Étude technique des travaux d'aménagement et de bitumage de la route Karakoro - Komborodougou - Kouroukouna en Côte d'Ivoire ralliant la route nationale A3 : Cas de la section 01 (du PK 00+000 au PK 10+000)

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

SPECIALITE Génie Civil – Bâtiment et Travaux Publics

Présenté et soutenu publiquement le 17 Juillet 2026 par

Tedjota Bakary SORO (20221066)

Encadrant : Dr Nadjibou ABDOULAYE Enseignant, Institut 2iE

Maître de stage : M. Amakou Jean-Yves N'Gouan, Ingénieur Géomaticien, Responsable du département topographie chez SCORE.

Structure d'accueil du stage : SCORE

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Dr Aly Ngoné NGOM

Membres : Dr Mamadou Pousga Junior KABORE

M. Fabrice Velegda Hugues SORE

Promotion 2025- 2026

Dédicace

À Dieu, maître du temps et de l'existence, dont la lumière a guidé mes pas à travers le silence et le doute.

À ma famille :

Les mots me manquent pour exprimer la profondeur de ma gratitude pour votre soutien infaillible.

Ce travail vous est dédié en signe de reconnaissance pour votre amour inconditionnel, moteur de ma vie au quotidien.

Remerciements

Au terme de ce cycle de formation d'ingénieur, je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers toutes les personnes qui, par leur soutien technique, moral ou humain, ont rendu possible la réalisation de ce mémoire.

J'exprime ma sincère reconnaissance à :

- La direction de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) et plus particulièrement au département Génie Civil pour la qualité de l'enseignement et l'ambition portée pour l'ingénierie africaine ;
- Docteur Nadjibou ABDOULAYE, enseignant à 2iE, pour ses conseils avisés, sa disponibilité constante et son encadrement rigoureux durant toute ma formation et mon stage de fin d'études, qui a contribué à structurer et approfondir ma réflexion ;
- La direction du GROUPE SCORE, spécifiquement à Monsieur Yacouba Soukpafolo KONE, Administrateur général et Monsieur Zakaria Soukpafolo KONE, Coordinateur du projet, pour l'opportunité de stage qui m'a été offerte ;
- Monsieur N'golo Jean Marie OUATTARA, Directeur des travaux du projet ;
- Monsieur Jean-Yves N'Gouan, Ingénieur Géomaticien, Responsable de l'équipe topographie et Monsieur Boniface ALLOU, Dessinateur-Projeteur et métreur chez SCORE. Leur disponibilité constante et la pertinence de leurs orientations ont constitué le véritable fil conducteur de cette étude. Au-delà de leurs conseils techniques, je salue leur dévouement et leur sens de la pédagogie, qui m'ont permis de concilier avec rigueur les exigences théoriques et les réalités pratiques du terrain ;
- Toutes les équipes techniques du projet Karakoro – Komborodougou – Kouroukouna, pour leur soutien logistique et leur camaraderie ;
- La famille SORO, pilier de mon parcours, pour ses sacrifices et son soutien permanent ;
- Mes amis, pour la solidarité et les échanges enrichissants partagés durant cette formation.

Résumé

Le présent mémoire, intitulé « Etude technique des travaux d'aménagement et de bitumage d'un tronçon de 10 km de la route Karakoro-Komborodougou-Kouroukouna en Côte d'Ivoire, ralliant la route nationale A3 : Cas de la section 01 (du PK 00+000 au PK 10+000) », s'inscrit dans la vision stratégique nationale de renforcement du réseau routier ivoirien. L'étude vise à définir une solution technique optimale intégrant les problématiques d'écoulement, d'erosion, de durabilité et de sécurité des usagers.

Le profil en travers de la voirie varie selon le contexte traversé, avec des configurations adaptées en zone agglomérée et en rase campagne, pour des vitesses de référence de 60 km/h et 80 km/h respectivement. Le dimensionnement de la structure de chaussée a été réalisé à l'aide du logiciel Alizé-LCPC, sur la base d'une classe de trafic T4 et d'une classe de sol S4. La technique de traitement de la grave latéritique retenue est la stabilisation au ciment à 3%, permettant d'améliorer les caractéristiques mécaniques du matériau. La structure dimensionnée se compose de 20 cm de graveleux latéritique naturel en fondation, 18 cm de graveleux latéritique amélioré en base, et 3 cm de béton bitumineux en couche de roulement, sur une longueur de 10 km.

