				
			362.436	245890.212	756361.894
Alignement droit		176.800			
Gisement	299.3577				
			539.236	245713.421	756360.110
Arc de cercle		82.695			
X Centre	245724.518				
Y Centre	755260.166				
Rayon	1100.0000				
			621.931	245630.839	756356.170
Alignement droit		577.509			
Gisement	294.5718				
			1199.440	245055.428	756306.988
Arc de cercle		2.212			
X Centre	244944.717				
Y Centre	757602.265				
Rayon	1300.0000				
			1201.652	245053.224	756306.801

ETUDES TECHNIQUES EN VUE E LA REHABILITATION DE LA ROUTE NATIONALE
YAMOOUSSOUKRO-BOUAFLE-DALOA (COTE D'IVOIRE)

Alignement droit		188.159			
Gisement	294.6801				
			1389.811	244865.722	756291.096
Arc de cercle		61.456			
X Centre	244740.521				
Y Centre	757785.862				
Rayon	1500.0000				
			1451.267	244804.392	756287.222
Alignement droit		517.577			
Gisement	297.2884				
			1968.844	244287.285	756265.183
Arc de cercle		24.981			
X Centre	244340.511				
Y Centre	755016.317				
Rayon	1250.0000				
			1993.825	244262.339	756263.870
Alignement droit		170.079			
Gisement	296.0161				

ETUDES TECHNIQUES EN VUE E LA REHABILITATION DE LA ROUTE NATIONALE
YAMOISSOUKRO-BOUAFLE-DALOA (COTE D'IVOIRE)

Elements d'axe		Longueur (m)	Abscisse	X	Y
			2163.904	244092.593	756253.234
Arc de cercle		73.120			
X Centre	243936.248				
Y Centre	758748.340				
Rayon	2500.0000				
			2237.023	244019.560	756249.729
Alignement droit		682.258			
Gisement	297.8781				
			2919.281	243337.681	756226.993
Arc de cercle		2.356			
X Centre	243437.655				
Y Centre	753228.659				
Rayon	3000.0000				
			2921.637	243335.326	756226.913
Alignement droit		636.491			
Gisement	297.8281				
			3558.128	242699.206	756205.203
Arc de cercle		4.653			
X Centre	242774.247				
Y Centre	754006.483				
Rayon	2200.0000				

ETUDES TECHNIQUES EN VUE E LA REHABILITATION DE LA ROUTE NATIONALE
YAMOISSOUKRO-BOUAFLE-DALOA (COTE D'IVOIRE)

			3562.781	242694.556	756205.039
Alignement droit		277.582			
Gisement	297.6935				
			3840.363	242417.157	756194.985
Arc de cercle		0.188			
X Centre	242322.976				
Y Centre	758793.278				
Rayon	2600.0000				
			3840.551	242416.969	756194.978
Alignement droit		439.059			
Gisement	297.6029				
			4279.610	241978.221	756178.449
Arc de cercle		1.698			
X Centre	241846.464				
Y Centre	759675.969				
Rayon	3500.0000				
			4281.307	241976.524	756178.386
Alignement droit		518.238			
Gisement	297.6338				
			4799.545	241458.645	756159.128
Arc de cercle		2.318			
X Centre	241523.675				

ETUDES TECHNIQUES EN VUE E LA REHABILITATION DE LA ROUTE NATIONALE
YAMOISSOUKRO-BOUAFLE-DALOA (COTE D'IVOIRE)

Y Centre	754410.337				
Rayon	1750.0000				
			4801.863	241456.329	756159.040
Alignement droit		877.881			
Gisement	297.5838				
			5679.743	240579.080	756125.729
Arc de cercle		1.409			
X Centre	240503.190				
Y Centre	758124.289				
Rayon	2000.0000				

ETUDES TECHNIQUES EN VUE E LA REHABILITATION DE LA ROUTE NATIONALE
YAMOOUSSOUKRO-BOUAFLE-DALOA (COTE D'IVOIRE)

Elements d'axe		Longueur (m)	Abscisse	X	Y
			5681.153	240577.672	756125.676
Alignement droit		557.070			
Gisement	297.6286				
			6238.223	240020.988	756104.930
Arc de cercle		4.546			
X Centre	240020.225				
Y Centre	756095.397				
Rayon	9.5638				
			6242.769	240016.541	756104.223
Alignement droit		388.308			
Gisement	297.7668				
			6631.077	239628.472	756090.604
Arc de cercle		639.524			
X Centre	239589.932				
Y Centre	757125.340				
Rayon	1035.4529				
			7270.601	239022.134	756259.449
Alignement droit		624.161			
Gisement	336.7059				
			7894.762	238498.878	756599.714
Arc de cercle		10.573			

ETUDES TECHNIQUES EN VUE E LA REHABILITATION DE LA ROUTE NATIONALE
YAMOISSOUKRO-BOUAFLE-DALOA (COTE D'IVOIRE)

X Centre	239452.902				
Y Centre	758066.799				
Rayon	1750.0000				
			7905.335	238490.032	756605.505
Alignement droit		528.429			
Gisement	337.0906				
			8433.764	238048.780	756896.252
Arc de cercle		12.555			
X Centre	239259.245				
Y Centre	758733.308				
Rayon	2200.0000				
			8446.320	238038.316	756903.190
Alignement droit		653.207			
Gisement	337.4539				
			9099.526	237494.932	757265.699
Arc de cercle		1.032			
X Centre	235968.770				
Y Centre	754978.051				
Rayon	2750.0000				
			9100.558	237494.073	757266.271
Alignement droit		536.995			
Gisement	337.4300				

ETUDES TECHNIQUES EN VUE E LA REHABILITATION DE LA ROUTE NATIONALE
YAMOUSSOUKRO-BOUAFLE-DALOA (COTE D'IVOIRE)

			9637.552	237047.251	757564.118
Arc de cercle		4.979			
X Centre	239543.202				
Y Centre	761308.478				
Rayon	4500.0000				
			9642.532	237043.109	757566.882
Alignement droit		362.775			
Gisement	337.5004				
			10005.307	236741.474	757768.432
Longueur totale		10005.307			

ANNEXE 2 : ETUDE GEOTECHNIQUE ET DIMENSIONNEMENT DE CHAUSSEE

Extrait des mesures de déflexion

Essai N°	PK ou profil	Droit		Axe		Gauche	
		Lecture finale	Déflexion en 1/100 mm	Lecture finale	Déflexion en 1/100 mm	Lecture finale	Déflexion en 1/100 mm
	4+020	41	82	34	68	31	62
	4+040	39	78	25	50	34	68
	4+060	35	70	22	44	27	54
	4+080	38	76	22	44	29	58
	4+100	42	84	25	50	34	68
	4+120	43	86	29	58	41	82
	4+140	37	74	24	48	39	78
	4+160	41	82	22	44	35	70
	4+180	29	58	28	56	39	78
	4+200	28	56	30	60	32	64
	4+220	25	50	29	58	29	58
	4+240	34	68	22	44	24	48
	4+260	32	64	24	48	28	56
	4+280	29	58	32	64	27	54
	4+300	34	68	31	62	31	62
	4+320	31	62	29	58	29	58
	4+340	29	58	19	38	27	54
	4+360	28	56	23	46	34	68
	4+380	29	58	22	44	33	66
	4+400	31	62	23	46	35	70
	4+420	29	58	21	42	35	70

ETUDES TECHNIQUES EN VUE E LA REHABILITATION DE LA ROUTE NATIONALE
YAMOUSSOUKRO-BOUAFLE-DALOA (COTE D'IVOIRE)

	4+440	32	64	25	50	29	58
	4+460	34	68	27	54	33	66
	4+480	33	66	22	44	35	70
	4+500	31	62	24	48	29	58
Nombre	25			25			
Min	50			38			
Max	86			68			
Moyenne	66.7			50.7			
Ecart type	10			7.8			
Déflexion caractéristique	79.70			60.87			

Essai N°	PK ou profil	Droit		Axe Gauche		Gauche	
		Lecture finale	Déflexion en 1/100 mm	Lecture finale	Déflexion en 1/100 mm	Lecture finale	Déflexion en 1/100 mm
	4+520	37	74	31	62	29	58
	4+540	43	86	33	66	31	62
	4+560	41	82	28	56	43	86
	4+580	45	90	28	56	32	64
	4+600	41	82	27	54	37	74
	4+620	35	70	21	42	35	70
	4+640	35	70	20	4	36	72
	4+660	38	76	20	40	30	60
	4+680	42	84	27	54	28	56
	4+700	43	86	33	66	29	58
	4+720	42	84	29	58	31	62
	4+740	38	76	23	46	35	70
	4+760	36	72	27	54	39	78
	4+780	38	76	28	56	37	74
	4+800	34	68	29	58	39	78

ETUDES TECHNIQUES EN VUE E LA REHABILITATION DE LA ROUTE NATIONALE
YAMOISSOUKRO-BOUAFLE-DALOA (COTE D'IVOIRE)

	4+820	39	78	32	64	28	56
	4+840	38	76	24	48	29	58
	4+860	42	84	25	50	22	44
	4+880	29	58	29	58	21	42
	4+900	27	54	22	44	37	74
	4+920	29	58	25	50	35	70
	4+940	39	78	23	46	33	66
	4+960	35	70	23	46	38	76
	4+980	33	66	23	46	28	56
	5+000	37	74	25	50	27	54
Nombre		25		25			
Min		54		40			
Max		90		66			
Moyenne		74.9		52.4			
Ecart type		9.3		7.7			
Déflexion caractéristique		87.9		62.41			

Essai N°	PK ou profil	Droit		Axe Gauche		Gauche	
		Lecture finale	Déflexion en 1/100 mm	Lecture finale	Déflexion en 1/100 mm	Lecture finale	Déflexion en 1/100 mm
	3+000	46	92	22	44	31	62
	3+020	36	72	20	40	32	64
	3+040	42	84	20	40	29	58
	3+060	51	102	20	40	30	60
	3+080	44	88	26	52	30	60
	3+100	38	76	24	48	34	68
	3+120	40	80	28	56	36	72
	3+140	40	80	20	40	32	64
	3+160	38	76	20	40	32	64

ETUDES TECHNIQUES EN VUE E LA REHABILITATION DE LA ROUTE NATIONALE
YAMOISSOUKRO-BOUAFLE-DALOA (COTE D'IVOIRE)

	3+180	42	84	20	40	32	64
	3+200	28	56	20	40	28	56
	3+220	26	52	23	46	34	68
	3+240	30	60	21	42	34	68
	3+260	32	64	20	40	36	72
	3+280	44	88	26	52	28	56
	3+300	48	96	24	48	22	44
	3+320	42	84	26	52	24	48
	3+340	38	76	22	44	28	56
	3+360	36	72	24	48	32	64
	3+380	44	88	22	44	44	88
	3+400	42	84	23	46	44	88
	3+420	46	92	20	40	42	84
	3+440	38	76	18	38	38	76
	3+460	20	72	20	40	36	72
	3+480	21	72	21	42	38	76
	3+500	22	84	22	44	34	68
Nombre	26			26			
Min	52			36			
Max	102			56			
Moyenne	78.8			44			
Ecart type	12			5			
Déflexion caractéristique	93.6			50.49			

ETUDES TECHNIQUES EN VUE E LA REHABILITATION DE LA ROUTE NATIONALE
YAMOISSOUKRO-BOUAFLE-DALOA (COTE D'IVOIRE)

Essai N°	PK ou profil	Droit		Axe Gauche		Gauche	
		Lecture finale	Déflexion en 1/100 mm	Lecture finale	Déflexion en 1/100 mm	Lecture finale	Déflexion en 1/100 mm
	3+520	36	72	24	48	37	74
	3+540	32	64	26	52	43	86
	3+560	42	84	22	44	41	82
	3+580	44	88	22	44	45	90
	3+600	39	78	21	42	39	78
	3+620	38	76	22	44	44	88
	3+640	34	68	24	48	37	74
	3+660	35	70	27	54	36	72
	3+680	28	56	26	52	41	82
	3+700	31	62	24	48	35	70
	3+720	32	64	23	46	35	70
	3+740	40	80	27	54	38	76
	3+760	40	80	31	62	42	84
	3+780	44	88	27	54	43	86
	3+800	42	84	29	58	42	84
	3+820	36	72	25	50	38	76
	3+840	42	84	23	46	36	72
	3+860	46	92	22	44	38	76
	3+880	41	82	28	56	34	68
	3+900	38	76	26	52	28	56
	3+920	38	76	25	50	28	56
	3+940	45	90	21	42	26	52
	3+960	32	64	21	42	31	62
	3+980	34	68	23	46	32	64
	4+000	36	72	27	54	28	56
Nombre		25		25			
Min		56		42			

Max	92	62	
Moyenne	75.6	49.3	
Ecart type	9.7	5.4	
Déflexion caractéristique	88.3	56.32	

PK Début	PK Fin	Nombre	Min	Max	Moyenne Dm	Ecart type	Déflexion caractéristique
0+000	3+000	156	52.0	102.0	78.8	12.0	94.45
3+020	5+000	100	56.0	92.0	75.6	9.7	88.16
5+020	8+000	150	54.0	90.0	74.9	9.3	86.94
8+020	10+000	100	50.0	86.0	66.7	10.0	79.70

Etude du trafic

L'étude du trafic a été réalisée par le Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics (LBTP).

Les hypothèses suivant ont été émises pour l'étude du trafic :

TMJA à la date de comptée : 596 en 2016 obtenu les jours de trafic dense (week-ends)

Taux de croissance géométrique annuel : $i = 5,5\%$,

Durée de service initiale de calcul : $n = 20$ ans,

Coefficient d'Agressivité Moyen des poids lourds (CAM) : 2,2

Sachant que la date de mise en service est fixée pour **2019** déduisons **TMJA à l'année de mise en service.**

Nous l'obtenons à partir de la formule des cas de croissance exceptionnelle du « **Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux** » du CEBTP

$$T_1 = T_0(1 + i)^{n-1}$$

Dans notre cas :

$$T_{2019} = T_{2016}(1 + i)^{n-1}$$

Avec :

T₂₀₁₆ : TMJA en 2016

T₂₀₁₉ : TMJA en 2019

n : Nombre d'années séparant la date de comptée de la date de mise en service

τ : Taux d'accroissement géométrique annuel

$$T_{2019} = 596(1 + 0.055)^{3-1}$$

$$T_{2019} = \mathbf{663 PL}$$

Donc **TMJA à la mise en service : 663**

Etude du trafic en nombre d'essieux équivalents

Le trafic projeté sur toute la durée de service de l'ouvrage est un paramètre essentiel d'entrée dans l'abaque de dimensionnement du CEBTP. Pour le calcul des structures de chaussée, le trafic à prendre en compte doit finalement être exprimé par le nombre cumulé d'essieux standard (NES) qui passeront sur la voie la plus chargée de la chaussée.

L'estimation de ce nombre cumulé (NES), implique nécessairement de connaître le TMJA en UPL, l'agressivité du poids lourds type, la durée de service de la route, le taux de croissance du trafic annuel et la répartition transversale sur la route.

La formule de calcul du NES est la suivante :

$$NES = \mathbf{365} \times A \times \mathbf{TMJA} \times n \frac{(1 + i)^n - 1}{n \times i}$$

Avec :

- TMJA, le trafic moyen journalier annuel de l'année de base en UPL
- n, la durée de service de la route en année

- i, le taux de croissance annuelle par catégorie de véhicule.
- A, l'agressivité du poids lourds type.

NES = 1.0E + 07 Essieux équivalents

Conformément à la classification CEBTP nous verrons dans quelle tranche se situe notre valeur afin d'avoir la classe de notre trafic qui suit :

	T_1	$< 5 \cdot 10^5$
$5 \cdot 10^5$	T_2	$< 1,5 \cdot 10^6$
$1,5 \cdot 10^6$	T_3	$< 4 \cdot 10^6$
$4 \cdot 10^6$	T_4	$< 10^7$
10^7	T_5	$< 2 \cdot 10^7$

Ainsi nous nous retrouvons avec un trafic de **type T4**.

FICHE N° 7 CAS N° 1 BICOUCHE						FICHE N° 8 CAS N° 2 TRICOUCHE					
GRAVE BITUME						GRAVE BITUME					
Q1 \ T1	T1	T2	T3	T4	T5	Q1 \ T1	T1	T2	T3	T4	T5
Q1						Q1					
Q2				600 1000	800 1200	Q2					800 1000
Q3				600 1200	800 1500	Q3				600 1000	800 1200
Q4		ES / TS / 1000	500 1200	600 1500	800 1800	Q4		ES 1000	500 1000	600 1000	800 1500
Q5	ES 1000	ES 1200	500 1500	600 1800		Q5	ES 1000	ES 1200	500 1200	600 1500	800 1800

Figure 10: Choix de la structure en grave bitume (Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux)

FICHE N° 13 CAS N° 1 (BICOUCHE)						FICHE N° 14 CAS N° 2 (TRICOUCHE)					
GRAVE-CIMENT						GRAVE-CIMENT					
Q1 \ T1	T1	T2	T3	T4	T5	Q1 \ T1	T1	T2	T3	T4	T5
Q1						Q1					
Q2					800 2500C	Q2					800 2200C
Q3			500 2000C	600 2200C	800 2500C	Q3		500 1800C	600 2000C	800 2200C	
Q4		ES / TS 2000C	500 2200C	600 2500C	800 2800C	Q4		ES 1800C	500 2000C	600 2200C	800 2500C
Q5	ES 2000C	ES 2200C	500 2500C	600 2800C	800 2800C	Q5	ES 1800C	ES 2000C	500 2200C	600 2500C	800 2500C

Figure 11: Choix de la structure de renforcement en grave ciment (Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux)

Afin de prendre en compte les observations du Ministère des Infrastructures Economiques, l'entreprise en charge des travaux a réalisé à la date du 23 mars 2018 une planche d'essai de recyclage au ciment à 3% sur une épaisseur de 25 cm. Cette planche d'essai a été réalisée sur la demi-chaussée gauche (Sens allant vers Bouaflé) sur un linéaire de 180 m.

Résultats des mesures de déflexion avant et après la planche d'essai

Les mesures de déflexion sont réalisées pour apprécier la portance de la chaussée. Elles ont été réalisées par le cabinet MENS0 avant la réalisation de la planche d'essai et par le LBTP après la réalisation de la planche d'essai, ceci pour apprécier l'évolution de la qualité de la portance de l'ensemble de la structure de chaussée.

Résultats des mesures de déflexion avant la réalisation de la planche d'essai

Avant la réalisation de la planche d'essai, les résultats des mesures de déflexion donnaient une déflexion caractéristique moyenne $D_{90_{\text{moy}}}$ de **98/100 mm**. La classe de déflexion est de D3.

Résultats des mesures de déflexion après la réalisation de la planche d'essai

Après la réalisation de la planche d'essai, la déflexion caractéristique moyenne $D_{90_{\text{moy}}}$ obtenue est de **49/100 mm**. La classe de déflexion est donc de D1.

CHOIX DE LA VARIANTE

Ces structures finales sont obtenues à partir des solutions proposées par le « Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux » du CEBTP tout en tenant compte des observations du Ministère des Infrastructures Economiques.