Une notice d'impact environnemental et social (EIES) a été réalisée afin d'identifier les effets positifs et négatifs du projet sur les composantes environnementales. Parmi les effets positifs figurent le désenclavement des zones agricoles et l'amélioration de la mobilité ; les principaux effets négatifs identifiés concernant les risques d'érosion des sols et les nuisances en phase de travaux. Des mesures d'atténuation spécifiques ont été définies et intégrées dans un Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES). Par ailleurs, le projet intègre un volet assainissement avec la conception de 10 ouvrages hydrauliques, ainsi que des dispositions relatives à la sécurité routière. Le coût global du projet est estimé à **5 956 058 564 FCFA TTC**, soit **595 605 857 FCFA** par kilomètre, voirie incluse.

MOTS CLES

1. Aménagement routier
2. Dimensionnement de chaussée
3. Ouvrages de franchissement
4. Drainage routier
5. Sécurité routière

Abstract

This thesis, entitled ″Technical study of the development and paving works of a 10-km section of the Karakoro-Komborodougou-Kouroukouna road in Cote d'Ivoire, connected to national road A3 : section 01 (from KP 00+000 to KP 10+000) ″, is part of the national strategic vision for strengthening the Ivorian road network. The study aims to define an optimal technical solution integrating the issues of surface runoff, erosion, infrastructure durability, and road user safety.

The cross-sectional profile of the roadway varies according to the traversed context, with configurations adapted for both urban and rural settings, at reference speeds of 60 km/hand 80 km/h respectively. Pavement structure design was carried out using Alizé-LCPC software, based on a traffic class T4 and a soil class S4. The selected treatment technique for lateritic gravel is cement stabilization at 3%, which enhances the mechanical properties of the material. The resulting pavement structure consists of 20 cm of natural lateritic gravel for the sub-base, 18 cm of cement-stabilized lateritic gravel for the base course, and 3 cm of bituminous concrete as the wearing course, over a total road length of 10,000 m.

An Environmental and Social Impact Assessment (ESIA) was carried out to identify the positive and negative effects of the project on its environmental components. The main positive effects include the opening up of agricultural areas and improved mobility for local populations, while the primary negative effects identified concern soil erosion risks and nuisances during the construction phase. Specific mitigation measures have been defined and integrated into an Environmental and Social Management Plan (ESMP). In addition, the project incorporates a drainage component with the design of 10 hydraulic structures, along with road safety provisions covering signage, sight distances, and appropriate geometric alignment. The total project cost is estimated at **5,956,058,564 FCFA** all taxes included, representing **595,605,857 FCFA** per kilometer, roadworks included.

KEY WORDS

1. Road development
2. Pavement design
3. Drainage structures
4. Road drainage
5. Road safety

Sommaire

Dédicace ii

Remerciements iii

Résumé iv

Abstract v

Sommaire vi

Abréviations et sigles v

Liste des figures ix

Listes des tableaux x

Introduction générale 1

Chapitre I : Présentation de la structure d'accueil et du projet 3

Introduction 3

I.1 Présentation de la structure d'accueil 3

I.2 Profil de l'entreprise 4

I.3 Missions et secteurs d'activité 4

I.4 Organisation de la structure d'accueil 4

I.5 Cadre institutionnel du projet 6

I.6 Présentation du projet 6

I.6.1 Délimitation de la zone du projet 7

I.6.2 Contexte et justification du projet 10

I.6.3 Climat et pluviométrie 11

I.6.4 Hydrographie et hydrologie 11

I.6.5 Relief et végétation 12

I.6.6 Géologie et sols 13

I.7 Présentation de la section d'étude 14

I.8 Logiciels d'analyse et de conception 15

Conclusion partielle 16

Chapitre II : Conception géométrique de la route et dimensionnement de la chaussée.....16