VARIANTE	COUCHE DE ROULEMENT	COUCHE DE BASE	COUCHE DE FONDATION	SOL SUPPORT
VARIANTE 1	6 cm BB	10 cm GB	25 cm MATERIAUX AMELIORES AU CIMENT 3%	ANCIENNE STRUCTURE
VARIANTE	6 cm BB	12 cm GB	25 cm MATERIAUX	ANCIENNE

2			AMELIORES AU CIMENT 3%	STRUCTURE
VARIANTE 3	6 cm BB	20 cm GC	25 cm MATERIAUX AMELIORES AU CIMENT 3%	ANCIENNE STRUCTURE
VARIANTE 4	6 cm BB	22 cm GC	25 cm MATERIAUX AMELIORES AU CIMENT 3%	ANCIENNE STRUCTURE

Caractéristiques des matériaux de viabilité

Fiche récapitulative des matériaux de la nouvelle plateforme

Emprunts	PK	Nature	GRANULOMETRIE										ATTERBERG		OPM		CBR	Class. HRB
			Tamisats (%)										LL	IP	ds	w	4j	
			31.5	25	20	10	5	2	1	0.4	0.2	0.08	%	%	T/m3	%	0.95	
Matériau en place	0+420	BB+ Graveleux ciment	100	99	95	93	70	43	36	28	21	16	37	13	2.17	8.5	76	A-2-7
Matériau en place	2+700	BB+ Graveleux ciment	100	97	95	87	67	44	35	24	18	12	36	13	2.06	10.5	86	A-2-7
Matériau en place	6+200	BB+ Graveleux ciment	100	98	97	89	75	48	40	29	20	13	28	10	2.04	10.8	74	A-2-7
Matériau en place	7+400	BB+ Graveleux ciment	99	94	91	82	68	49	39	25	18	12	30	09	2.08	8.30	31	A-2-7
Matériau en place	8+380	BB+ Graveleux ciment	100	99	93	83	62	39	32	23	16	10	38	10	2.10	7.50	96	A-2-7
Matériau en place	9+560	BB+ Graveleux ciment	100	99	94	87	65	39	32	23	16	10	38	11	2.08	7.80	93	A-2-7
MOYENNE													35	11	2.08	8.9	76	A-2-7

Fiche récapitulative des essais sur le sol ciment

Emprunts	PK	Nature	GRANULOMETRIE										ATTERBERG		OPM		CBR	Class. HRB
			Tamisats (%)										LL	IP	ds	w	4j	

			31.5	25	20	10	5	2	1	0.4	0.2	0.08	%	%	T/m3	%	0.95	
Fondation Stabilisée		Fondation Stabilisée	100	99	98	90	67	42	33	24	19	14	41	19	1.95	9.90	280	
Fondation Stabilisée		Fondation Stabilisée	96	95	94	87	72	50	40	33	27	19	33	13	2.03	8.50	294	
Fondation Stabilisée		Fondation Stabilisée	97	94	91	82	64	36	30	26	22	16	36	15	2.08	9.00	238	
Fondation Stabilisée		Fondation Stabilisée	98	96	92	80	62	44	36	28	22	16	35	16	2.00	9.6	286	
MOYENNE													36	16	2.00	9.3	274	

Fiche récapitulative des matériaux d'emprunt

Emprunts	PK	Nature	GRANULOMETRIE										ATTERBERG		OPM		CBR	Class. HBR
			Tamisats (%)										LL	IP	ds	w	4j	
			31.5	25	20	10	5	2	1	0.4	0.2	0.08	%	%	T/m3	%	0.95	
1(5380m3)	1+800/G	Graveleux latéritique	100	97	95	90	77	43	35	24	22	18	41	19	2.21	8.4	46	A-2-7
2(5031m3)	3+300/D	Graveleux latéritique	100	99	96	91	79	44	37	25	23	19	41	16	2.15	8.2	46	A-2-7
3(6572m3)	6+100/D	Graveleux latéritique	99	98	95	92	80	45	37	25	23	20	42	14	2.17	9.2	52	A-2-7
4(5650m3)	8+500/G	Graveleux latéritique	100	98	94	89	78	46	36	26	22	20	42	17	2.20	8.6	42	A-2-7

5(5679m3)	9+200/D	Graveleux latéritique	100	99	96	91	79	44	37	25	23	19	41	18	2.16	9.2	38	A-2-7
		Graveleux latéritique	99	97	95	90	80	45	35	26	23	18	40	18	2.19	8.5	41	A-2-7
		Graveleux latéritique	99	97	95	93	78	43	33	23	22	19	41	16	2.15	8	36	A-2-7

Résultat des essais sur les emprunts de carrière pour les matériaux bitumineux et béton hydraulique

- **Equivalent de sable**

Désignation	Unité	E1	E2
Hauteur de flocculat H1	cm	13.6	13
Hauteur du sédiment H'2 (à vue)	cm	9.5	8.7
Hauteur de sédiment H2 (au piston)	cm	8	7.3
Equivalent de sable ESv (à vue) moy (H'2/H1) x 100	%	68	
Equivalent de sable ES (au piston) moy (H'2/H1) x 100	%	58	

- **Essai Micro-deval**

CLASSE GRANULAIRE	ESSAI	CHARGE	Nmbre TOURS	EAU	PRISE D'ESSAI	REFUS 1.6 mm (R en gr)	PASSANT 1.6 (P=500-R en gr)	VALEUR MDE= (P/5 en %)
			DUREE ESSAI					
Fraction 4/6.3	MDS 1	2000 ± 5g	12000 TOURS 120 MINUTES	/	500 g			
	MDS 2							
	MDE 1							
	MDE 2							
Fraction 6.3/10	MDS 1	4000 ± 5g		/				

ETUDES TECHNIQUES EN VUE E LA REHABILITATION DE LA ROUTE NATIONALE
YAMOISSOUKRO-BOUAFLE-DALOA (COTE D'IVOIRE)

	MDS 2							
	MDE 1			2.5				
	MDE 2			LITR ES				
Fraction 10/14	MDS 1	5000 ±		/				
	MDS 2							
	MDE 1	5g		2.5	470.2	29.8	6	
	MDE 2			LITR ES	472	28		

- **Essai LOS ANGELES**

CLASSE GRANULAIR E	ESSA I	CHARGE	Nmbre TOURS	PRISE D'ESSA I	REFU S 1.6 mm (R en gr)	PASSAN T 1.6 (P=500-R en gr)	VALEU R MDE= (P/5 en %)
			DUREE ESSAI				
Fraction 4/6.3	CLA 1	7 BOULET	500 TOURS 15 MINUTE S	5000± g			
	CLA 2	S 3015 ± 8g					
Fraction 6.3/10	CLA 1	9 BOULET					
	CLA	S 3910 ± 70g					

	2						
Fraction 10/14	CLA 1	11 BOULET			3859.6	1140.4	23
	CLA 2	S 4775 ± 85g			3856.0	1144.0	

- Analyse granulométrique

Analyse granulométrique													
Poids (g)	6543												
Tamis (mm)	31.5	25	20	16	10	8	6.3	4	2.5	1.25	0.63	0.160	0.08
M.R cumulés (g)	0	401	1595	2381	3442	3827	4174	4674	4988	5317	5547	5994	6197
Refus (%)	0.0	6.1	24.4	36.4	52.6	58.5	63.8	71.4	23.77	81.3	84.8	91.6	94.7
Passants (%)	100.0 0	93.87	75.62	63.61	47.39	41.51	36.21	28.56	23.77	18.74	15.22	8.39	5.29
Fuseau de Spécification				40	31.5	20	12.5	6.3	4	1	0.5	0.2	0.08
Passant aux tamis max				100	100	90	70	47	40	24	18	13	10
Passant aux tamis Min				100	90	63	48	26	22	10	7	5	4

Dimensionnement des structures de renforcement

Le dimensionnement routier consiste à évaluer le niveau de sollicitation de la chaussée et à déterminer les épaisseurs à donner aux différentes couches afin de réduire les contraintes et les déformations à des valeurs admissibles pour un trafic donné. Ce type de dimensionnement prend en compte la méthodologie du Guide technique du LCPC-SETRA qui fait appel au programme de calcul de structure ALIZE. Ce dernier est basé sur la méthode de Burmister, calcule sous une charge circulaire, les contraintes et déformations en différents points dans un massif multicouches semi-infini, où chaque couche est homogène, isotrope à comportement élastique linéaire.

Ce faisant, la démarche suivie pour l'étude de dimensionnement consiste à :

- ✓ déterminer les limites admissibles des matériaux en fonction de leurs caractéristiques mécaniques propres (loi de fatigue du matériau) et du trafic ;
- ✓ Modéliser la structure existante en fonction de ses épaisseurs, des modules de rigidité des matériaux et de leur coefficient de Poisson ;
- ✓ Calculer sous charge de référence (13 tonne), les contraintes et les déformations dans les différentes couches de matériaux ;
- ✓ Comparer les valeurs calculées par le modèle aux valeurs admissibles déterminées.

De façon générale, les critères retenus pour le dimensionnement de chaussées sont au nombre de trois :

- ✓ **la déformation verticale des matériaux non traités et du sol support, notée ε_z** et exprimée sans unité, paramètre retenu pour les chaussées souples ;
- ✓ **la déformation horizontale exercée à la base des matériaux bitumineux, notée ε_t** et exprimée sans unité, paramètre retenu pour les chaussées en enrobés ;
- ✓ **la contrainte horizontale exercée à la base des matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH), noté σ_t** et exprimée en bars ; critère retenu pour les matériaux traités aux liants hydrauliques.
- ✓

Calcul des sollicitations admissibles des différents matériaux

Ici il sera question de calculer à partir de la nature du matériau et des différents coefficients cités ci-dessous les différentes limites admissibles à travers les expressions suivantes

- **la déformation horizontale exercée à la base des matériaux bitumineux**

$$\varepsilon_{tadm} = \varepsilon_6 \times \left(\frac{E_1}{E_2}\right)^{0,5} \times \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b \times k_c \times k_r \times k_s$$

$(NE/10^6)^b$: coefficient lié au nombre d'essieux équivalents

- ✓ ε_6 : l'élongation admissible pour une fréquence de 25 Hz et une température de 10°C
- ✓ E_1 : le module du matériau à la température équivalente de 10°C
- ✓ E_2 : le module du matériau à la température équivalente du milieu d'utilisation;
- ✓ NE : nombre d'essieux équivalents
- ✓ b : la pente de la droite de fatigue des matériaux
- ✓ k_c : coefficient de salage destiné à ajuster les résultats du modèle de calcul ou comportement observé de chaussée du même type. Pour les chaussées a assise traitée aux liants hydrauliques, la valeur retenue est 1.5
- ✓ $K_r = 10^{-ub\delta}$: coefficient qui traduit l'approche probabiliste de la méthode
- ✓ k_s : coefficient lié à la qualité de la plate-forme qui vaut 1/1,2 si PF1 ; 1/1 si PF2 et 1 pour PF3 et PF4.
- **la contrainte horizontale exercée à la base des matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH)**

$$\varepsilon_{tadm} = \sigma_i \times k_c \times k_r \times k_d \times k_s$$

- $\sigma_t(NE)$: contrainte pour laquelle la rupture par traction en flexion sur éprouvette de 360j est obtenue pour 10^6 cycles
- k_d : coefficient introduit pour prendre en compte l'effet des discontinuités pour la couche de base, il prend pour valeur 1/1,25 pour les graves traités.

- **la déformation verticale des matériaux non traités et du sol support**

$$\varepsilon_{zadm} = 2,8 \cdot 10^{-2} \times NE^{-0,25} \text{ (Loi de tassement de Shell)}$$

$$\sigma_{zadm} = \frac{0,3 \times CBR}{1+0,7 \log NE} \text{ (Kerkhoven et Dormon)}$$

Un rappel du tableau récapitulatif des différentes caractéristiques de nos matériaux

Matériaux	e (cm)	CBR	CAM	Module de rigidité E (MPa)	Coefficient de Poisson	ϵ_6 (μm)	σ_6	Sh (cm)	1/b	SN	Kc	r (%)	u	c (cm^{-1})	ks	Kd
Béton bitumineux	6		2.2	2220	0,35	100	-	1	5	0,25	1,1	10	-1,28	0,02	1	
Grave Bitume 2	10	-	2.2	3420	0,35	80	-	$1+0,3(e-10) =1$	5	0,3	1,3	10	-1,28	0,02		
Sol ciment	25	-	2.2	12000	0,25	-	0.42	2,5	12	0,8	1,4	10	-1,28	0,02	1	1
Grave Latéritique Ciment	15	-	2.2	5000	0,25	-	0.21	2.5	10	0.8	1.4	10	-1.28	0.02	1	1
Grave Latéritique	18		2.2	280	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grave Latéritique argileuse	30		2.2	148	0.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grave Latéritique	-		2.2	100	0.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grave Non traitée	20	-	2.2	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- la déformation horizontale exercée par le Béton Bitumineux

$$\varepsilon_{tadm} = \varepsilon_6 \times \left(\frac{E_1}{E_2}\right)^{0,5} \times \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b \times k_c \times k_r \times k_s$$

$$\varepsilon_{tadm} = 100 \times \left(\frac{7200}{2220}\right)^{0,5} \times \left(\frac{1.10^7}{10^6}\right)^{-\frac{1}{5}} \times 1.1 \times 10^{-ub\delta} \times 1$$

$$100 \times \left(\frac{7200}{2220}\right)^{0,5} \times \left(\frac{1.10^7}{10^6}\right)^{-\frac{1}{5}} \times 1.1 \times 10^{-1.28 \times \frac{1}{5} \left(\sqrt{(0.25)^2 + \left(\frac{0.02 \times 0.01}{-1/5}\right)^2} \right)} \times 1$$

$$\varepsilon_{tadm} = 95,5 \cdot 10^{-6} MPa$$

- la déformation horizontale exercée par la Grave Bitume

$$\varepsilon_{tadm} = \varepsilon_6 \times \left(\frac{E_1}{E_2}\right)^{0,5} \times \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b \times k_c \times k_r \times k_s$$

$$\varepsilon_{tadm} = 80 \times \left(\frac{7200}{2220}\right)^{0,5} \times \left(\frac{1.10^7}{10^6}\right)^{-\frac{1}{5}} \times 1.1 \times 10^{-1.28 \times \frac{1}{5} \left(\sqrt{(0.3)^2 + \left(\frac{0.02 \times 0.01}{-1/5}\right)^2} \right)} \times 1,3$$

$$\varepsilon_{tadm} = 92,1 \cdot 10^{-6} MPa$$

- la contrainte horizontale exercée à la base des matériaux améliorés au ciment 3%

$$\varepsilon_{tadm} = \sigma_i \times k_c \times k_r \times k_d \times k_s$$

$$\varepsilon_{tadm} = 0.5 \times 1.5 \times 10^{-1.28 \times \frac{1}{12} \left(\sqrt{(0.8)^2 + \left(\frac{0.02 \times 0.025}{-1/12}\right)^2} \right)} \times 1 \times 1$$

$$\varepsilon_{tadm} = 0,483 MPa$$

- la déformation verticale des matériaux non traités et du sol support

$$\varepsilon_{zadm} = 2,8 \cdot 10^{-2} \times NE^{-0,25} \text{ (Loi de tassement de Shell)}$$

$$\varepsilon_{zadm} = 2,8 \cdot 10^{-2} \times (1.10^7)^{-0,25}$$

$$\varepsilon_{zadm} = 426,6 \cdot 10^{-6} MPa$$

Un tableau regroupant toutes les limites absolues est présenté ci-dessous

Désignation des matériaux	Coefficient de poisson ν	Coefficient d'agressivité CAM	Nombre d'essieux équivalents NE (13EET)	Contrainte de traction admissible $\sigma_{t,adm}$ (Mpa)	Déformation de traction admissible $\varepsilon_{t,adm}$ (10^{-6})	Déformation verticale admissible $\varepsilon_{z,adm}$ (10^{-6})
Sol support	0,35	2,2	1,0E+07			426,6
Autres matériaux non liés	0,35	2,2	1,0E+07			426,6
Matériau recyclé au ciment (3%)	0,25	2,2	1,0E+07	0,483		
Grave ciment	0,25	2,2	1,0E+07	0,644		
Grave Bitume	0,35	2,2	1,0E+07		92,1	
Béton bitumineux	0,35	2,2	1,0E+07		95,5	

Passons à la vérification sur Alizé

Vérification sur Alizé

ALIZE LCPC permet de déterminer à partir d'un modèle multicouche, élastique et linéaire, les déformations et contraintes réellement observées au niveau de nos différentes couches, ensuite nous comparons ses valeurs à celles des déformations et contraintes admissibles. Il est possible d'ajuster les épaisseurs pour obtenir de meilleurs résultats Les hypothèses considérées sont les suivantes :

- La structure d'une chaussée est déterminée par n couches d'épaisseurs finies (sauf la dernière), infinie en plan.
- Les matériaux ont un comportement élastique et linéaire,
- Les contraintes sont des pressions ou des cisaillements. Chaque couche de chaussée est caractérisée par quatre paramètres de base ou les données à rentrer dans le modèle pour les différentes simulations sont :
 - L'épaisseur h_i ;
 - Le module d'Young (E_i) ;

- Le coefficient de poisson (ν) ;
- Les types d'interface entre les couches (conditions de collage) : Ici toutes les couches utilisent l'interface « collé »

➤ **Cas de la variante choisie à partir du guide CEBTP**

Il s'agit de la structure suivante :

VARIANTE	COUCHE DE ROULEMENT	COUCHE DE BASE	COUCHE DE FONDATION	SOL SUPPORT
VARIANTE 1	6 cm BB	10 cm GB	25 cm MATERIAUX AMELIORES AU CIMENT 3%	ANCIENNE STRUCTURE

La modélisation sur Alizé donne les résultats suivants

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

variante 1 : Durée=00:00sec

épais. (m)	module (MPa)	coef. Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (μ déf)	SigmaT (MPa)	EpsZ (μ déf)	SigmaZ (MPa)
0,060	2220,0	0,350	0,000	19,9	0,135	105,0	0,660
collé			0,060	7,5	0,171	164,0	0,623
0,100	3200,0	0,350	0,060	7,5	0,232	110,4	0,623
collé			0,160	-1,0	0,135	70,1	0,356
0,250	5000,0	0,250	0,160	-1,0	0,113	59,8	0,356
collé			0,410	-61,7	-0,379	40,0	0,028
0,630	200,0	0,350	0,410	-61,7	-0,003	144,1	0,028
collé			1,040	-54,2	-0,013	78,8	0,007
infini	50,0	0,350	1,040	-54,2	0,000	143,7	0,007

Grandeurs affichées

- tableau 1
- tableau 2
- tableau 3
- tableau 4
- tableau 5
- tableau 6
- tableau 7
- tableau 8