Introduction 17

II.1 Caractéristiques de base de la conception routière.....16

II.1.1 Paramètres cinématiques 16

II.1.2 Paramètres géométriques.....17

II.2 Géotechnique routière 21

II.2.1 Classification ivoirienne des sols régional 21

II.2.2 Diagnostic géotechnique 21

II.2.3 Caractérisation de la plateforme support de chaussée.....21

II.3 Etude du trafic 22

II.3.1 Méthodologie de l'étude du trafic 22

II.3.2 Station de comptage 23

II.3.3 Collecte et analyse des données 23

II.3.4 Résultats de l'étude du trafic 23

II.3.5 Classification du trafic 24

II.4 Dimensionnement de la structure de chaussée 24

II.4.1 Méthode et démarche de dimensionnement de la structure de chaussée 24

II.4.2 Choix de la variante de la couche de chaussée.....25

II.4.3 Vérification du dimensionnement selon le guide LCPC-Sétra 26

II.4.4 Vérification du dimensionnement avec le logiciel ALIZE LCPC 27

II.5 Dispositifs de signalisation routière 29

II.5.1 Signalisation verticale 29

II.5.2 Typologie des panneaux retenus 29

II.5.3 Zones de positionnement des panneaux 30

II.5.4 Signalisation horizontale 31

Conclusion partielle ……..…..33

Chapitre III : Assainissement de la route 33

Introduction ……..…..34

III.1 Etude hydrologique 33

III.1.1 La pluviométrie 34

III.1.2 Ajustement de la pluie par l'analyse fréquentielle de l'aléa pluviométrique.....34

III.2 Délimitation des bassins versants 36

III.2.1 Courbes hypsométriques des bassins versants 37

III.2.2 Caractéristiques morphométriques des bassins versants.....37

III.3 Débits de crues des bassins versants 38

III.4 Etude hydraulique des ouvrages de franchissement et de drainage des eaux 39

III.5 Dimensionnement hydraulique de l'ouvrage de franchissement 40

III.5.1 Mode de fonctionnement des ouvrages de drainage transversaux 40

III.5.2 Ouvrages de drainage transversal (dalot).....40

III.5.3 Ouvrages de drainage longitudinal 43

III.6 Etude structurale de l'ouvrage de drainage transversal 43

III.6.1 Hypothèse et cadre règlementaire 43

III.6.2 Caractéristiques des matériaux 43

III.6.3 Définition géométrique de l'ouvrage de franchissement 43

III.6.4 Dimensionnement analytique de l'ouvrage de drainage transversal (dalot) 44

III.6.5 Dimensionnement analytique de l'ouvrage de drainage transversal (dalot) 45

III.6.6 Ouvrages de drainage longitudinal 46

III.7 Protection des ouvrages de drainage transversaux.....46

Conclusion partielle ……..…..47

Chapitre IV : Notice d'impact environnemental et social 48

Introduction ……..….48

IV.1 Composante de l'environnement concernée 48

IV.2 Analyse des impacts sur l'environnement 48

IV.2.1 Impacts positifs 48

IV.2.2 Impacts négatifs 49

IV.3 Plan de gestion environnemental et social (PGES) 49

IV.3.1 Objectif du plan de gestion environnemental et social (PGES) 49

IV.3.2 Mesures de protection et d'atténuation 50

Conclusion partielle 50

Chapitre V : Etude de l'avant métré et financière du projet 51

Introduction 51

V.1 Avant métré des travaux de terrassement 51

V.2 Avant métré des travaux de chaussée 52

V.3 Avant métré des ouvrages d'assainissement et de franchissement 52

V.4 Avant métré des travaux de signalisation 52

V.5 Devis estimatif du projet 53

Conclusion partielle 52

Conclusion générale et perspectives 53

Bibliographie 54

Annexe I

Abréviations et sigles

2iE	:	Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
BB	:	Béton Bitumineux
BB	:	Béton Bitumineux
BCEOM	:	Bureau Central d'Études pour les Équipements d'Outre-mer
CBR	:	Californian Bearing Ratio
CEBTP	:	Centre d'Expertise du Bâtiment et des Travaux Publics
DQE	:	Devis Quantitatif et Estimatif
EIES	:	Études d'Impact Environnemental et Social
fc28	:	Valeur caractéristiques de résistance à la compression du béton
FCFA	:	Franc de Communauté Financière Africaine
GLC	:	Graveleux latéritique stabilisé à 3 % de ciment
GLn	:	Graveleux latéritique naturel
HA	:	Haute Adhérence
HT	:	Hors Taxe
ICTAAL	:	Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison
LBTP	:	Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics
LCPC	:	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
NF	:	Norme Française
PK	:	Point Kilométrique
SCORE	:	Société de Construction et de Rénovation
SETRA	:	Service d'Etude Technique des Routes
TTC	:	Toutes Taxes Comprises
TVA	:	Taxe sur les Valeurs Ajoutée