Déflexion = 35,8 mm/100

entre-jumelage

Rdc = 922,3 m

Imprimer Enregistrer

Variante n+1

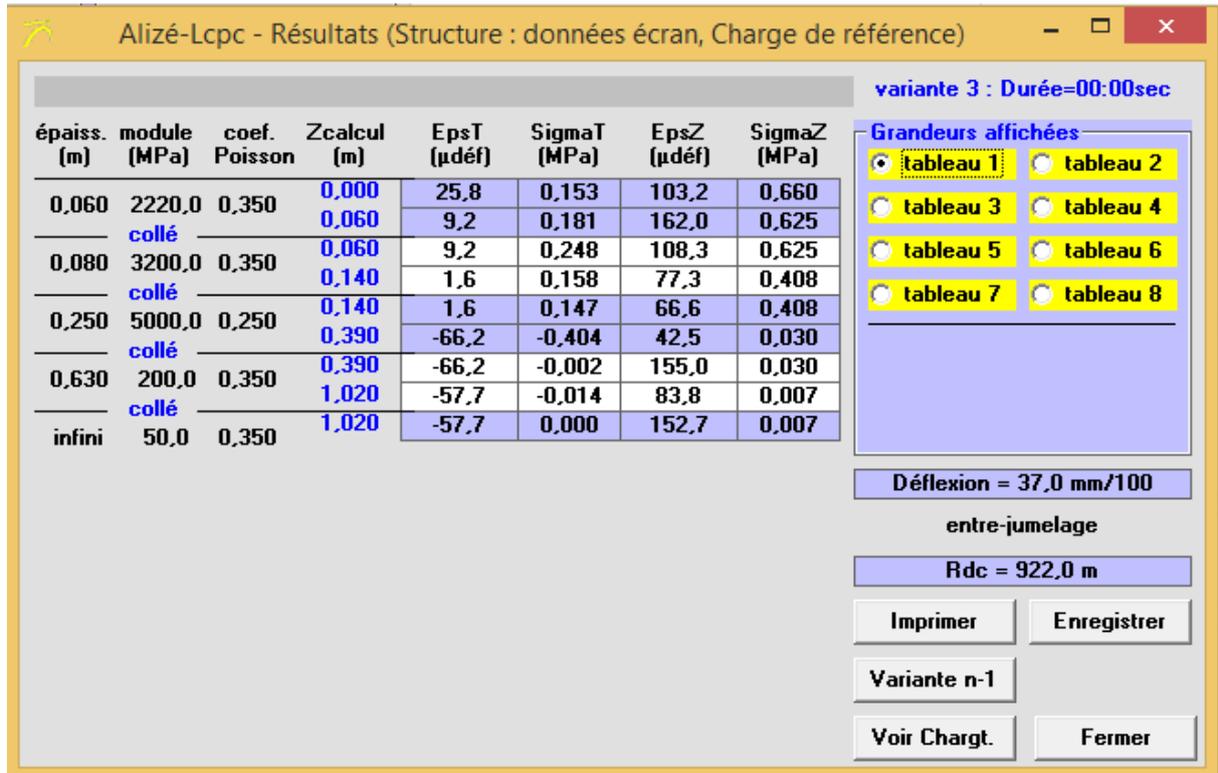
Voir Chargt. Fermer

Ce qui nous permet de tirer les conclusions suivantes

COUCHES	EPAISSEURS	VALEURS ADMISSIBLES	VALEURS OBTENUES	CONDITION
Roulement en BB	6	$\varepsilon_{Tadm} = 95,53$	$\varepsilon_{Tsup} = 19,9$	Condition vérifiée
			$\varepsilon_{Tinf} = 7,5$	Condition vérifiée
Base en GB	10	$\varepsilon_{Tadm} = 92,14$	$\varepsilon_{Tsup} = 7,5$	Condition vérifiée
			$\varepsilon_{Tinf} = -1,0$	Condition vérifiée
Fondation en matériaux recyclés améliorés au ciment 3%	25	$\sigma_{Tadm} = 0,483$	$\sigma_{Tsup} = 0,113$	Condition vérifiée
			$\sigma_{Tinf} = -0,379$	Condition vérifiée
Plateforme 2 (Ancienne structure)	63	$\varepsilon_{Zadm} = 426,6$	$\varepsilon_Z = 78,8$	Condition vérifiée
Plateforme 1 (Sol support ancienne structure)	-	$\varepsilon_{Zadm} = 426,6$	$\varepsilon_Z = 143,7$	Condition vérifiée

Après avoir procédé à des variations automatiques des épaisseurs de la Grave Bitume, vérifions les contraintes et déformations pour une épaisseur de 8 cm

➤ **Cas de la variante choisie à partir du guide CEBTP révisée (8cm de GB)**



Ce qui nous permet de tirer les conclusions suivantes

COUCHES	EPAISSEURS	VALEURS ADMISSIBLES	VALEURS OBTENUES	CONDITION
Roulement en BB	6	$\epsilon_{Tadm} = 95,53$	$\epsilon_{Tsup} = 25,8$	Condition vérifiée
			$\epsilon_{Tinf} = 9,2$	Condition vérifiée
Base en GB	8	$\epsilon_{Tadm} = 92,14$	$\epsilon_{Tsup} = 9,2$	Condition vérifiée
			$\epsilon_{Tinf} = 1,6$	Condition vérifiée
Fondation en matériaux recyclés améliorés au ciment 3%	25	$\sigma_{Tadm} = 0,483$	$\sigma_{Tsup} = 0,147$	Condition vérifiée
			$\sigma_{Tinf} = -0,404$	Condition vérifiée

Plateforme 2 (Ancienne structure)	63	$\varepsilon_{Zadm} = 426,6$	$\varepsilon_Z = 83,8$	Condition vérifiée
Plateforme 1 (Sol support ancienne structure)	-	$\varepsilon_{Zadm} = 426,6$	$\varepsilon_Z = 152,7$	Condition vérifiée

Les conditions sont toujours vérifiées et nous obtenons toujours une structure acceptable aussi bien techniquement qu'économiquement.

➤ **Cas de la variante choisie par la structure d'accueil**

La deuxième variante à vérifier est celle utilisée par la structure d'accueil à savoir

- 8cm de Béton Bitumineux en couche de roulement
- 20 cm de Grave non traitée en couche de base
- 30 cm de Matériaux recyclés améliorés au ciment (3%) en couche de fondation

Alizé-Lcpc - Résultats (Structure : données écran, Charge de référence) variante 1 : Durée=00:00sec

épais. (m)	module (MPa)	coef. Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdéf)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdéf)	SigmaZ (MPa)
0,080 collé	2220,0	0,350	0,000	-120,1	-0,149	-11,5	0,660
			0,080	-166,9	-0,290	295,7	0,470
0,200 collé	600,0	0,350	0,080	-166,9	0,061	652,2	0,470
			0,280	12,8	0,107	180,9	0,188
0,300 collé	5000,0	0,250	0,280	12,8	0,148	22,7	0,188
			0,580	-45,1	-0,283	30,9	0,021
0,630 collé	200,0	0,350	0,580	-45,1	-0,002	110,2	0,021
			1,210	-43,5	-0,010	63,6	0,006
infini	50,0	0,350	1,210	-43,5	0,000	116,5	0,006

Grandeurs affichées: tableau 1 tableau 2 tableau 3 tableau 4 tableau 5 tableau 6 tableau 7 tableau 8

Déflexion = 36,0 mm/100 entre-jumelage

Rdc = 247,2 m

Imprimer Enregistrer

Voir Chargt. Fermer

Ce qui nous permet de tirer les conclusions suivantes

COUCHES	EPAISSEURS	VALEURS ADMISSIBLES	VALEURS OBTENUES	CONDITION
Roulement en BB	8	$\varepsilon_{Tadm} = 95,53$	$\varepsilon_{Tsup} = -120$	Condition vérifiée
			$\varepsilon_{Tinf} = -166,2$	Condition vérifiée
Base en GNT 0/31,5	20	$\varepsilon_{Zadm} = 426,6$	$\varepsilon_Z = 180,9$	Condition vérifiée
				Condition vérifiée
Fondation en matériaux recyclés améliorés au ciment 3%	30	$\sigma_{Tadm} = 0,483$	$\sigma_{Tsup} = 0,148$	Condition vérifiée
			$\sigma_{Tinf} = -0,283$	Condition vérifiée
Plateforme 2 (Ancienne structure)	63	$\varepsilon_{Zadm} = 426,6$	$\varepsilon_Z = 63,6$	Condition vérifiée
Plateforme 1 (Sol support ancienne structure)	-	$\varepsilon_{Zadm} = 426,6$	$\varepsilon_Z = 116,5$	Condition vérifiée

Cette structure de renforcement est aussi bonne et les matériaux d'emprunts sont disponibles dans la zone du projet.

Conclusion de l'étude

A la fin de notre étude structural, nous voyons que les deux structures de renforcement sont acceptables, mais vu la durée de vie de la route (20 ans) il est préférable de garder la structure de chaussée souple par rapport à une structure semi-rigide (avec la GNT) **donc nous opterons pour notre première variante** à savoir :

❖ **6 cm de Béton Bitumineux en couche de roulement**

- ❖ **8 cm de Grave bitume en couche de base**
- ❖ **25 cm de Matériaux recyclés améliorés au ciment (3%) en couche de fondation**
- ❖ **63 cm de graveleux recyclés (nouvelle plateforme)**
- ❖ **l'ancienne plateforme**

ANNEXE 3 : ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

ETUDE HYDROLOGIQUE

L'étude hydrologique met en évidence la détermination des débits de crue pour chaque bassin versant dont l'écoulement coupe notre projet. Il est cependant nécessaire de pouvoir délimiter ces bassins et trouver leurs caractéristiques. Nous utiliserons à cet effet :

- Google Earth
- Global Mapper un logiciel de Système d'Information Géographique (SIG) qui permet d'arriver à ces résultats.

La délimitation des bassins versants

Pour le tracé des limites d'un bassin versant, il faut au préalable :

- Repérer l'exutoire ;
- Repérer le réseau hydrographique ;
- Repérer les points hauts puis les courbes de niveau autour de ces points hauts;
- Tracer la ligne de partage des eaux en suivant les lignes de crête puis en rejoignant, l'exutoire par une ligne de plus grande pente perpendiculaire aux courbes de niveau (donné par le logiciel Global mapper)

Pour ce faire on importe le tracé de la zone obtenue par le logiciel Google Earth dans le logiciel Global Mapper. Ensuite, on fixe les spécifications suivantes :

- Le type de projection(UTM) pour la Côte d'Ivoire
- Le système géodésique de référence WGS 84.

Après avoir fixé les paramètres, la seconde étape consiste à charger le modèle numérique de terrain MNT. Le logiciel nous propose plusieurs modèles. Mais on utilisera **Le modèle "SRTM"** qui est libre et accessible au grand public. Il est fourni par la NASA. Une fois enregistrée nous générons le réseau des cours d'eaux. La délimitation des bassins versants et les sous bassins versants se fait sur le logiciel Global Mapper. La mesure ainsi que le calcul des paramètres des bassins versants sont obtenus par le même logiciel.

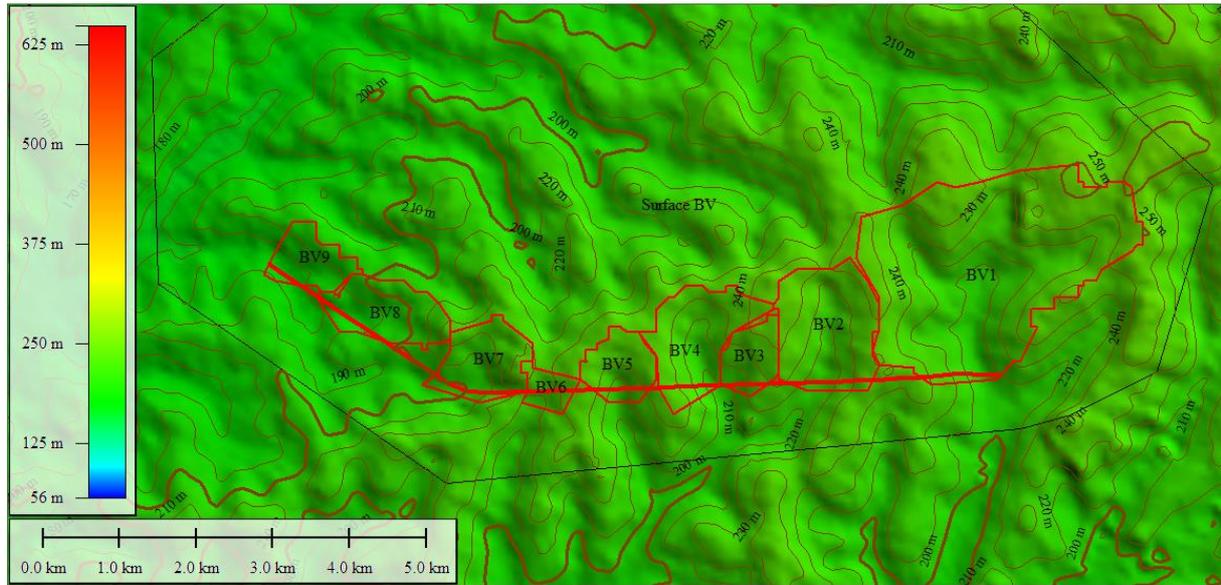


Figure 12: Délimitation des Bassins versants (Global Mapper)

Les caractéristiques des bassins versants

Les paramètres physiques et géométriques (Tableau) de ces bassins ont été déterminés par le logiciel Global Mapper. Pour notre projet, ces paramètres sont :

N° des BV	Superficie (km ²)	Périmètre (km)	Longueur hydraulique (km)	Zmin (m)	Zmax (m)	Pente critique Ic (%)	Pente moyenne I (%)
BV1	7.063	11.957	3.30	201	254	12.02	3.89
BV2	1.967	5.508	1.45	211	249	7.75	3.95
BV3	0.603	3.15	0.751	208	246	7.28	3.54
BV4	1.484	5.745	1.40	208	248	8.62	3.87
BV5	0.713	3.36	0.468	212	241	7.46	3.62
BV6	0.3144	2.554	0.275	215	240	5.95	3.69
BV7	1.025	4.47	1.10	192	235	10.68	4.21
BV8	1.115	4.737	1.33	180	226	7.68	3.74

BV9	0.672	3.793	0.914	174	200	7.38	3.58
-----	-------	-------	-------	-----	-----	------	------

Présentation des méthodes d'évaluation de débit

Toute étude d'un réseau d'assainissement nécessite à l'étape initiale la détermination des débits d'eaux pluviales à prendre en compte. Le problème d'évaluation des débits pluviaux dans les bassins versants a fait depuis longtemps l'objet de nombreuses études théoriques. Ainsi plusieurs méthodes d'évaluation des débits pluviaux sont adoptées parmi lesquelles on peut citer (NGUYEN VAN, 1981) :

- La méthode rationnelle ;
- La méthode superficielle de Caquot ;
- La méthode du CIEH ;
- La méthode ORSTOM ;
- ...

Dans notre cas nous avons deux catégories de bassins

- Les bassins de superficies inférieures à 4 km²
- Et un bassin de superficie 7km²

Ainsi pour les bassins de superficies inférieures à 4 km² nous utiliserons **la méthode rationnelle** tandis que pour le bassin de superficie 7km² nous utiliserons **la méthode ORSTOM**.

Calcul des débits selon la méthode rationnelle

La méthode rationnelle a été mise au point au milieu du XIX siècle. Cette formule utilise un modèle de transformation de la pluie, décrite par son intensité considérée comme uniforme dans le temps en un débit instantané maximal à l'exutoire. La formule de la méthode rationnelle qui donne le débit s'écrit :

$$Q = K \times C \times I \times A$$

Avec

- Q : débit à évacuer (m³/s);
- K: facteur de conversion (K = 0,278 si la surface est en km²) ;
- C : coefficient de ruissellement et comme nous sommes dans une **zone engazonnée nous retenons C= 0.30**
- A : la superficie du bassin versant en km²;
- I : intensité de l'averse (mm/h).

Dans le cadre de ce projet, l'intensité I est déterminée par la relation empirique de Montana ($I = a \times T_c^{-b}$) en utilisant les paramètres pluviométriques a et b de la région d'étude pour une période de retour de dix 10 ans. Les paramètres de Montana pour notre zone d'étude (centre de la Côte d'Ivoire) sont : **a = 570 et b = 0,67**

T_c est le temps de concentration en minute peut se calculer à l'aide de nombreuses formules dont celle de KIRPICH

Formule de KIRPICH :

$$T_c = \frac{1}{52} \times \frac{L^{0.77}}{p^{0.38}}$$

Où L désigne la distance en mètre entre l'exutoire et le point le plus éloigné du bassin ;

p symbolise la pente du bassin.

Notre projet se trouvant dans une zone abritant de nombreuses auberges et restaurants ; nous allons donc de ce fait prévoir dans le dimensionnement de nos ouvrages, l'évacuation des eaux usées de ces complexes. Il nous déterminerons donc les débits de ces eaux usées.