Liste des figures

Figure I-I : Organigramme administrative du GROUPE SCORE 5

Figure I-II : Situation géographique de la région du PORO au sein du territoire national 8

Figure I-III : Carte de situation du tronçon et des zones concernées 9

Figure I-IV : État des lieux de la route en terre 10

Figure I-V : Réseau hydraulique de la Cote d'Ivoire (Projection WGS 84 zone 29N & 30N) 12

Figure I-VI : Carte géologique simplifiée de la Côte d'Ivoire à l'échelle 1/4 000 00 13

Figure I-VII : Plan de repérage de l'emprise du projet (Source : Google Earth Pro) 14

Figure I-VIII : Matériels et logiciels utilisés pour les études et la rédaction du mémoire 15

Figure II-I : Découpage du projet en sections 20

Figure II-II : Vérification des contraintes et déformations au niveau des interfaces de la structure de chaussée 27

Figure III-I : Présentation des bassins versants de la section 01 37

Figure III-II : Caractéristique géométrique de l'ouvrage de franchissement 44

Figure III-III : Application des charges sur l'ouvrage de franchissement 44

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Présentation de la structure d'accueil 3

Tableau I-2 : Répertoire des agglomérations et points de passage desservis par le tracé 7

Tableau II-1 : Paramètres cinématiques de la route Karakoro – Komborodougou 16

Tableau II-2 : Paramètres géométriques du tracé en plan de la route Karakoro – Komborodougou 17

Tableau II-3 : Paramètres géométriques du profil en long de la route Karakoro – Komborodougou 18

Tableau II-4 : Caractéristiques des chaussées du projet selon le TDR 20

Tableau II-5 : Classification géotechnique des sols selon le CEBTP 22

Tableau II-6 : Données d'entrées des calculs de dimensionnement de la chaussée 23

Tableau II-7 : Résultat de l'étude du trafic 24

Tableau II-8 : Proposition des variantes de la structure de chaussée 25

Tableau II-9 : Bilan des sollicitations mécaniques (contraintes et déformations) induites par le trafic sur les assises de chaussée 28

Tableau II-10 : Panneaux projetés 30

Tableau II-11: Caractéristiques des lignes 31

Tableau II-12 : Valeurs de « u » 32

Tableau III-1 : Caractéristiques physiques ou morphométriques des bassins versants 38

Tableau III-2 : Caractéristiques physiques ou morphométriques des bassins versants 39

Tableau III-3 : Résultats synthétiques du dimensionnement de l'ouvrage hydraulique(dalot) 41

Tableau III-4 : Résultat du dimensionnement analytique de l'ouvrage 45

Tableau III-5 : Résultat du dimensionnement avec le logiciel RSA 46

Tableau V-1 : Récapitulatif du devis estimatif du projet 53

Introduction générale

« La route du développement passe par le développement de la route » comme le souligne souvent la sagesse africaine. C'est dans cet esprit que le gouvernement de Côte d'Ivoire a élaboré un Plan National de Développement 2016-2025 (PND 2016-2025), qui prévoit la réalisation d'un ensemble de travaux routiers au profit de la région du Poro. Ces travaux comprennent notamment le reprofilage lourd sur 1920,7 km, le reprofilage léger sur 4785,7 km, ainsi que la construction de 38 ouvrages d'art. Dans ce cadre, l'entreprise SCORE a été retenue pour mener à bien le projet de bitumage de l'axe Karakoro – Komborodougou – Kouroukouna représentant un linéaire de 50 km, auquel s'ajoutent 15 km de voiries urbaines. Ce projet est organisé en quatre sections distinctes et inclut la réalisation d'ouvrages d'art destinés à franchir les différentes obstacles naturels et artificiels rencontrés le long du tracé.

Malgré le dynamisme économique de la région du Poro, certaines infrastructures clés restent difficilement accessibles en raison du mauvais état de la piste, particulièrement en période de pluies. La route desservant les localités de Karakoro, Komborodougou et Kouroukouna, qui assure la connexion entre la Route Nationale A3 et le site de la société SUCAF CI (Sucrerie Africaine - Côte d'Ivoire), présente une chaussée fortement détériorée et un système de drainage en très mauvais état, mettant ainsi en péril la sécurité des usagers et le bon déroulement du trafic. Face à cette situation, la réhabilitation de ce tronçon de 10 km s'avère indispensable pour garantir une liaison fiable et sécurisée entre les zones de production et le réseau routier national, à travers une étude technique rigoureuse intégrant le relief, la nature du sol, la gestion des eaux et les exigences liées au trafic lourd ainsi que le bitumage de la chaussée.

Dans ce contexte, l'objectif général du présent mémoire est de réaliser les études techniques des travaux d'aménagement et de bitumage d'un tronçon de 10 km de la route Karakoro-Komborodougou-Kouroukouna, allant du PK 0+000 au PK10+000, soit 10 km, conformément aux normes de conception en vigueur.

Pour atteindre cet objectif, les objectifs spécifiques suivants ont été définis :

- Optimiser les caractéristiques géométriques du trace existant pour désenclaver les zones à forte production agricole ;

- Dimensionner la structure de la chaussée en tenant compte des résultats des analyses géotechniques et des prévisions de trafic ;
- Elaborer un plan d'assainissement adapté aux conditions climatiques locales ;
- Proposer une signalisation verticale et horizontale conforme aux normes en vigueur ;
- Réaliser une synthèse de la notice d'impact environnemental et social afin d'identifier les contraintes environnementales et sociales, et de les intégrer dans la conception du projet ;
- Effectuer un avant-métré et établir une estimation budgétaire des travaux.

L'objectif principal de ce travail réalisé au sein de la structure SCORE BTP, s'articule autour de cinq chapitres dont :

- le chapitre 1 est accès sur la présentation de la structure d'accueil et du projet,
- le chapitre 2 est consacré aux études de conception et de dimensionnement.,
- le chapitre 3 détaille la conception géométrique et le dimensionnement de la structure de chaussée et des ouvrages d'assainissement.
- le chapitre 4 résume la notice d'impact environnemental et social ainsi que les dispositifs de sécurité routière,
- le chapitre 5 donne un aperçu de l'estimation du coût de réalisation du projet.

Chapitre I : **Présentation de la structure d'accueil et du projet**

Introduction

Ce chapitre fait non seulement une description de la structure d'accueil, de son environnement à sa mission pour une relance de l'économie ivoirienne en boostant les grands chantiers d'infrastructures et d'ouvrages d'arts, mais aussi la zone de projet, référentiel de notre étude.

I.1 Présentation de la structure d'accueil

Créée en 2013, la société SCORE est une entreprise qui opère dans les domaines de l'hydraulique, de l'électricité, du bâtiment et des travaux publics. Son siège social est établi à Korhogo, depuis lequel elle étend ses activités sur l'ensemble du territoire ivoirien. Cependant, pour des raisons d'efficacité opérationnelle, sa direction générale est implantée à Cocody, précisément à la Riviera Bonoumin, rue Félix Tobin, à Abidjan.

Tableau I-1 : Présentation de la structure d'accueil

SOCIETE DE CONSTRUCTION ET RENOVATION	
Forme juridique	Société Anonyme (SA)
Capital social	1 000 000 000 FCFA
Année de création	2013
Administrateur général	KONE YACOUBA SOUKPAFOLO
Directeur général	KOUADIO KOUAME ARMEL
N° du registre de commerce	CI-KGO-2013-B-144
Siège social	Korhogo, Rue de commerce – BP 294 Korhogo
Direction général	Abidjan Riviera Bonoumin, non loin de la pharmacie Bonoumin
Infoline	(+225) 07 77 38 31 55 / 27 22 59 07 99
Site internet	www.scoregroupe.ci
E-mail	info@score.ci