 **Pour le BV2 par exemple**

$$T_c = \frac{1}{52} \times \frac{1450^{0.77}}{0.0395^{0.38}}$$

$$T_c = 18,36 \text{ minutes}$$

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

$$I = 570 \times 18.36^{-0,67}$$

$$I = \underline{\underline{81,10 \text{ mm/h}}}$$

$$Q = 0,278 \times 0,3 \times 2.25 \times 10^{-5} \times 1.967 \times 10^6$$

$$Q = \underline{\underline{13.3 \text{ m}^3/\text{s}}}$$

Les autres débits sont consignés dans le tableau suivant :

N° BV	Superficie (km ²)	Longueur Hydr. (m)	Pente I (m/m)	Coefficient ruis. C	Temps de conc. Tc (min)	Montana		Intensité (mm/h)	Débit de Crue Q10 (m ³ /s)	Débit ruisselé (m ³ /s)	Débit de pointe Qp (m ³ /s)
						A	B				
BV2	1.967	1450	0.0395	0.3	18.36	570	0.67	81.10	13.3	0.42	13.71
BV3	0.603	751	0.0354	0.3	11.54	570	0.67	110.71	5.6	0.24	5.80
BV4	1.484	1400	0.0387	0.3	18.01	570	0.67	82.15	10.2	0.36	10.52
BV5	0.713	468	0.0362	0.3	7.94	570	0.67	142.11	8.4	0.31	8.75
BV6	0.314	275	0.0369	0.3	7.24	570	0.67	187.49	4.9	0.18	5.10
BV7	1.025	1100	0.0421	0.3	14.48	570	0.67	95.07	8.1	0.31	8.43
BV8	1.115	1330	0.0374	0.3	17.54	570	0.67	83.71	7.8	0.31	8.07
BV9	0.672	914	0.0358	0.3	13.36	570	0.67	100.32	5.6	0.24	5.85

Méthode ORSTOM

Cette méthode permet d'évaluer le débit de la crue décennale sur les bassins versants de la zone sahélienne et tropicale sèche.. En Afrique de l'Ouest, pour les petits bassins versants de superficie inférieure à 200 km², les hydrologues de l'ORSTOM ont proposé de prendre pour référence de crue de projet la crue dite « décennale ». Le débit de pointe correspondant au ruissellement de la crue décennale peut être défini par la relation :

$$Q_{max10} = m \times \alpha_{10} \times K_{r10} \times \frac{A \times P_{10} \times S}{3.6 \times T_{b10}}$$

Avec :

- m : Coefficient de majoration d'écoulement prenant en compte le débit d'écoulement retardé estimé entre 1,03 et 1,15 au regard de la perméabilité et de la taille des bassins;
- α_{10} Coefficient de pointe (Dans notre cas 2.5) ;
- S : Superficie du bassin versant en km² ;
- P_{an} : Précipitation moyenne annuelle (mm) ;
- K_{r10} : Coefficient de ruissellement décennal ;
- T_b : Temps de base (s) ;
- P₁₀ : Pluie journalière décennale (mm) ;
- A : le coefficient d'abattement

$$Q_{max10} = 1.15 \times 2.5 \times 0.385 \times \frac{0.8987 \times 0.10625 \times 7.063 \times 10^6}{3.6 \times 27600}$$

$$Q_{max10} = 23,52 \text{ m}^3/\text{s}$$

N° BV	Superficie (km ²)	Pente I (m/m)	Coefficient d'abattement	Kr10 (%)	P10 (mm)	Coeff. de pointe	Tps de base Tb10 (min)	Débit de crue Q10	Débit ruisselé (m ³ /s)	Débit de pointe Qp
-------	-------------------------------	---------------	--------------------------	----------	----------	------------------	------------------------	-------------------	------------------------------------	--------------------

								(m3/s)		(m3/s)
BV1	7.063	0.0389	0.8987	38.5	106.25	2.5	460	23.52	0.8	24.31

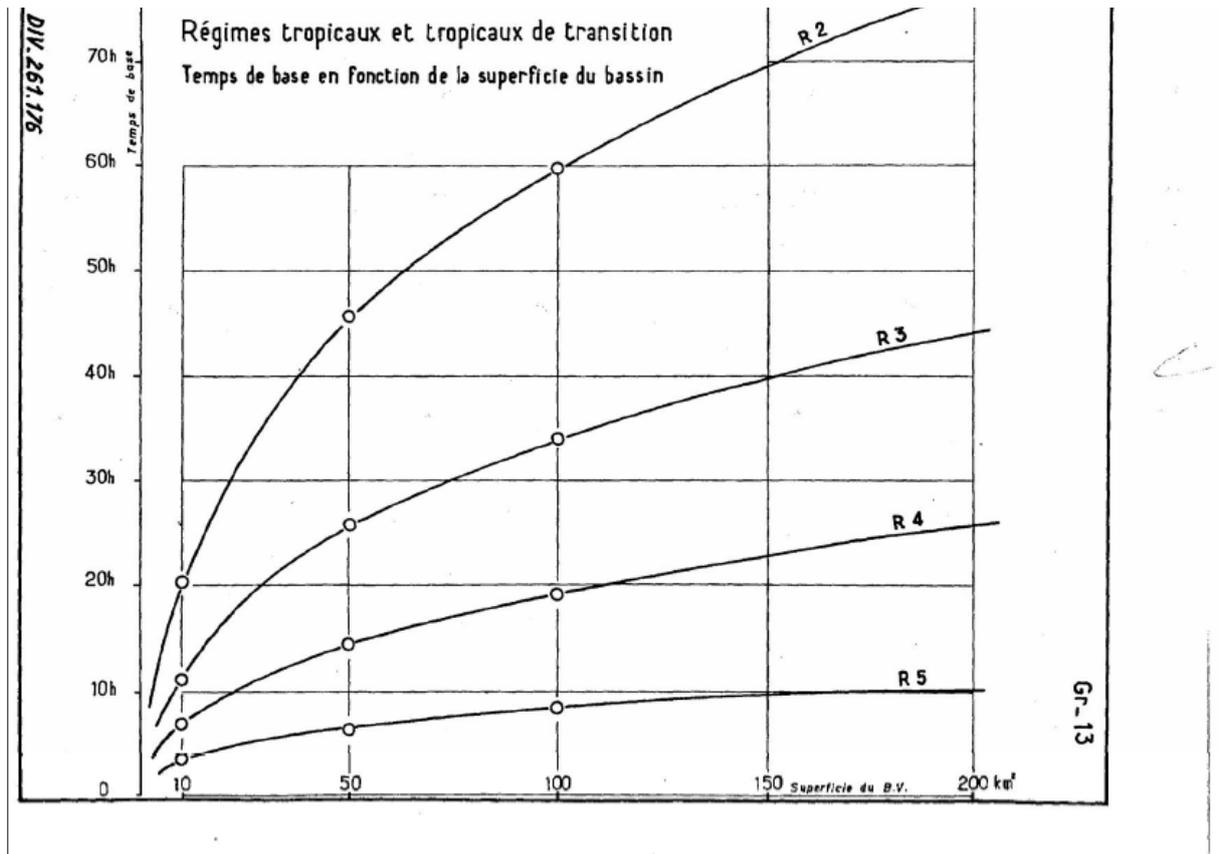


Figure 13: Abaque de détermination du temps de base en fonction de la superficie du bassin (ORSTOM)

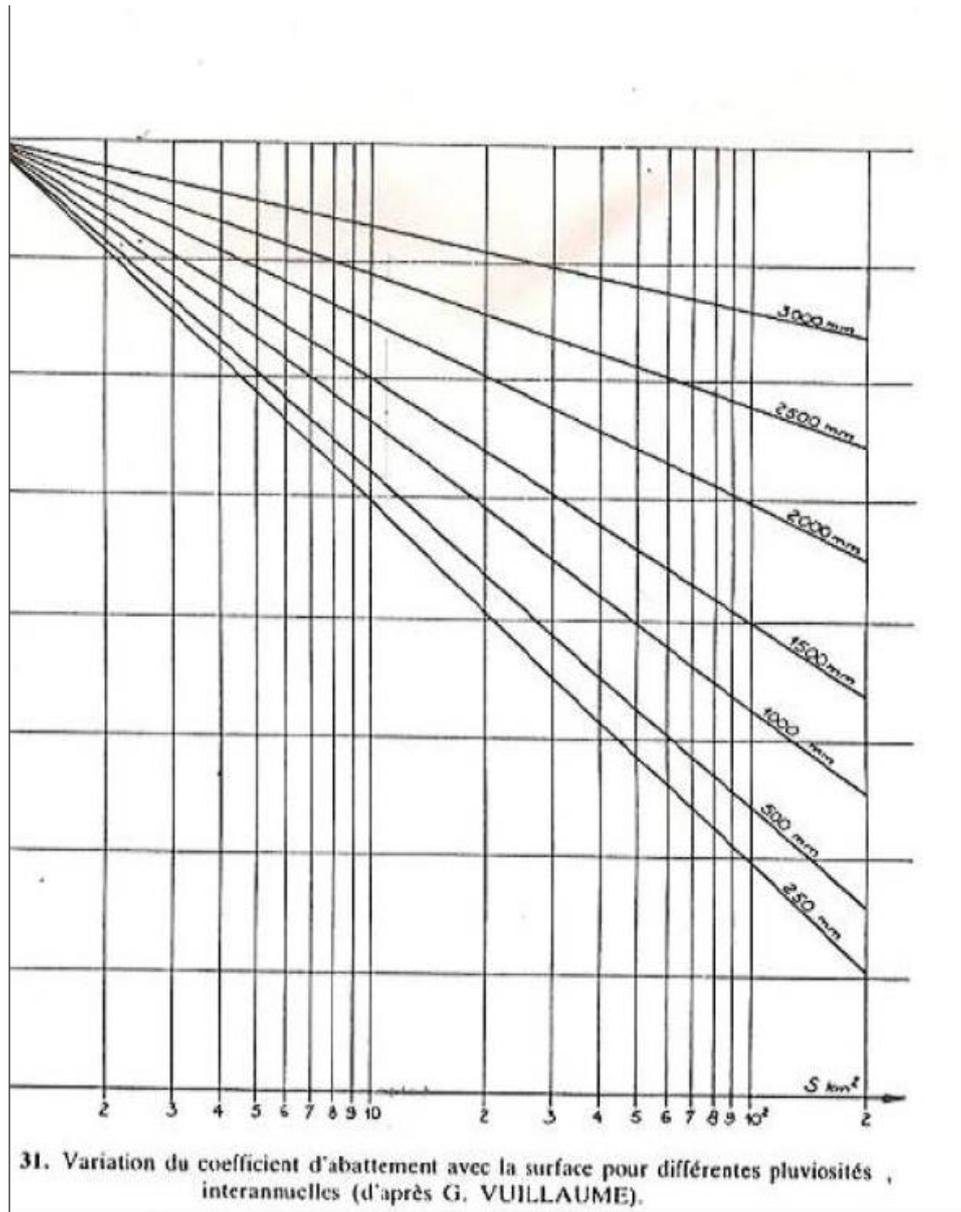


Figure 14: Abaque de détermination du coefficient d'abattement (ORSTOM)

ETUDE HYDRAULIQUE

✚ Etat des lieux des ouvrages existants

N°	PK	Caractéristiques	Photos	Observations
1	0+180	Dalot 240 x 120		<ul style="list-style-type: none"> - Ouvrage entièrement enterré - Regard en amont - Bon état visuel
2	1+210	Dalot 80 x 60		<ul style="list-style-type: none"> - Bon état visuel
3	2+352	Dalot 200 x 140		<ul style="list-style-type: none"> - Désagrégage de l'ouvrage de tête - En cours de travaux
4	3+710	Buse 800		<ul style="list-style-type: none"> - Tête légèrement endommagée - Un élément de buse endommagé
5	4+920	-	Section non vue	
6	6+420	Buse 800		<ul style="list-style-type: none"> - Désagrégage de l'ouvrage de tête

7	7+040	Buse 800		- Ouvrage rempli à moitié
8	8+385	Dalot 150 x 140		- Dalot entièrement enterré et en charge en aval
9	8+800	Buse 1000		- Ouvrage entièrement ensablé

2. Solution envisagées pour la réhabilitation des dalots et buses

En général, ces ouvrages nécessitent tous un entretien à différents niveaux à savoir :

- Le débroussement en amont et en aval de chaque ouvrage
- Le curage des ouvrages ensablés et le recalibrage des lits
- La mise en bon état des ouvrages existants selon les résultats des tests de solidité
- Le prolongement des ouvrages existants conformément au nouveau profil en travers
- Tous les ouvrages dont les sections ont été jugées insuffisantes ont été renforcés par des sections complémentaires

Ces solutions proposées permettront d'assurer le bon fonctionnement et la durabilité de ces ouvrages. Leur mise en œuvre offrira donc à la route un confort acceptable.

3. Calcul des sections des ouvrages

Les études hydrologiques et l'état des lieux ont permis de collecter des données sur les différents débits et les différents ouvrages en place. Ainsi, il sera question de déterminer les sections des ouvrages hydrauliques capables d'évacuer les débits décennaux, les comparer avec les sections existantes et voir si oui ou non il est nécessaire de remplacer ces ouvrages par de nouveaux ouvrages qui feront l'objet d'un dimensionnement structural avant leurs mises en place sur le terrain.

On tient compte de plusieurs paramètres pour le choix de ces ouvrages les plus importants sont :

- La catégorie de la route ;
- La topographie des lieux ;
- Le débit à évacuer ;
- La nature du sol en place

Le principe est de déterminer un débit d'ouvrage supérieur au débit à évacuer. La détermination de ce débit se fera avec la formule de Manning Strickler défini comme suit :

$$Q = K \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2}$$

Avec :

- Q : Débit de crue (en m³/s) ;
- K : Coefficient de rugosité qui dépend de la surface considérée (K = 67 pour les surfaces en Béton Armé)
- S_m : Section mouillée (en m²) ;
- R_h : Rayon hydraulique = $\frac{S_m}{P_m}$ (en m)
- I : Pente (en m/m).

Ahs,,s

Les variables adimensionnelles étant :

$$H_1^* = \frac{H_1}{D}$$

$$Q^* = \frac{Q}{A\sqrt{2gD}} = \frac{Q}{BD\sqrt{2gD}}$$

Nous avons aussi les relations de la forme :

$$H_1^* = F(Q^*) \text{ si } H_1^* \leq 1,25$$

$$H_1^* = G(Q^*) \text{ si } H_1^* > 1,25$$

Les calculs d'un dalot se font à deux niveaux différents d'approximations successives. Connaissant Q on se donne une première valeur de la Hauteur D admissible pour le dalot, compte tenu des caractéristiques géométriques du projet au droit de l'ouvrage. On se fixe alors une largeur D tel que la vitesse moyenne $V = Q/D$ ne dépasse pas 3 m/s.

Les valeurs B, D et Q étant connues on calcul $Q^* = Q/A\sqrt{2gD}$

L'abaque de la figure suivante donne la valeur de H_1^* en fonction de Q^* dont on vérifiera la compatibilité avec le projet.

On recommencera le cas échéant en faisant varier la valeur de la largeur B.

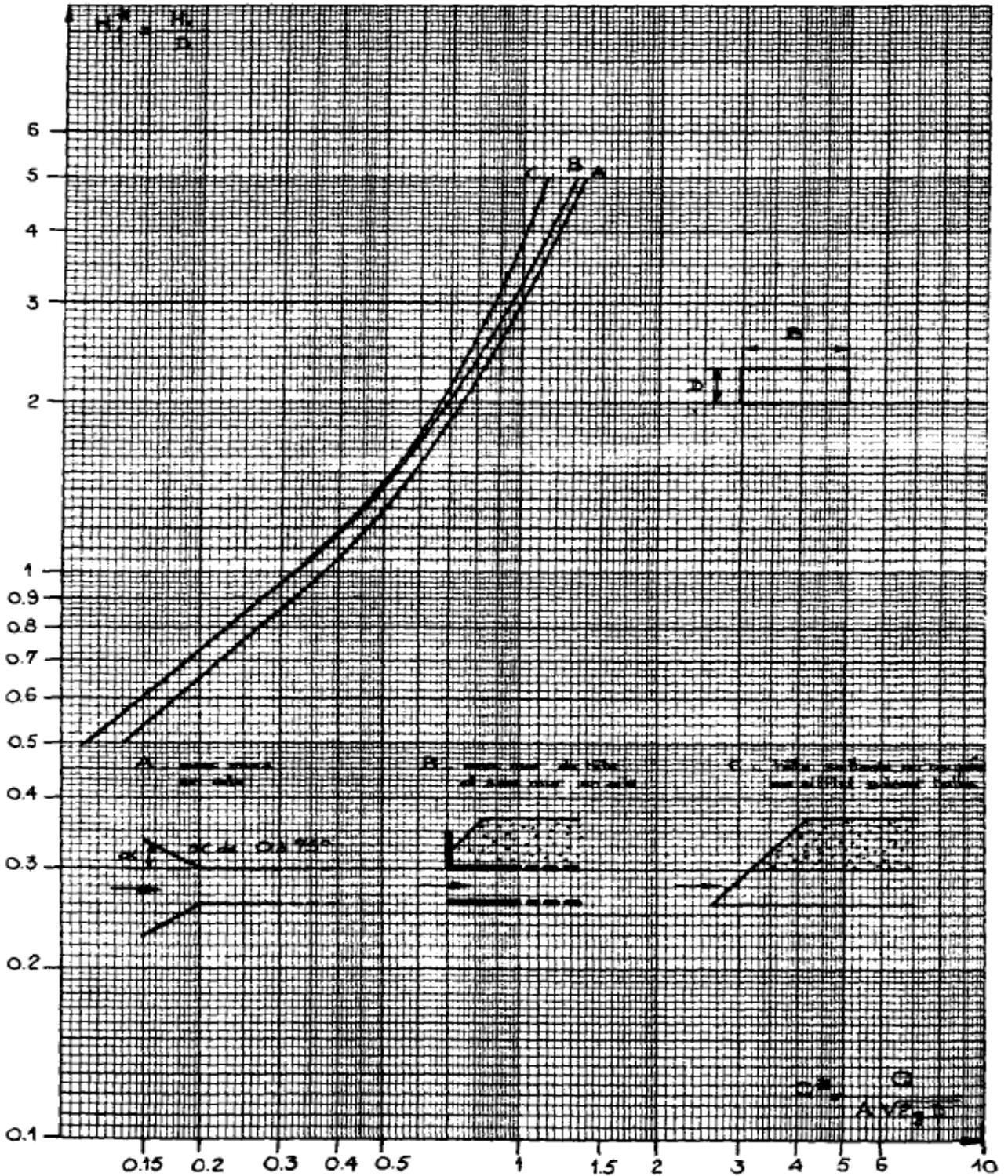


Figure 15: Abaque de détermination de $H^*=F(Q^*)$ (BCEOM)

Pente longitudinale des dalots

Les calculs précédents supposent que les ouvrages sont capables d'évacuer le débit critique correspondant à la profondeur d'eau H_1 amont.