I.2 Profil de l'entreprise

SCORE BTP (Société de Construction et Rénovation) ambitionne de se hisser au rang des meilleures entreprises sous-régionales du secteur du BTP. Pour atteindre ses objectifs, la structure s'appuie sur un parc matériel moderne et des équipements techniques de pointe qu'elle s'efforce de renouveler continuellement. Son expertise repose sur une politique volontariste de diversification de ses activités et sur l'internalisation de services connexes essentiels à la maitrise de ses projets. Le succès de l'entreprise réside dans des valeurs fondamentales telles que le respect de la qualité, le travail dans les règles de l'art, les respects stricts des délais et une démarche d'amélioration continue. SCORE BTP accorde également une importance capitale à la sécurité humaine, à l'éthique professionnelle, à la protection de l'environnement et à la satisfaction entière des maitres d'ouvrage.

I.3 Missions et secteurs d'activité

L'entreprise offre une expertise plurisectorielle dans l'exécution des travaux publics, notamment dans l'aménagement de routes et de voiries, le bâtiment, l'assainissement et le transport. Dans une perspective d'évolution constante, SCORE BTP s'engage dans une démarche de management de la qualité visant à optimiser ses processus internes et à renforcer sa compétitivité au niveau national et sous-régional. Cette dynamique lui permet de piloter des projets complexes, allant de l'étude topographique et géotechnique au dimensionnement de structures de chaussées capables de supporter un trafic intense.