Pour cela, il faut que la pente longitudinale des ouvrages soit au moins égale à la pente critique. L'écoulement de l'eau à travers l'ouvrage se fait ainsi en régime torrentiel. On est ainsi assuré qu'il ne se forme, après la section critique à l'entrée, un ressaut hydraulique empêchant l'évacuation normale des eaux. D'autre part, la vitesse d'écoulement d'eau dans l'ouvrage sera largement suffisante. En règle générale pour empêcher le dépôt des particules solides

Pente critique pour un dalot

Dans un dalot nous avons :

$$S = By$$

$$P = B + 2y$$

$$R_H = \frac{By}{B + 2y}$$

En posant $X = y/B$ nous obtiendrons

$$\frac{I_c}{g/K^2 B^{1/3}} = I_c^* = x \left(2 + \frac{1}{x} \right)^{4/3}$$

$$\frac{Q}{\sqrt{gB^5}} = Q^* = x^{3/2}$$

Connaissant le débit Q et la largeur B on calcule donc

$$Q^* = \frac{Q}{\sqrt{gB^5}}$$

Après itération pour avoir la valeur de x pour laquelle $\frac{Q}{\sqrt{gB^5}} - x^{3/2} = 0$

On calcule $I_c^* = x \left(2 + \frac{1}{x}\right)^{4/3}$

Pour ensuite avoir $I_c = \frac{I_c^* \times g}{K^2 B^{1/3}}$

Alors on fait le choix de notre pente longitudinale de sorte que $I \geq I_c$

Calcul de la vitesse

La pente de l'ouvrage étant fixée en fonction de la pente critique précédemment calculé, de la topographie au point de franchissement de la géométrie du projet en ce point, il convient de calculer la vitesse moyenne d'écoulement de l'eau dans l'ouvrage afin de vérifier

- D'une part si la vitesse calculée ne dépasse pas la vitesse maximale admissible (3 m/s)
- D'autre part si elle reste suffisante pour éviter les dépôts de particules solides dans l'ouvrage

Les vitesses minimales à respecter selon le diamètre des matériaux solides susceptibles de se déposer dans l'ouvrage sont les suivantes :

Sables fins (< 0.05 mm) : 0.4 à 0.5 m/s

Graviers fins (< 5 mm) : 0.5 à 0.7 m/s

Gros graviers (5 mm à 15 mm) : 0.7 à 0.9 m/s

Cailloux (15 mm à 30 mm) : 1.00 à 1.20 m/s

Gros cailloux (30 mm à 100 mm) : 1.50 à 1.80 m/s

Vitesse dans un dalot à sortie libre

Ici les variables adimensionnelles ont les expressions suivantes :

En posant $X = y/B$ on a aussi

$$Q^* = \frac{Q}{KI^{1/2}B^{8/3}} = \frac{x^{5/3}}{(1+2x)^{2/3}}$$

$$V^* = \frac{V}{KI^{1/2}B^{8/3}} = \frac{x^{2/3}}{(1+2x)^{2/3}}$$

Nous calculons en premier lieu

$$Q^* = \frac{Q}{KI^{1/2}B^{8/3}}$$

Ensuite après itération on trouve la valeur de x pour laquelle $\frac{Q}{KI^{1/2}B^{8/3}} - \frac{x^{5/3}}{(1+2x)^{2/3}} = 0$

On calcule :

$$V^* = \frac{x^{2/3}}{(1+2x)^{2/3}}$$

Et on finit par obtenir la vitesse à travers :

$$V = KI^{1/2}B^{8/3}V^*$$

On vérifie à la fin si $V \leq V_{max} = 3 \text{ m/s}$

Exemple de Dimensionnement

Prenons comme exemple le BV9

$$Q = 5.85 \text{ m}^3/\text{s}$$

Prenons B= 1.5 m et D= 1.5 m

Calculons la valeur adimensionnelle Q^*

$$Q^* = \frac{Q}{A\sqrt{2gD}} = \frac{Q}{BD\sqrt{2gD}}$$

$$Q^* = \frac{5.85}{1.5 \times 1.5\sqrt{2} \times 9.81 \times 1.5}$$

$$Q^* = 0.479$$

On obtient sur l'abaque $H_1^* = F(Q^*)$

$$H_1^* = 0.61$$

On calcule la Hauteur minimale H_1

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

$$H_1 = 0.61 \times 1.5$$

$H_1 = 0.915 \text{ m}$ qui est inférieure à la hauteur $D = 1.50 \text{ m}$

Calcul de la pente critique

$$\frac{I_c}{g/K^2 B^{1/3}} = I_c^* = x \left(2 + \frac{1}{x}\right)^{4/3}$$

$$\frac{Q}{\sqrt{gB^5}} = Q^* = x^{3/2}$$

Connaissant le débit Q et la largeur B on calcule

$$Q^* = \frac{Q}{\sqrt{gB^5}}$$

$$Q^* = \frac{5.85}{\sqrt{9.81 \times 1.5^5}}$$

$$Q^* = 0.678$$

Après itération on obtient $x = 0.330$ pour laquelle $\frac{Q}{\sqrt{gB^5}} - x^{3/2} = 0$

On calcule $I_c^* = 0.330 \left(2 + \frac{1}{0.330}\right)^{4/3}$

$$I_c^* = 2.84$$

On a notre pente critique $I_c = \frac{2.84 \times 9.81}{672 \times 1.5^{1/3}}$

$$I_c = 0.005 \text{ m/m}$$

On choisit donc comme pente longitudinale **$I = 0.006 \text{ m/m}$**

Vitesse dans un dalot à sortie libre

Nous calculons en premier lieu

$$Q^* = \frac{Q}{KI^{1/2}B^{8/3}}$$

$$Q^* = \frac{5.85}{67 \times 0.006^{1/2} \times 1.5^{8/3}}$$

$$Q^* = 0.382$$

Après itération on trouve comme valeur $x = 0.299$ pour laquelle $\frac{Q}{KI^{1/2}B^{8/3}} - \frac{x^{5/3}}{(1+2x)^{2/3}} = 0$

On

calcule :

$$V^* = \frac{0.299^{2/3}}{(1 + 2 \times 0.299)^{2/3}}$$

$$V^* = 0.327$$

Et on finit par obtenir la vitesse à travers :

$$V = 67 \times 0.006^{1/2} \times 1.5^{8/3} \times 0.327$$

$$V = 2.22 \text{ m/s}$$

On vérifie et on se rend compte que $V < V_{max} = 3 \text{ m/s}$

Conclusion : La section 1,5 m x 1,5 m est acceptable pour le dalot du BV9

Dans le tableau suivant se trouve les résultats de calcul de sections.

PK	Pente projet (m/m)	H (m)	L (m)	Nc	Lret (m)	Section retenue	Section existante	Vérification	Observation
1+210	0.01	1.5	2	1	2	200x150	80x60	Non	Remplacer par un Dalot

ETUDES TECHNIQUES EN VUE E LA REHABILITATION DE LA ROUTE NATIONALE
YAMOISSOUKRO-BOUAFLE-DALOA (COTE D'IVOIRE)

									200x150
2+35 2	0.004	1.5	1.5	1	1.5	150x150	200x14 0	Oui	Curage de l'ouvrage existant
3+71 0	0.007	1.5	2	1	2	200x150	Buse 800	Non	Remplacer par un Dalot 200x150
4+92 0	0.006	1.5	1.8	1	1.8	180x150	-	Non	Construction d'un Dalot 180x150
6+42 0	0.004	1.5	1.5	1	1.5	150x150	Buse 800	Non	Remplacer par un Dalot 150x150
7+04 0	0.006	1.5	1.8	1	1.8	180x150	Buse 800	Non	Remplacer par un Dalot 180x150
8+38 5	0.005	1.5	1.8	1	1.8	180x150	150x14 0	Non	Ajouter une section complémentaire 150x40
8+80 0	0.004	1.5	1.5	1	1.5	150x150	Buse 1000x2	Oui	Curages des buses 1000

ANNEXE 4 : DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL DE DALOT

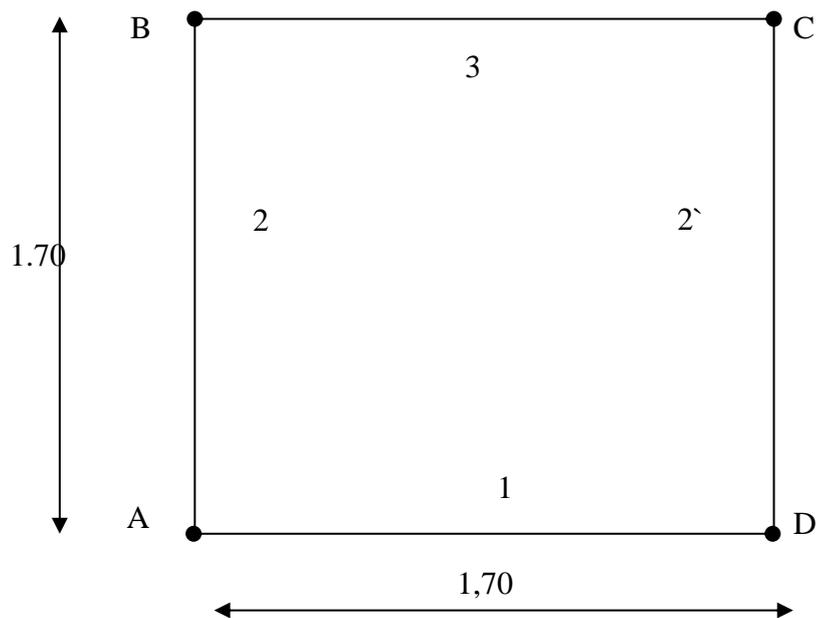
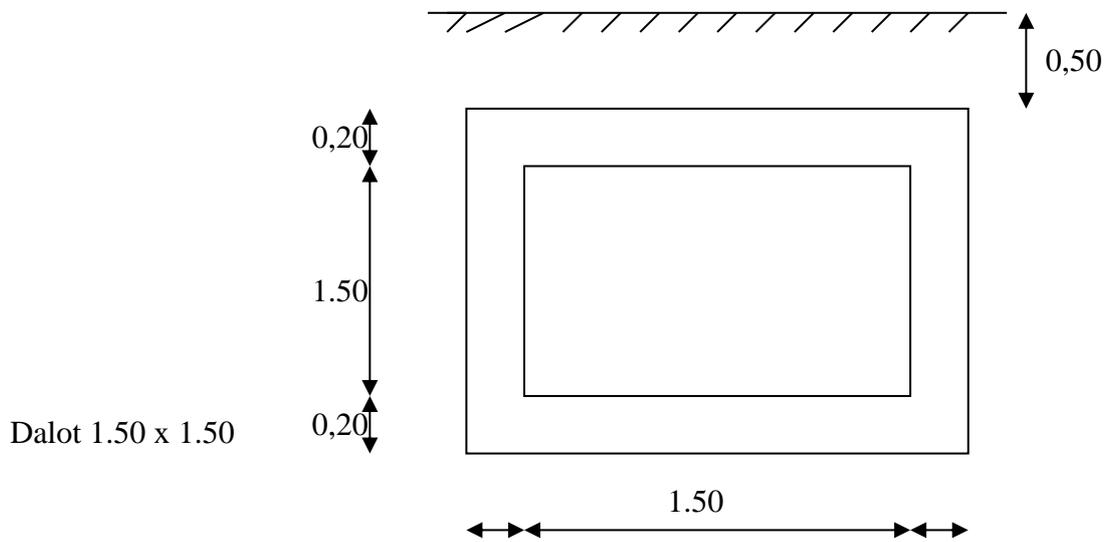


Schéma statique

$$L = 1,50 + 2 \times \frac{0,20}{2} = 1,70$$

$$h = 1,50 + 2 \times \frac{0,20}{2} = 1,70$$

I. CALCUL DES SOLLICITATIONS

1. Calcul des constantes

$$J_1 = J_2 = J_3 = \frac{BH^3}{12} = \frac{1,50 \times 0,20^3}{12} = 0,001m^4$$

$$k_1 = \frac{J_3}{J_1} = 1,00 \quad k_2 = \frac{J_3}{J_2} \times \frac{h}{L} = 1 \times \frac{1,70}{1,70} = 1,00$$

$$K_1 = 2 k_2 + 3 = 5 \quad K_2 = 3 k_1 + 2 k_2 = 5$$

$$K_3 = 3 k_2 + 1 \frac{k_1}{5} = 3,8$$

$$K_4 = \frac{6 k_1}{5} + 3 k_2 = \frac{6}{5} + 3 \times 1 = 4,20$$

$$F_1 = K_1 K_2 - k_2 = 5^2 - 1^2 = 24$$

$$F_2 = 1 + k_1 + 6 k_2 = 1 + 1 + 6 \times 1 = 8$$

2. Déterminations des charges et des efforts

 Tablier :

Poids mort : $0,20 \times 1,50 \times 2,50 = 0,75$ t/ml

Remblai : $0,50 \times 1,5 \times 2,00 = 1,50$ t/ml

Poids total = 2,25 t/ml

✚ *Moment sur les appuis : détermination des inconnues hyperstatiques*

$$M_A = - \frac{PL^2}{4 F_1} (k_1 \times K_1 - k_2) = - \frac{2,25 (1,70)^2}{4 \times 24} (1 \times 5 - 1) = - 0,27 \text{ t.m}$$

$M_D = M_A = - 0,27 \text{ t.m}$ $M_B = M_C = M_A = M_D = - 0,27 \text{ t.m}$

✚ *Détermination des Moments à mi portée*

$$M_{BC} (\text{Tablier}) = \frac{PL^2}{8} - \frac{PL^2}{4 F_1} (k_1 \times K_1 - k_2) = \frac{2,25 (1,70)^2}{8} - 0,27 = 0,542 \text{ t.m}$$

$M_{AD} (\text{Radier}) = M_{BC} = 0,542 \text{ t.m}$

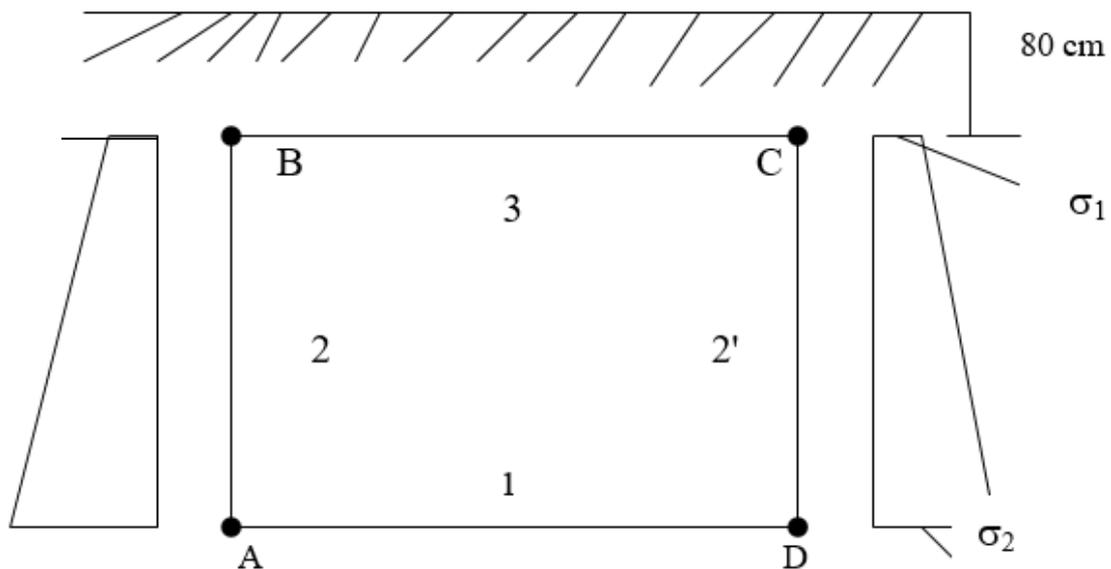
$M_{AB} (\text{Pied droit}) = M_A = -0,27 \text{ t.m}$

✚ *Détermination des efforts normaux*

$$N_1 = N_3 = \frac{M_B - M_A}{h} = 0 \quad N_2 = N'_2 = \frac{PL}{2} = \frac{2,25 \times 1,70}{2} = 1,91 \text{ t}$$

$N_1 = N_3 = 0$ et $N_2 = N'_2 = 1,91 \text{ t}$

✚ *Poussée des terres*



$$\sigma_1 = 0,333 \times 2 \times 0,5 = 0,333 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_2 = 0,333 \times 2 \times 2,2 = 1,465 \text{ t/m}^2$$

$$\Delta\sigma = 1,465 - 0,333 = 1,13 \text{ t/m}^2$$

✚ Moment sur les appuis : détermination des inconnues hyperstatiques

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

$$= - \frac{1 (1 + 3)}{4 \times 24} \times 0,333 \times (1,70)^2 - \frac{1 (3 \times 1 + 8)}{20 \times 24} \times 1,13 \times (1,70)^2$$

$$M_A = - 0,115 \text{ t m}$$

$$M_D = M_A = - 0,115 \text{ t.m}$$

$$M_B = - \frac{k_2 (3k_1 + k_2)}{4 F_1} \sigma_1 h^2 - \frac{k_2 (7 k_1 + 8 + 2 k_2)}{20 F_1} x \Delta \sigma h^2$$

$$= - \frac{1(3 \times 1 + 1)}{4 \times 24} \times 0.333 \times (1.70)^2 - \frac{1(7 \times 1 + 8 + 2 \times 1)}{20 \times 24} \times 1.13 \times (1.70)^2$$

$$M_B = - 0.101 \text{ t.m}$$

$$M_C = M_B = - 0,101 \text{ t.m}$$

 *Détermination des Moments à mi portée*

$$M_{AB} (\text{Pied droit}) = \frac{1}{8} \sigma_1 h^2 x \frac{\Delta \sigma h^2}{9\sqrt{3}} + \frac{M_A + M_B}{2}$$

$$= 0.333 \times \frac{1}{8} (1.70)^2 + \frac{1,13 \times (1,70)^2}{9\sqrt{3}} + \frac{-0,115 - 0,101}{2} = 0,56 \text{ t.m}$$

$$M_{AB} (\text{Pied droit}) = 0,560 \text{ t.m}$$

$$M_{AD} (\text{Radier}) = M_A = - 0, 115 \text{ t.m}$$

$$M_{BC} (\text{Tablier}) = M_c = - 0,101 \text{ t.m}$$

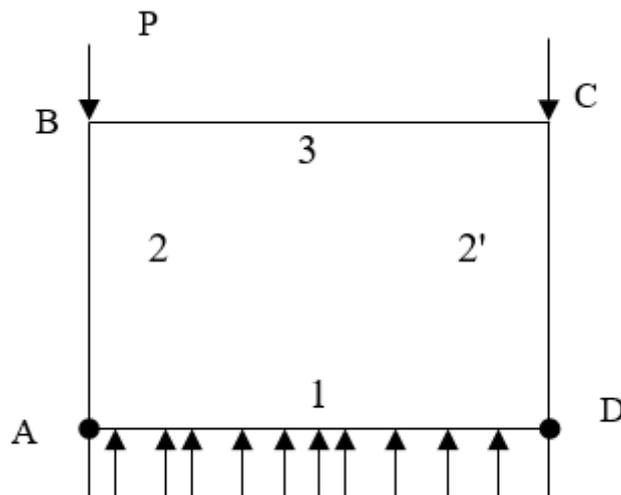
 *Détermination des efforts normaux*

$$N_1 = \frac{(\sigma_1 + 2 \times \sigma_2) \times h}{6} + \frac{M_B - M_A}{h} = \frac{3.245 \times 1.7}{6} + \frac{-0,101 + 0,115}{1.7} = 0,927 \text{ t.m}$$

$$N_3 = \frac{(2 \times \sigma_1 + \sigma_2) \times h}{6} + \frac{M_A - M_B}{h} = \frac{2.122 \times 1.7}{6} + \frac{-0.115 + 0.101}{1.70} = 0,593 \text{ t.m}$$

$$N_2 = N'_2 = 0$$

🚧 Poids mort pied droit



$$P = 2,5 \times (E1 \times h) = 2,5 \times (0,2 \times 1,7)$$

$$P = 0,85 \text{ t/ml}$$

$$\sigma = \frac{2 \times 0,85}{1,70} = 1 \text{ t/m}^2$$

🚧 Moment sur les appuis : détermination des inconnues hyperstatiques

$$M_A = \frac{-P L k_1 K_1}{2 F_1} = \frac{-0,85 \times 1,70 \times 1 \times 5}{2 \times 24} = -0,150 \text{ t.m}$$

$$M_D = M_A = -0,150 \text{ t.m}$$

$$M_B = \frac{PL k_1 k_2}{2 F_1} = \frac{0.85 \times 1.70 \times 1 \times 1}{2 \times 24} = 0.03 \text{ t.m}$$

$M_C = M_B = 0,03 \text{ t.m}$

 *Détermination des Moments à mi portée*

$$M_{AB} (\text{ Pied droit }) = - \frac{(M_A + M_B)}{2} = \frac{-0.03 + 0.150}{2} = +0,06 \text{ t.m}$$

$$M_{AD} (\text{ Radier }) = \frac{\sigma L^2}{8} + M_A = \frac{1 \times (1,70)^2}{8} - 0,150 = 0,211 \text{ t.m}$$

$M_{BC} (\text{ Tablier }) = M_B = 0,03 \text{ t.m}$

 *Détermination des efforts normaux*

$$N_1 = \frac{3PL k_1 (1 + k_2)}{2 h F_1} = \frac{3 \times 0.85 \times 1.70 \times (1+1)}{2 \times 1.70 \times 24} = 0.106 \text{ t}$$

$N_3 = - N_1 = - 0,106 \text{ t}$

$N_2 = - N'_2 = P = 0,85 \text{ t}$

 *Surcharges routières*

➤ Charges de type B_c

On considère la charge BC

On considère 2 essieux arrières de 13 t chacun soit $Q = 26$ t réparties sur (1.70×5) m² de surface.

Coefficient bc = 1.1

$$q = \frac{26 \times 1.1}{1,70 \times 5,00} = 3.36 \text{ t/m}^2$$

Coefficient de majoration dynamique

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

$$L = (l_r ; 1) = \max(7.4 ; 1.7) = 7,4\text{m}$$

$$G = 1 \times P_{\text{tab}} = 1,7 \times 2,25 \times 7,4 = 28,305 \text{ t}$$

$$S = n \times q_r \times \text{CBC} = 8 \times 60 \times 1.1 = 52,8 \text{ t}$$

$$\delta = 1 + \frac{0,40}{1 + 0,2 \times 7,4} + \frac{0,6}{1 + 4 \times \frac{28,30}{52,8}} = 1.46$$

$$D'où Q (\delta) = 3.47 \times 1,46 \times 1,1 = 5,57 \text{ t/m}^2$$

 *Moment sur les appuis : détermination des inconnues hyperstatiques*

$$M_A = - \frac{Q(\delta)L^2}{4F_1} (k_1 \times K_1 - k_2)$$

$$M_A = - \frac{5,57 \times 1.7^2}{4 \times 24} (1 \times 5 - 1)$$

$$M_A = -0.670 \text{ t.m}$$

$$M_A = M_B = M_C = M_D = - 0.670 \text{ t.m}$$

✚ Détermination des Moments à mi portée

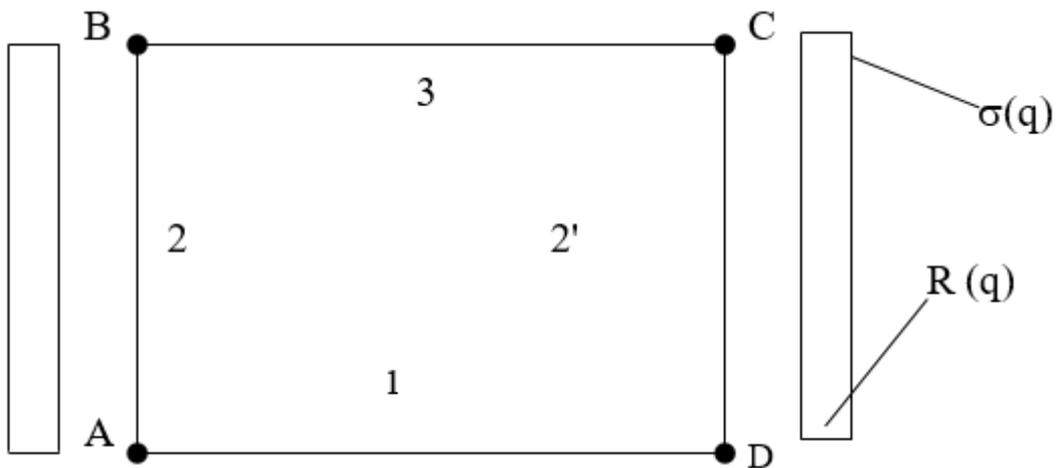
$$M_{BC} = \frac{1}{8} \times Q(\delta) L^2 + M_B = \frac{1}{8} \times 5.57 \times (1.70)^2 + (-0.670) = 1.34 \text{ t.m}$$

$$M_{AD} = M_{BC} = 1.34 \text{ t.m}$$

✚ Détermination des efforts normaux

$$N_1 = N_3 = 0 \quad N_2 = N_2' = \frac{Q(\delta)}{2} = \frac{5.57 \times 1.70}{2} = 4.73 \text{ t}$$

✚ Surcharges routières sur remblai



$$\sigma(q) = 0.333 \times 1 = 0.333 \text{ t/m}^2$$

$$R(q) = \sigma(q) \times h = 0.333 \times 1.70 = 0.56 \text{ t/m}^2$$

✚ Moment sur les appuis : détermination des inconnues hyperstatiques

$$M_A = - \frac{\sigma_1 h^2 [k_2 (k_2 + 3)] \sigma(q)}{4 F_1 \sigma_1}$$

$$= - \frac{0,333 \times (1.70)^2 [1 (1 + 3)] \times 0,333}{4 \times 24 \times 0.333} = - 0,040 \text{ t.m}$$

$$\mathbf{M_D = M_B = M_C = M_A = - 0,040 \text{ t.m}}$$

 *Détermination des Moments à mi portée*

$$M_{AB} = \frac{1}{8} \sigma (q) h^2 + M_A = \frac{1}{8} \times 0,333 \times (1.70)^2 - 0,040 = 0,080 \text{ t.m}$$

$$\mathbf{M_{DC} = M_{AB} = 0,080 \text{ t.m}}$$

$$\mathbf{M_{BC} = M_{AD} = M_A = - 0,040 \text{ t.m}}$$

 *Détermination des efforts normaux*

$$N_1 = N_3 = \frac{\sigma (q) h}{2} + \frac{M_B - M_C}{h} = \frac{0,333 \times 1.70}{2} + 0 = 0,28 \text{ t.m}$$

$$\mathbf{N_2 = N'_2 = 0}$$

 *Effort de freinage*

On considère 2 essieux porteurs de 13 t soit 26 t

$$F = \frac{26}{6} = 4,33 \text{ t}$$

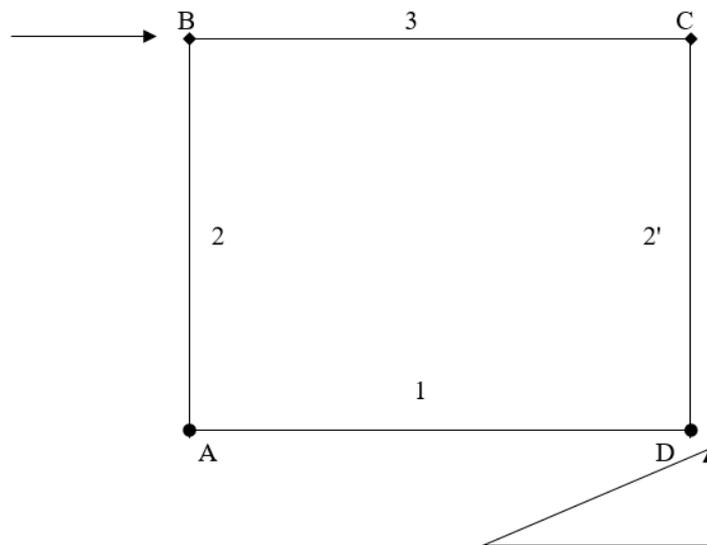
Coefficient de majoration dynamique

$$\delta = 1 + \frac{0,40}{1+0,2L} + \frac{0,6}{1 + \frac{4G}{S}}$$

$L = 1,70\text{m} \quad G = 13,68 \text{ t} \quad S = 26 \text{ t}$

$$\delta = 1 + \frac{0,40}{1+0,2 \times 1,70} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 13,68}{26}} = 1,52$$

$F = 4,33 \times 1,52 = 6,12 \text{ t}$



Détermination des Moments à mi portée

$$M_A = - \frac{F h}{2 F_2} \times K_3 = - \frac{6,12 \times 1,70}{2 \times 8} \times 3,8 = - 2,47 \text{ t.m}$$

$M_D = M_A = - 2,47 \text{ t.m}$

$$M_B = \frac{Fh}{2 F_2} \times K_4 = \frac{6.12 \times 1.70}{2 \times 8} \times 4.2 = 2.73 \text{ t.m}$$

$$M_C = - M_B = - 2.73 \text{ t.m}$$

 *Détermination des Moments à mi portée*

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

$$M_{AB} = \frac{M_A + M_B}{2} = \frac{-2.47 + 2.73}{2} = 0,13 \text{ t.m}$$

 *Détermination des efforts normaux*

$$N_1 = \pm \frac{F}{2} = \pm \frac{6.12}{2} = \pm 3,06 \text{ t} \quad N_3 = 3,06 \text{ t}$$

$$N_2 = - \frac{F h \times K_4}{L \times F_2} = - \frac{6.12 \times 1.70 \times 4.2}{1.70 \times 8} = - 3.21 \text{ t}$$

$$N'_2 = - N_2 = 3.21 \text{ t}$$

Le tableau suivant donne le récapitulatif de nos calculs

		Moments en (t.ml)							Efforts en tonne			
		MA	M(A-B)	MB	M(B-C)	MC	M(A-D)	MD	N1	N2	N'2	N3
Tablier	1	-0,27	-0,27	-0,27	0,542	-0,27	0,542	-0,27	0	1,91	1,91	0
Piedroits	2	-0,15	0,06	0,03	0,03	0,03	0,211	-0,15	0,106	0,85	-0,85	-0,106
Poussée des terres	3	-0,115	0,221	-0,101	-0,101	-0,101	-0,115	-0,115	0,927	0	0	0,593
Charge B	4	-0,67	-0,67	-0,67	1,34	-0,67	1,34	-0,67	0	4,73	4,73	0
Surcharge sur remblais	5	-0,04	0,08	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	0,028	0	0	0,028
Freinage	6	-2,47	0,13	-2,73	0	-2,73	0	-2,47	3,06	3,21	3,21	3,06
G	1+2+3	-0,535	0,011	-0,341	0,471	-0,341	0,638	-0,535	1,033	2,76	1,06	0,487
Q	4+5+6	-3,18	-0,46	-3,44	1,3	-3,44	1,3	-3,18	3,088	7,94	7,94	3,088

II. DETERMINATION DES ARMATURES

✚ Tablier

Caractéristiques de la section

$$b = 1,00 \text{ m} \quad h = 0,20 \text{ m} \quad d = 0,9h = 0,18 \text{ m} \quad d' = 0,1h = 0,02 \text{ m}$$

$$F_{c28} = 25 \text{ MPa} \quad F_e = 400 \text{ MPa}$$

$$F_{su} = 348 \text{ MPa} \quad F_{bu} = 14,17 \text{ MPa}$$

✚ Armatures à mi- travée BC (lit inférieur)

- A l'état limite ultime (ELU)

$$M_u = 1,35 \times G + 1,6 \times Q$$

$$M_u = 1,35 \times (0,471) + 1,6 \times (1,3) = 2,72 \text{ t.m}$$

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times F_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{2,72 \times 10^{-2}}{1 \times 0,18^2 \times 14,17}$$

$$\mu_u = 0,059$$

$\mu_u < 0,186$ Donc pivot A pas d'aciers comprimés

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,059}) = 0,07$$

$$z_u = d(1 - 0,4\alpha_u) = 0,18(1 - 0,4 \times 0,07) = 0,174 \text{ m}$$

$$A_{st} = \frac{M_u}{z_u \times \sigma_s} = \frac{2,72 \times 10^{-2}}{0,174 \times 347,83} = 4,49 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{stmin} = 0,23 \times b_0 \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0,23 \times 1,9 \times 0,18 \times \frac{2,1}{400} = 4,12 \text{ cm}^2$$

$A_{st} > A_{stmin}$ Donc la section d'acier retenue est $A_{st} = 4,49 \text{ cm}^2$

- **A l'état limite de service (ELS)**

$$M_{ser} = G + 1,2S = 0,471 + 1,2 \times 1,3 = 2,03 \text{ t.m}$$

$$\overline{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \overline{\sigma}_{bc}}{n \times \overline{\sigma}_{bc} + \sigma_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63} = 0,527$$

$$y_{ser} = \overline{\alpha}_{ser} \times d = 0,527 \times 0,18 = 0,095 \text{ m}$$

$$z_{ser} = d - \frac{y_{ser}}{3} = 0,18 - \frac{0,095}{3} = 0,148 \text{ m}$$

$$M_{serb} = \frac{bd^2}{2} \times \overline{\sigma}_{bc} \times \overline{\alpha}_{ser} \left(1 - \frac{\overline{\alpha}_{ser}}{3}\right) = \frac{1 \times 0,18^2}{2} \times 15 \times 0,527 \left(1 - \frac{0,527}{3}\right)$$

$$M_{serb} = 10,55 \text{ t.m}$$

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

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{z_{ser} \times \sigma_s} = \frac{2,03 \times 10^{-2}}{0,148 \times 201,63} = 6,7 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{stmin} = 0,23 \times b_0 \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0,23 \times 1 \times 0,18 \times \frac{2,1}{400} = 2,17 \text{ cm}^2$$

$A_{st} > A_{stmin}$ Donc la section d'acier retenue est $A_{st} = 6,7 \text{ cm}^2$

$$A_{st} = \max(A_{st} \text{ à l'ELU}; A_{st} \text{ à l'ELS}) = 6,7 \text{ cm}^2$$

✚ Armatures aux abouts B et C (lit supérieur)

$$M_u = 1,35 \times G + 1,6 \times Q$$

$$M_u = 1,35 \times (0,341) + 1,6 \times (3,44) = -5,96 \text{ t.m}$$

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times F_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{5,96 \times 10^{-2}}{1 \times 0,18^2 \times 14,17}$$

$$\mu_u = 0,129$$

$\mu_u < 0,186$ Donc pivot A pas d'aciers comprimés

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,129}) = 0,068$$

$$z_u = d(1 - 0,4\alpha_u) = 0,18(1 - 0,4 \times 0,068) = 0,175 \text{ m}$$

$$A_{st} = \frac{M_u}{z_u \times \sigma_s} = \frac{5,96 \times 10^{-2}}{0,175 \times 347,83} = 4,79 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{stmin} = 0,23 \times b_0 \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0,23 \times 1,1 \times 0,18 \times \frac{2,1}{400} = 2,39 \text{ cm}^2$$

$A_{st} > A_{stmin}$ Donc la section d'acier retenue est $A_{st} = 4,79 \text{ cm}^2$

- **A l'état limite de service (ELS)**

$$M_{ser} = G + 1,2S = 0,341 + 1,2 \times 3,44 = 4,46 \text{ t.m}$$

$$\overline{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \overline{\sigma}_{bc}}{n \times \overline{\sigma}_{bc} + \sigma_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63} = 0,527$$

$$y_{ser} = \overline{\alpha}_{ser} \times d = 0,527 \times 0,18 = 0,095 \text{ m}$$

$$z_{ser} = d - \frac{y_{ser}}{3} = 0,18 - \frac{0,095}{3} = 0,148 \text{ m}$$

$$M_{serb} = \frac{bd^2}{2} \times \overline{\sigma}_{bc} \times \overline{\alpha}_{ser} \left(1 - \frac{\overline{\alpha}_{ser}}{3}\right) = \frac{1,1 \times 0,18^2}{2} \times 15 \times 0,527 \left(1 - \frac{0,527}{3}\right)$$

$$M_{serb} = 11,61 \text{ t.m}$$

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

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{z_{ser} \times \sigma_s} = \frac{4,46 \times 10^{-2}}{0,148 \times 201,63} = 6,9 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{stmin} = 0,23 \times b_0 \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0,23 \times 1,1 \times 0,18 \times \frac{2,1}{400} = 2,39 \text{ cm}^2$$

$A_{st} > A_{stmin}$ Donc la section d'acier retenue est $A_{st} = 6,9 \text{ cm}^2$

$$A_{st} = \max(A_{st} \text{ à l'ELU}; A_{st} \text{ à l'ELS}) = 6,9 \text{ cm}^2$$

 **Radier**

$b = 1,00 \text{ m}$; $h = 0,20 \text{ m}$; $d = 0,9h = 0,18 \text{ m}$; $d' = 0,1h = 0,02 \text{ m}$;

$$Fb=14.17 \text{ MPa} ; Fsu=348 \text{ MPa}$$

✚ Lit inférieur

- **A l'état limite ultime (ELU)**

$$M_u = 1,35 \times G + 1,6 \times Q$$

$$M_u = 1,35 \times (0.638) + 1,6 \times (1.3) = 2,94 \text{ t.m}$$

$$\mu_u = \frac{2,94 \times 10^{-2}}{b \times d^2 \times F_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{2,94 \times 10^{-2}}{1 \times 0,18^2 \times 14,17}$$

$$\mu_u = 0,064$$

$\mu_u < 0,186$ Donc pivot A pas d'aciers comprimés

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,064}) = 0,083$$

$$z_u = d(1 - 0,4\alpha_u) = 0,18(1 - 0,4 \times 0,083) = 0,174 \text{ m}$$

$$A_{st} = \frac{M_u}{z_u \times \sigma_s} = \frac{2,94 \times 10^{-2}}{0,174 \times 347,83} = 4,85 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{stmin} = 0,23 \times b_0 \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0,23 \times 1 \times 0,18 \times \frac{2,1}{400} = 2,17 \text{ cm}^2$$

$A_{st} > A_{stmin}$ Donc la section d'acier retenue est $A_{st} = 4,85 \text{ cm}^2$

- A l'état limite de service (ELS)

$$M_{ser} = G + 1,2S = 0,638 + 1,2 \times 1,3 = 2,19 \text{ t.m}$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \bar{\sigma}_{bc}}{n \times \bar{\sigma}_{bc} + \sigma_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63} = 0,527$$

$$y_{ser} = \bar{\alpha}_{ser} \times d = 0,527 \times 0,18 = 0,095 \text{ m}$$

$$z_{ser} = d - \frac{y_{ser}}{3} = 0,18 - \frac{0,095}{3} = 0,148 \text{ m}$$

$$M_{serb} = \frac{bd^2}{2} \times \bar{\sigma}_{bc} \times \bar{\alpha}_{ser} \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) = \frac{1,1 \times 0,18^2}{2} \times 15 \times 0,527 \left(1 - \frac{0,527}{3}\right)$$

$$M_{serb} = 11,61 \text{ t.m}$$

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

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{z_{ser} \times \sigma_s} = \frac{2,19 \times 10^{-2}}{0,148 \times 201,63} = 7,34 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{stmin} = 0,23 \times b_0 \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0,23 \times 1 \times 0,18 \times \frac{2,1}{400} = 2,39 \text{ cm}^2$$

$A_{st} > A_{stmin}$ Donc la section d'acier retenue est $A_{st} = 7,34 \text{ cm}^2$

$$A_{st} = \max(A_{st} \text{ à l'ELU}; A_{st} \text{ à l'ELS}) = 7,34 \text{ cm}^2$$