I.4 Organisation de la structure d'accueil

La *figure I-I* présente l'organigramme administrative du GROUPE SCORE

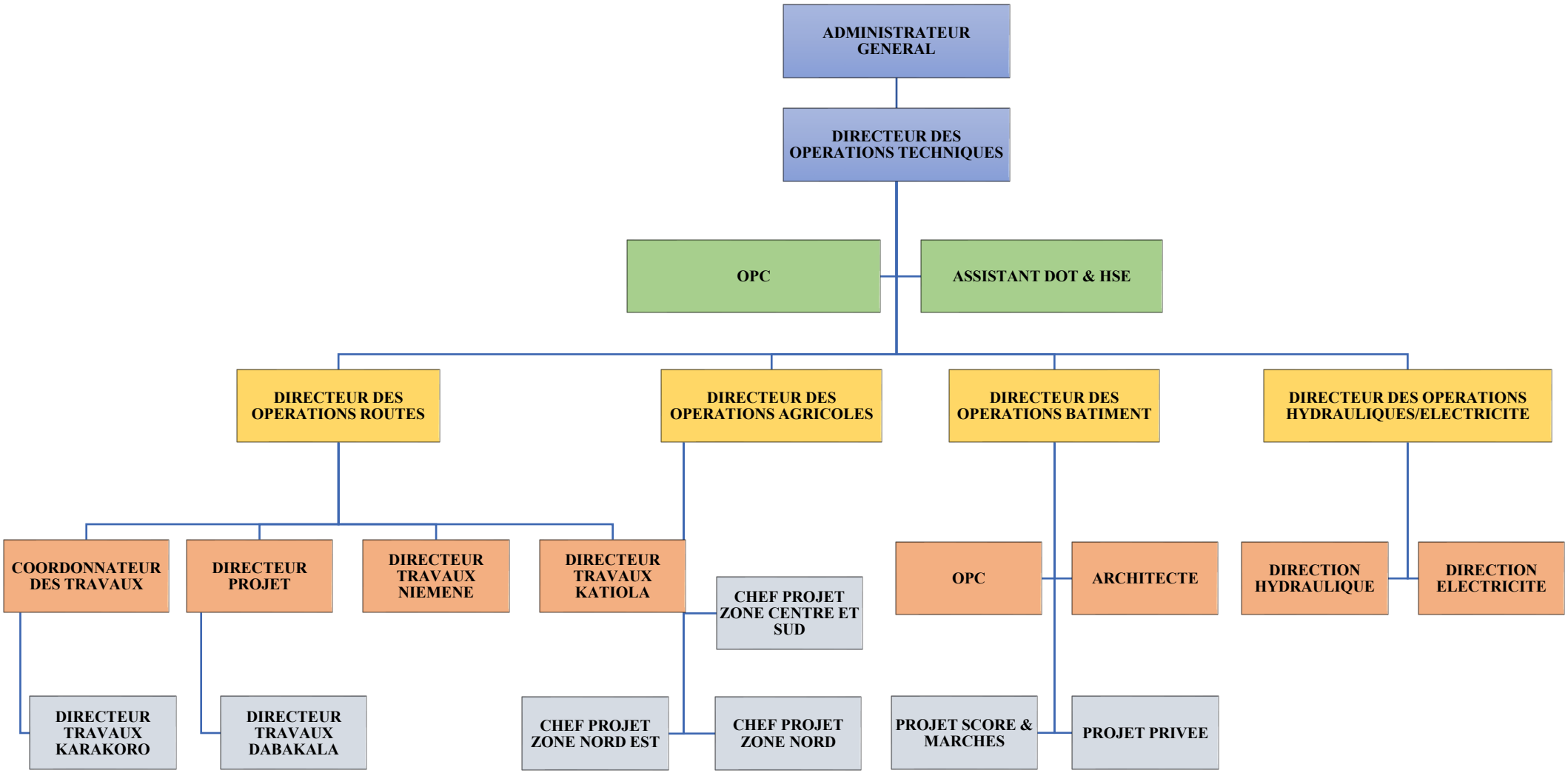


Figure I-I : Organigramme administrative du GROUPE SCORE

I.5 Cadre institutionnel du projet

La réalisation de ce projet a nécessité l'intervention et la collaboration de plusieurs acteurs institutionnels, dont les rôles complémentaires ont contribué à son bon déroulement.

- **Maitre d'ouvrage : Ministère de l'Equipement et de l'Entretien Routier (MEER)**

C'est l'autorité publique responsable de la politique nationale en matière d'infrastructures routières. Dans le cadre de ce projet, il assure la tutelle institutionnelle et définit les orientations stratégiques des travaux. Il mobilise les ressources financières nécessaires à la réalisation de l'opération et en garantit la conformité aux objectifs de développement du réseau national.

- **Maitre d'ouvrage délégué : AGEROUTE**

L'Agence de Gestion des Routes (AGEROUTE) est l'organisme auquel le Ministère a délégué la conduite opérationnelle du projet. Elle assure la programmation des travaux, la passation des marchés et le suivi administratif et financier de l'opération. Elle constitue l'interface entre le maitre d'ouvrage, les entreprises et les autres intervenants du projet. A ce titre, elle veille au respect des délais contractuels et à la bonne utilisation des fonds alloués.

- **Maitre d'œuvre / Mission de contrôle : CIRMA**

Le bureau de contrôle CIRMA est chargée de la maitrise d'œuvre et de la surveillance technique des travaux sur le terrain. Il veille à la conformité de l'exécution des ouvrages aux plans, des cahiers des charges et spécifications techniques contractuelles. Il contrôle la qualité des matériaux mis en œuvre, valide les attachements et réceptionne les travaux à chaque étape d'avancement. CIRMA constitue ainsi le garant technique de la bonne réalisation du projet.

I.6 Présentation du projet

Le point de départ (PK0) de notre zone d'étude est situé dans la région du Poro, au Nord de la Côte d'Ivoire. Le projet se localise plus précisément à environ 18 km de la ville de Korhogo. La région du PORO couvre une superficie de 13400 km^2 , elle est limitée au Nord par la république du Mali, au sud par la région de la Bagoué. La population de Korhogo est estimée à plus de 1 040 461 habitants selon le recensement de 2011.

I.6.1 Délimitation de la zone du projet

La zone d'implantation du projet se situe au nord de la Côte d'Ivoire, dans la région du Poro, et se caractérise par une piste en terre fortement dégradée. Ce tronçon ralliant plusieurs localités à la nationale A3 énuméré dans le *tableau I-2*, est ponctuée de zones critiques et d'ouvrages de drainage insuffisants qui provoquent des interruptions de trafic fréquentes, notamment en saison des pluies. La *figure I-II* présente la localisation de la région du PORO.