 Lit supérieur

- **A l'état limite ultime (ELU)**

$$M_u = 1,35 \times G + 1,6 \times Q$$

$$M_u = 1,35 \times (0.535) + 1,6 \times (3.18) = 5,81 \text{ t.m}$$

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times F_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{5,81 \times 10^{-2}}{1 \times 0,18^2 \times 14,17}$$

$$\mu_u = 0,064$$

$\mu_u < 0,186$ Donc pivot A pas d'aciers comprimés

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.064}) = 0,083$$

$$z_u = d(1 - 0,4\alpha_u) = 0,18(1 - 0,4 \times 0,083) = 0,174 \text{ m}$$

$$A_{st} = \frac{Mu}{z_u \times \sigma_s} = \frac{2,94 \times 10^{-2}}{0,174 \times 347,83} = 4,85 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{stmin} = 0,23 \times b_0 \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0,23 \times 1 \times 0,18 \times \frac{2,1}{400} = 2,17 \text{ cm}^2$$

$A_{st} > A_{stmin}$ Donc la section d'acier retenue est $A_{st} = 4,85 \text{ cm}^2$

- **A l'état limite de service (ELS)**

$$M_{ser} = G + 1,2S = 0.535 + 1,2 \times 3,18 = 4,35 \text{ t.m}$$

$$\overline{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \overline{\sigma}_{bc}}{n \times \overline{\sigma}_{bc} + \sigma_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63} = 0,527$$

$$y_{ser} = \overline{\alpha}_{ser} \times d = 0,527 \times 0,18 = 0,095 \text{ m}$$

$$z_{ser} = d - \frac{y_{ser}}{3} = 0,18 - \frac{0,095}{3} = 0,148 \text{ m}$$

$$M_{serb} = \frac{bd^2}{2} \times \overline{\sigma}_{bc} \times \overline{\alpha}_{ser} \left(1 - \frac{\overline{\alpha}_{ser}}{3}\right) = \frac{1 \times 0,18^2}{2} \times 15 \times 0,527 \left(1 - \frac{0,527}{3}\right)$$

$$M_{serb} = 10,5 \text{ t.m}$$

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

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{z_{ser} \times \sigma_s} = \frac{4,35 \times 10^{-2}}{0,148 \times 201,63} = 10,35 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{stmin} = 0,23 \times b_0 \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0,23 \times 1,1 \times 0,18 \times \frac{2,1}{400} = 2,39 \text{ cm}^2$$

$A_{st} > A_{stmin}$ Donc la section d'acier retenue est $A_{st} = 10,35 \text{ cm}^2$

$$A_{st} = \mathbf{max}(A_{st} \text{ à l'ELU}; A_{st} \text{ à l'ELS}) = \mathbf{10,35 \text{ cm}^2}$$

Piédroit

Les piédroits seront dimensionnés en flexion composée

$$b = 1,00 \text{ m} \quad H = 0,20 \text{ m} \quad d = 0,18 \text{ m}$$

$$F_{c28} = 25 \text{ MPa} \quad F_e = 400 \text{ MPa} \quad F_{ij} = 2,1 \text{ MPa}$$

$$F_{su} = 348 \text{ MPa} \quad F_{bu} = 14,17 \text{ MPa}$$

- A l'état limite ultime (ELU)

$$M_u = 1,35 \times G + 1,6 \times Q$$

$$M_u = 1,35 \times (0,638) + 1,6 \times (-1,3) = -1,21 \text{ t.m}$$

$$N_u = 1,35 \times 2,76 + 1,6 \times 7,94 = 16,43 \text{ t}$$

$$e_1 = \frac{M_u}{N_u} = \frac{-1,21}{16,43} = 0,07 \text{ m}$$

$$e_1 = d - \frac{h}{2} = 0,08 \text{ m}$$

$$M = M_u + N_u \times e_2 = 1,21 + (16,43 \times 0,08) = 2,52 \text{ t.m}$$

$$\mu_u = \frac{M_u \times 10^{-2}}{b \times d^2 \times F_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{1,21 \times 10^{-2}}{1 \times 0,18^2 \times 14,17}$$

$$\mu_u = 0,064$$

$\mu_u < 0,186$ Donc pivot A pas d'aciers comprimés

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,064}) = 0,083$$

$$z_u = d(1 - 0,4\alpha_u) = 0,18(1 - 0,4 \times 0,083) = 0,174 \text{ m}$$

$$A_{st} = \frac{Mu}{z_u \times \sigma_s} = \frac{1,21 \times 10^{-2}}{0,174 \times 347,83} = 4,85 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{stmin} = 0,23 \times b_0 \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0,23 \times 1 \times 0,18 \times \frac{2,1}{400} = 2,17 \text{ cm}^2$$

$A_{st} > A_{stmin}$ Donc la section d'acier retenue est $A_{st} = 4,85 \text{ cm}^2$

- A l'état limite de service (ELS)

$$M_{ser} = G + 1,2S = 0,638 + 1,2 \times (-1,3) = 0,922 \text{ t.m}$$

$$N_{ser} = 2,76 + 1,2 \times 7,94 = 12,28 \text{ t}$$

$$e_1 = \frac{M_u}{N_u} = \frac{0,922}{12,28} = 0,07 \text{ m}$$

$$e_1 = d - \frac{h}{2} = 0,08 \text{ m}$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \bar{\sigma}_{bc}}{n \times \bar{\sigma}_{bc} + \sigma_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63} = 0,527$$

$$y_{ser} = \bar{\alpha}_{ser} \times d = 0,527 \times 0,18 = 0,095 \text{ m}$$

$$z_{ser} = d - \frac{y_{ser}}{3} = 0,18 - \frac{0,095}{3} = 0,148 \text{ m}$$

$$M_{serb} = \frac{bd^2}{2} \times \bar{\sigma}_{bc} \times \bar{\alpha}_{ser} \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) = \frac{1 \times 0,18^2}{2} \times 15 \times 0,527 \left(1 - \frac{0,527}{3}\right)$$

$$M_{serb} = 10,5 \text{ t.m}$$

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

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{z_{ser} \times \sigma_s} = \frac{0,922 \times 10^{-2}}{0,148 \times 201,63} = 3,08 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

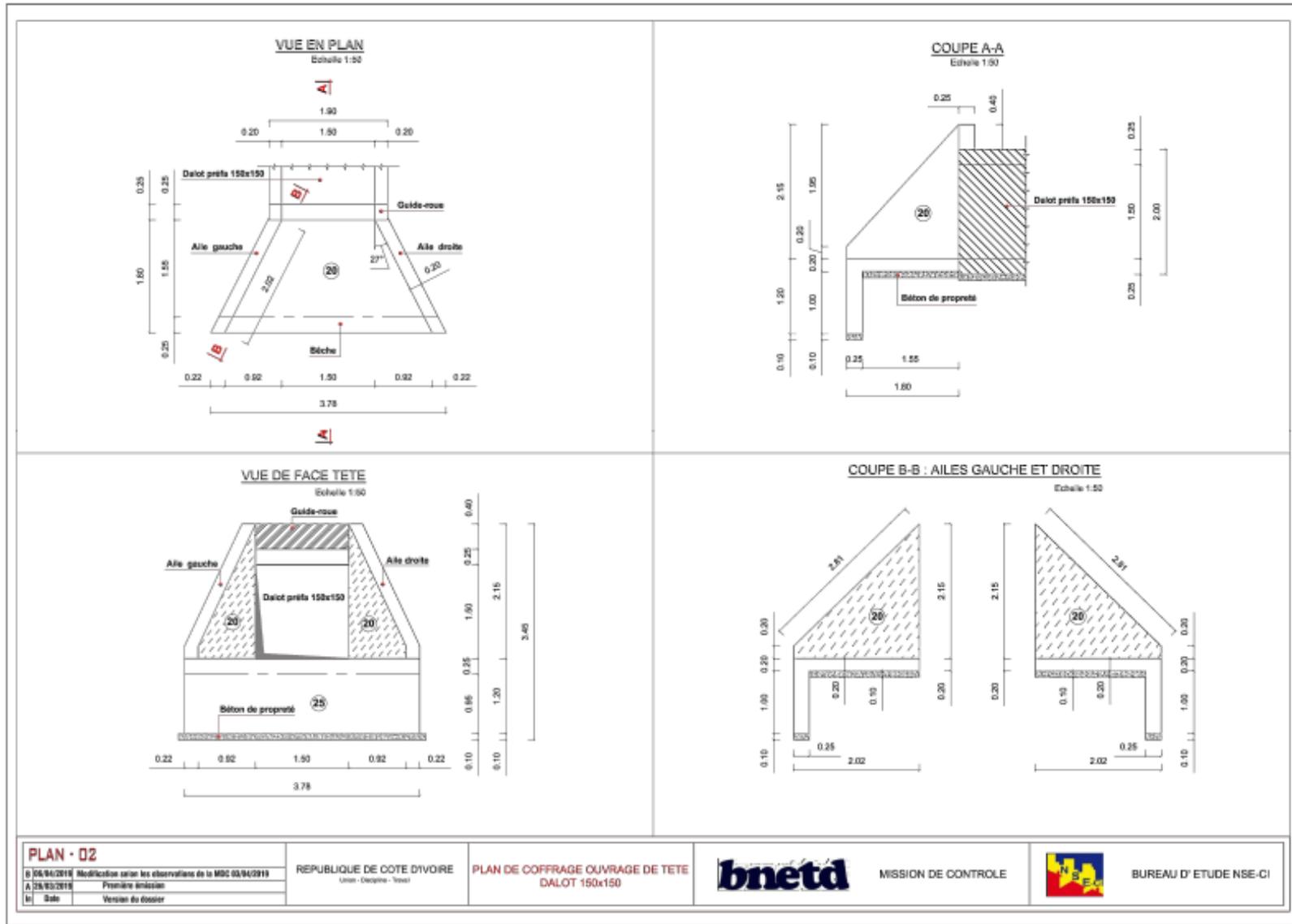
$$A_{stmin} = 0,23 \times b_0 \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0,23 \times 1,1 \times 0,18 \times \frac{2,1}{400} = 2,39 \text{ cm}^2$$

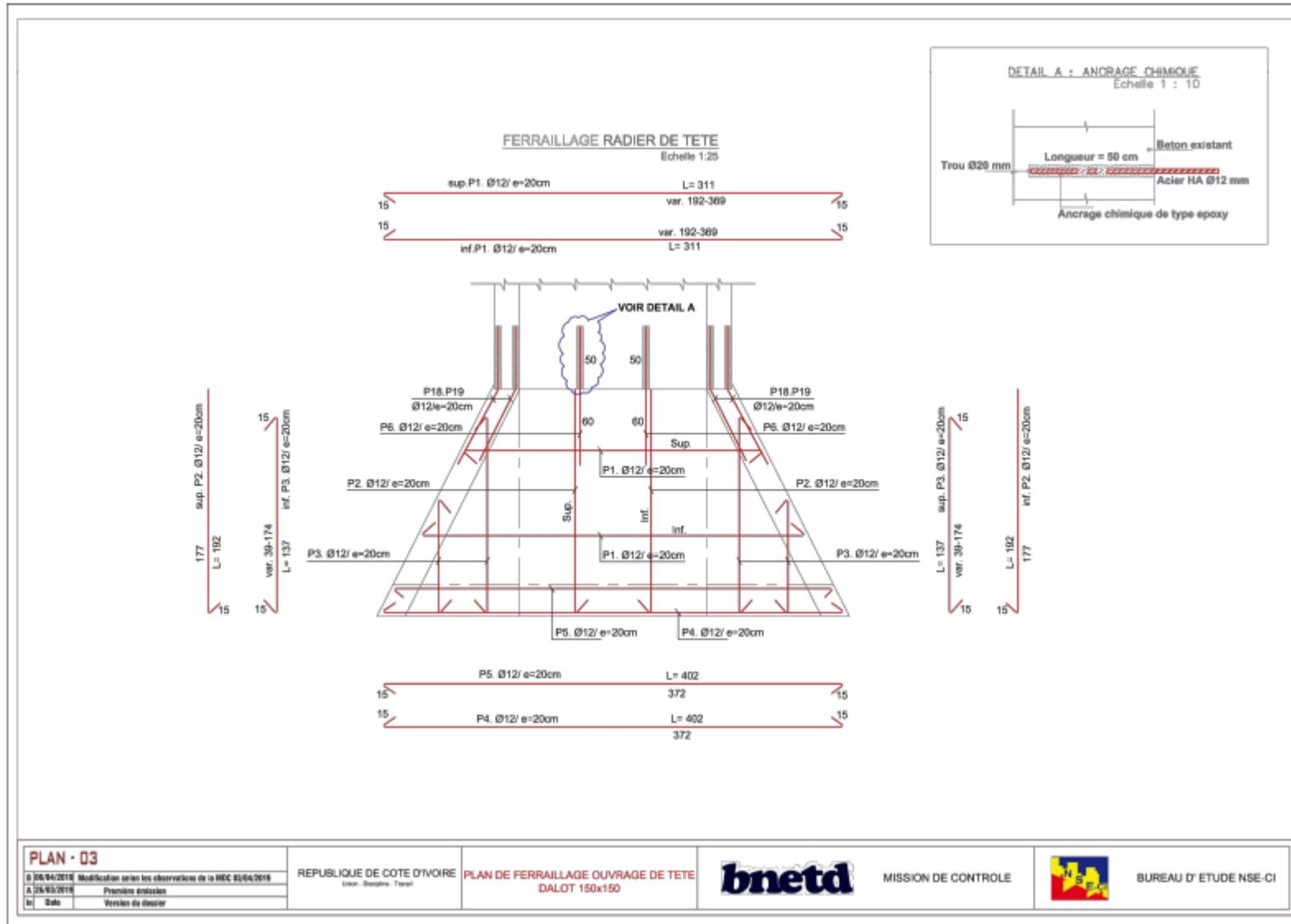
$A_{st} > A_{stmin}$ Donc la section d'acier retenue est $A_{st} = 3,08 \text{ cm}^2$

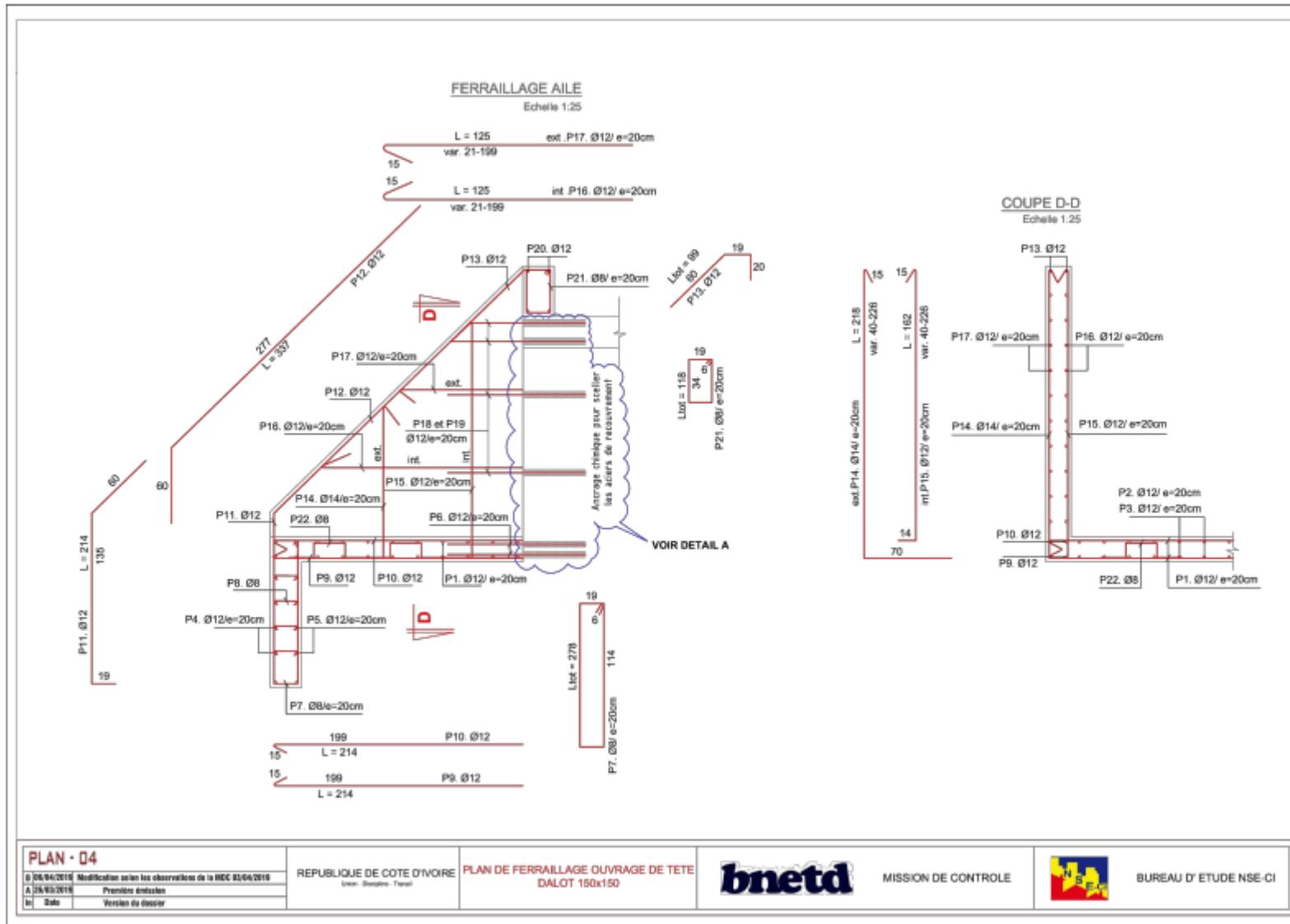
$$A_{st} = \max(A_{st} \text{ à l'ELU}; A_{st} \text{ à l'ELS}) = 4,85 \text{ cm}^2$$

Le tableau suivant récapitule les sections d'acier pour l'ensemble du ferrailage du dalot :

RECAPITULATIF DES FERRAILLAGES		
TABLIER	Inférieur	HA12, esp = 20 cm
	Supérieur	HA12, esp = 20 cm
	Transversal	HA8, esp = 20 cm
PIEDROITS	Intérieur	HA12, esp = 20 cm
	Extérieur	HA12, esp = 20 cm
	Transversal	HA8, esp = 20 cm
RADIER	Inférieur	HA12 esp = 20 cm
	Supérieur	HA8, esp = 20 cm
	Transversal	HA8, esp = 20 cm







NOMENCLATURE DES ACIERS TETE D' OUVRAGE																															
Pos.	Diamètre (mm)	Nombre dans un assemblage		Espacement (cm)	Schéma	Longueur moyen (m)	Longueur totale (m)	Pos.	Diamètre (mm)	Nombre dans un assemblage		Espacement (cm)	Schéma	Longueur moyen (m)	Longueur totale (m)																
1	12	2x11	22	20		3.11 moyen	68.42	16	12	2x12	24	20		1.25 moyen	30.00																
2	12	2x9	18	20		1.82	34.96	17	12	2x12	24	20		1.25 moyen	30.00																
3	12	2x14	28	20		1.37 moyen	36.36	18	12	2x11	22	20		1.60	35.20																
4	12	5	5	20		4.02	20.10	19	12	2x11	22	20		1.60	35.20																
5	12	5	5	20		4.02	20.10	20	12	4	4	-		2.14	8.56																
6	12	2x11	22	20		1.10	24.20	21	8	11	11	20		1.18	12.98																
7	8	20	20	20		2.78	58.60	22	8	16	16	e=30m²		0.07	13.92																
8	8	12	12	e=30m²		0.35	4.20	<p style="text-align: center;">RÉCAPITULATION</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>DIAMETRES Ø</th> <th>8</th> <th>12</th> <th>14</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Longueur totale (m)</td> <td>86.70</td> <td>423.46</td> <td>47.96</td> </tr> <tr> <td>Poids au ml [kg]</td> <td>0.395</td> <td>0.888</td> <td>1.268</td> </tr> <tr> <td>Poids total [kg]</td> <td>34.25</td> <td>376.03</td> <td>57.94</td> </tr> </tbody> </table>								DIAMETRES Ø	8	12	14	Longueur totale (m)	86.70	423.46	47.96	Poids au ml [kg]	0.395	0.888	1.268	Poids total [kg]	34.25	376.03	57.94
DIAMETRES Ø	8	12	14																												
Longueur totale (m)	86.70	423.46	47.96																												
Poids au ml [kg]	0.395	0.888	1.268																												
Poids total [kg]	34.25	376.03	57.94																												
9	12	2x2	4	-		2.14	8.56																								
10	12	2x2	4	-		2.14	8.56																								
11	12	2x2	4	-		2.14	8.56																								
12	12	2x2	4	-		3.37	13.48																								
13	12	2x2	4	-		0.99	3.96																								
14	14	2x11	22	20		2.18 moyen	47.98																								
15	12	2x11	22	20		1.62 moyen	35.64																								

PLAN - 05
 0 05/04/2018 Modification selon les observations de la MOC 03/04/2019
 A 28/03/2018 Première émission
 H Date Version de dessin

REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE
 Union - Discipline - Travail

TABLEAU DE NOMENCLATURE
 DES ACIERS DE LA TETE
 DALOT 150x150



MISSION DE CONTROLE



BUREAU D'ETUDE NSE-CI

ANNEXE 5 : TABLEAU DES SIGNALISATIONS VERTICALES

Panneaux/Types	Description	Nombre
 AB4	Panneau « STOP », Arrêt aux amorces et aux intersections	5
 AB4	Arrêt à l'intersection, annonce le panneau AB4	1
 A1a	Virage à droite	1
 A1b	Virage à gauche	1
 B14	Limitation de vitesse	4
 B33	Fin de limitation de vitesse	4
 EB10	Entrée d'agglomération	4
 EB20	Sortie d'agglomération	4
 C20a	Passage pour piéton	4
 A13a	Panneaux de position indiquant un endroit traversé par les enfants	4

ANNEXE 5 : COUT ESTIMATIF DU PROJET

N°	Désignations	Unités	Quantités	P.U. (F CFA)	Montant (HT) F CFA
000 : INSTALLATION DE CHANTIER					
001	Installations générales de chantier	Ft	1	361 375 000	361 375 000
002	Repliection des installations de chantier	Ft	1	99 562 500	99 562 500
003	Sécurité et sureté des installations	Ft	1	15 487 500	15 487 500
Sous total 000					476 425 000
100 : TRAVAUX PREPARATOIRES					
101	Déforestation et débroussaillage avec essouchement	m ²	70 000	186	13 020 000
102	Décapage de la terre végétale	m ²	55 000	208	11 440 000
103	Abattage et dessouchage d'arbres de circonférence supérieure à 1m	U	26	60 500	1 573 000
104	Démolition d'ouvrages existants	m ²	90	10 000	900 000
105	Scarification de la route existante	m ²	63 000	1 081	68 103 000
106	Purge de mauvais sol	m ³	26 348	1 500	39 522 000
Sous total 100					134 558 000
200 : TERRASSEMENTS					
201	Déblais	m ³	10 128	2 500	25 319 700
202	Remblai d'emprunt	m ³	18 146	6 500	117 951 555
203	Mise en forme et compactage de la plateforme	m ²	102 100	2 081	212 470 100

ETUDES TECHNIQUES EN VUE E LA REHABILITATION DE LA ROUTE NATIONALE
YAMOISSOUKRO-BOUAFLE-DALOA (COTE D'IVOIRE)

204	Plus-value de transport des matériaux de déblai ou remblai pour des distances supérieures à 5 Km	m ³ ×K m	300 000	200	60 000 000
Sous total 200					415 741 355
300 : CHAUSSEE					
301	Couche de base	m 3	-	15 165	-
302	Couche de fondation	m 3	36 372	13 668	497 128 942
304	Plus-value de transport des matériaux pour couche de chaussée sur une distance supérieures à 5 Km	m ³ ×K m	300 000	300	90 000 000
Sous total 300					587 128 942
400 : REVETEMENT					
401	Fourniture et mise en œuvre de l'imprégnation (y compris bitume)	m 3	3 082	1 172	3 612 104
402a	Mise en œuvre de béton bitumineux	m 2	102 100	21 000	2 144 100 000
402b	Mise en œuvre de la Grave Bitume	m 2	102 100	14 000	1 429 400 000
404	Plus-value de transport des matériaux pour revêtement sur une distance supérieure à 5 Km	m ³ ×K m	200 000	210	42 000 000
Sous total 400					3 619 112 104
500 : DRAINAGE, ASSAINISSEMENT ET PROTECTION					
501	Fossé triangulaire en terre	Ml	8 000	1 087	8 696 000
502	Dalots cadre en béton arme (y compris armature: ratios = 110kg/m ³) (02)	Ml	72	6 370 000	458 640 000

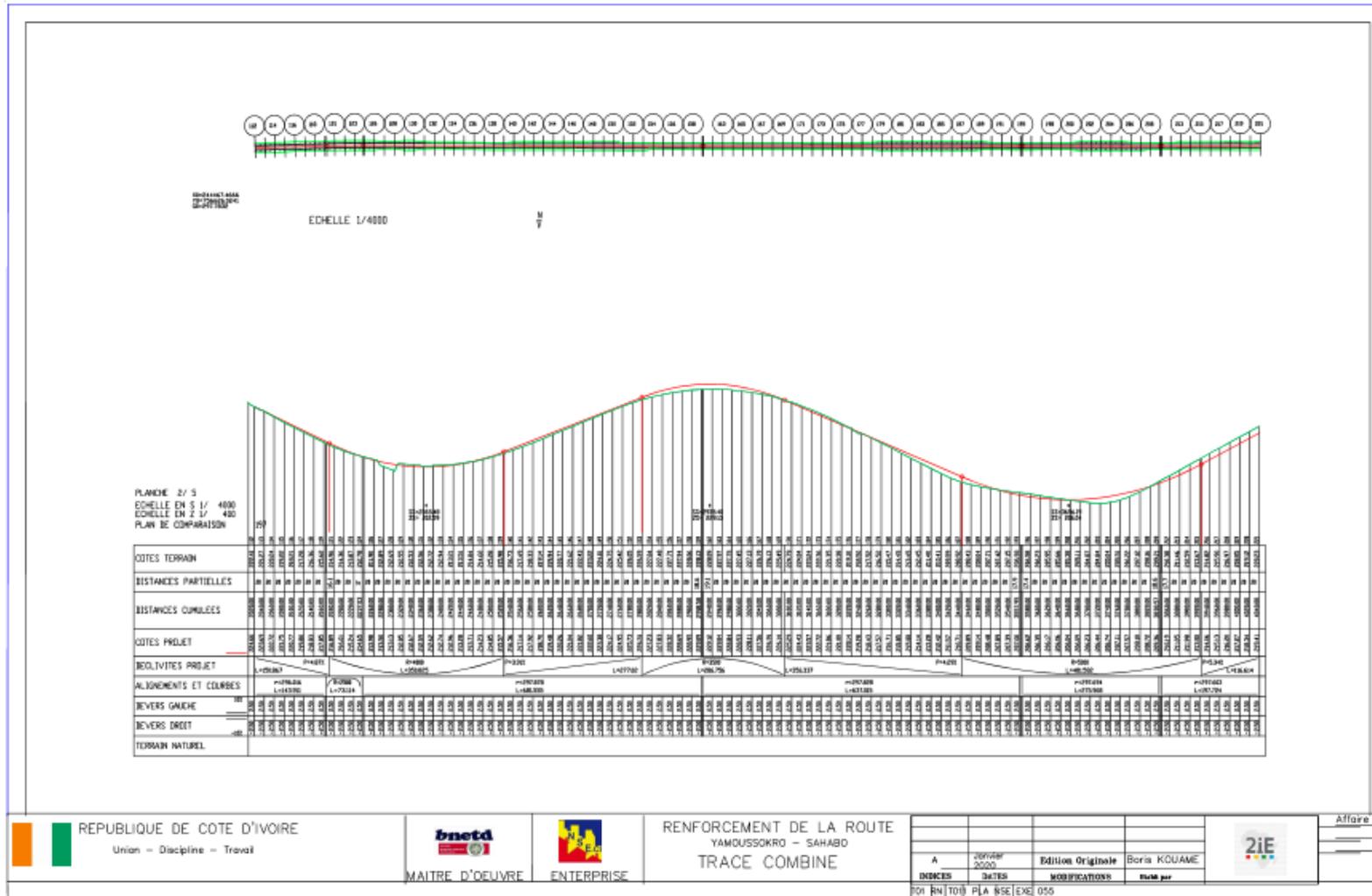
ETUDES TECHNIQUES EN VUE E LA REHABILITATION DE LA ROUTE NATIONALE
YAMOOUSSOUKRO-BOUAFLE-DALOA (COTE D'IVOIRE)

503	Caniveaux				-
503a	Caniveau 0,80 m x 0,60 m en béton armé	Ml	2 000	-	-
503b	Dalette de traversés sur caniveau	Ml	2 000	-	-
504	Protection				-
504a	Bordure de Type T2 CS2	Ml	2 800	19 669	55 073 200
504b	Bordure de Type P1	Ml	-	19 669	-
504c	Bordure de Type I2	Ml	-	19 669	-
504d	Descente d'eau (y compris le dispositif d'entonnement et fixation au sol)	Ml	10 000	60 011	600 110 000
504e	Fourniture et mise et œuvre des gabions	m3	36	44 079	1 586 844
504f	Fourniture et mise en œuvre de perré maçonné	m ²	130	37 000	4 810 000
504g	Fourniture et mise en œuvre d'enrochements	m 3	28	41 600	1 164 800
Sous total 500					1 130 080 844
600 : SECURITE ET SIGNALISATION					
601	Glissière de sécurité	Ml	2 500	21 749	54 372 500
602	Signalisation horizontale				-
602a	Bande de peinture blanche rétro réfléchissante continue d'axe (T3) ou discontinue (T1) d'épaisseur 12 cm	Ml	7 000	1 060	7 420 000
602b	Bande de peinture blanche rétro réfléchissante discontinue de rive de Type T2 d'épaisseur 12 cm	Ml	13 205	1 134	14 974 470
602c	Marquages spéciaux	m ²	58	8 234	477 572

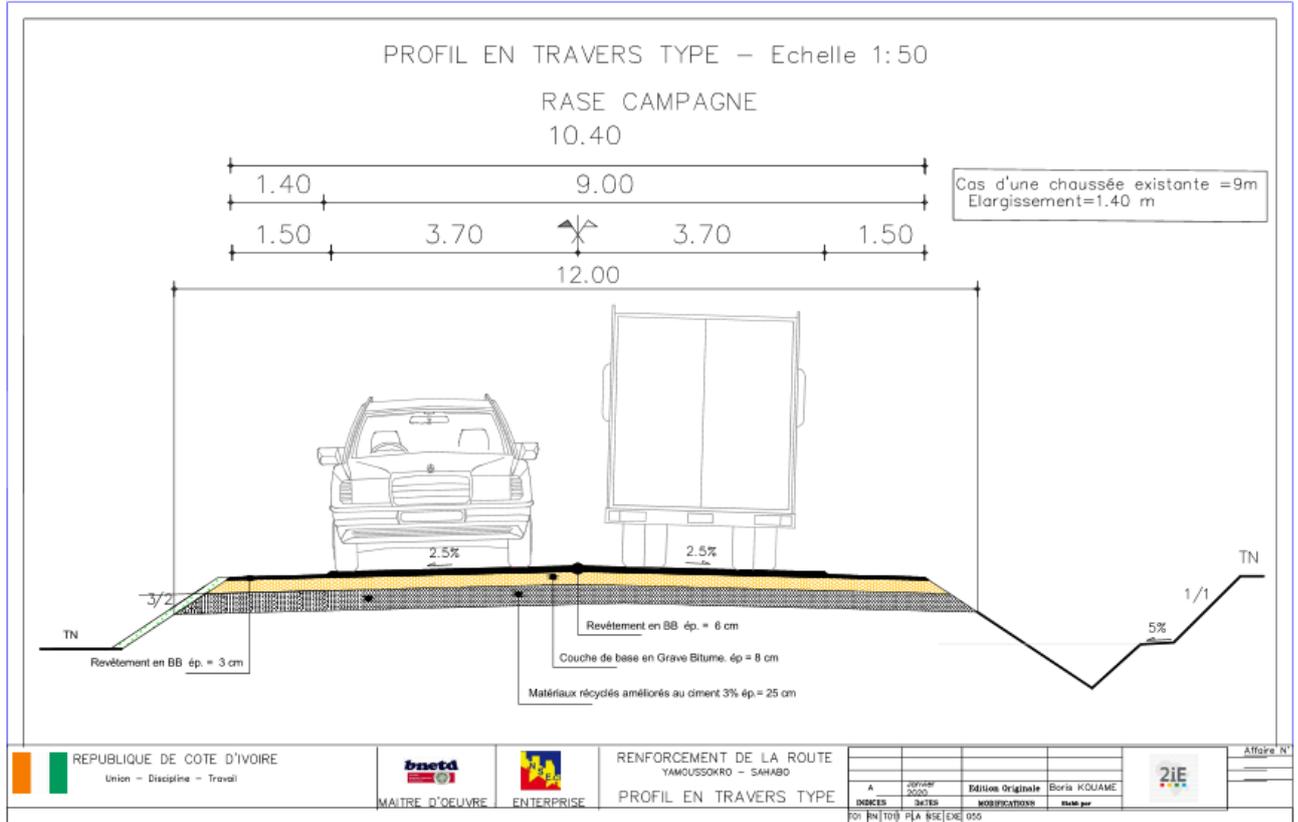
ETUDES TECHNIQUES EN VUE E LA REHABILITATION DE LA ROUTE NATIONALE
YAMOISSOUKRO-BOUAFLE-DALOA (COTE D'IVOIRE)

603	Signalisation verticale				-
603a	Fourniture et pose de Panneaux de type A	U	6	276 644	1 659 864
603b	Fourniture et pose de Panneaux de type "stop" ; AB4; B et C	U	17	276 644	4 702 948
603c	Fourniture et panneaux directionnel type D, E et EB	U	10	276 644	2 766 440
Sous total 600					86 373 794
700 : MESURES ENVIRONNEMENTALES					
701	Gestion environnementale des travaux				
701a	Information et sensibilisation des travailleurs, des usagers et des riverains	Ft	1	20 000 000	20 000 000
701b	Suivi et surveillance environnemental du chantier	Ft	1	35 000 000	35 000 000
701c	Aménagements, équipements et services pour la sécurité des travailleurs	Ft	1	10 000 000	10 000 000
702	Aménagements à caractère environnemental et social		1		-
702a	Aménagement des gites et carrières	Ha	30	750 000	22 500 000
Sous total 700					87 500 000
TOTAL GENERAL EN F CFA HT HD					6 536 920 039

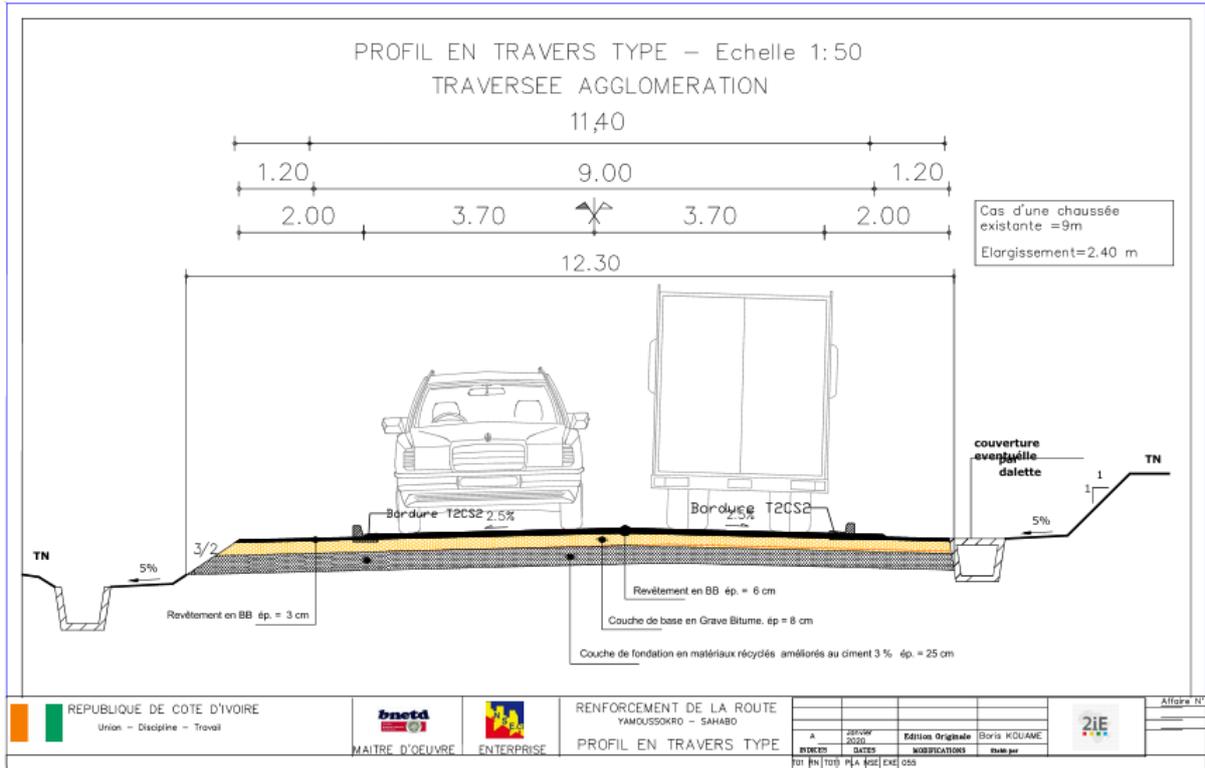
ANNEXE 6 : TRACE COMBINE



ANNEXE 7 : PROFILS EN TRAVERS TYPES



**ETUDES TECHNIQUES EN VUE E LA REHABILITATION DE LA ROUTE NATIONALE
YAMOOUSSOKRO-BOUAFLE-DALOA (COTE D'IVOIRE)**



ANNEXE 8 : AMENAGEMENT DES AMORCES