Tableau I-2 : Répertoire des agglomérations et points de passage desservis par le tracé

Villes & Villages	**Coordonnées géographique**	
	Longitude	**Latitude**
Karakoro	5º31'15.927	9º23'20.180''
Pangarikaha	5º29'58.268	9º22'20.180''
Nakaha	5º26'40.945	9º21'33.888''
Logbokaha	-	-
Komborodougou	5º25'45.177	9º19'34.813''
SUCAF (Ferké 2)	5º16'16.732	9º17'46.292''
Pangalakaha	5º14'45.690	9º16'32.412''
Kouroukouna	5º19'73.530	9º28'83.380''

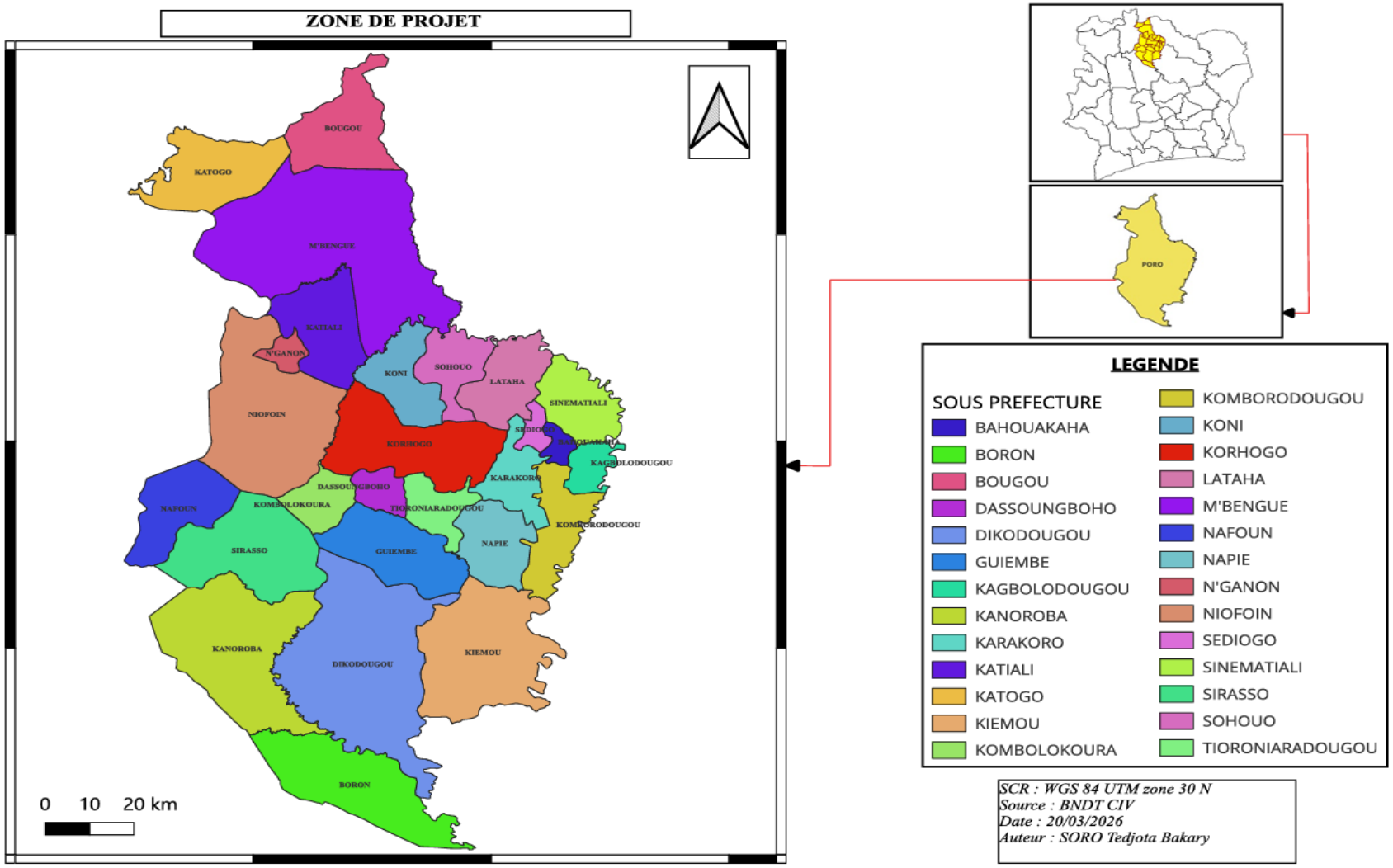


Figure I-II : Situation géographique de la région du PORO au sein du territoire national

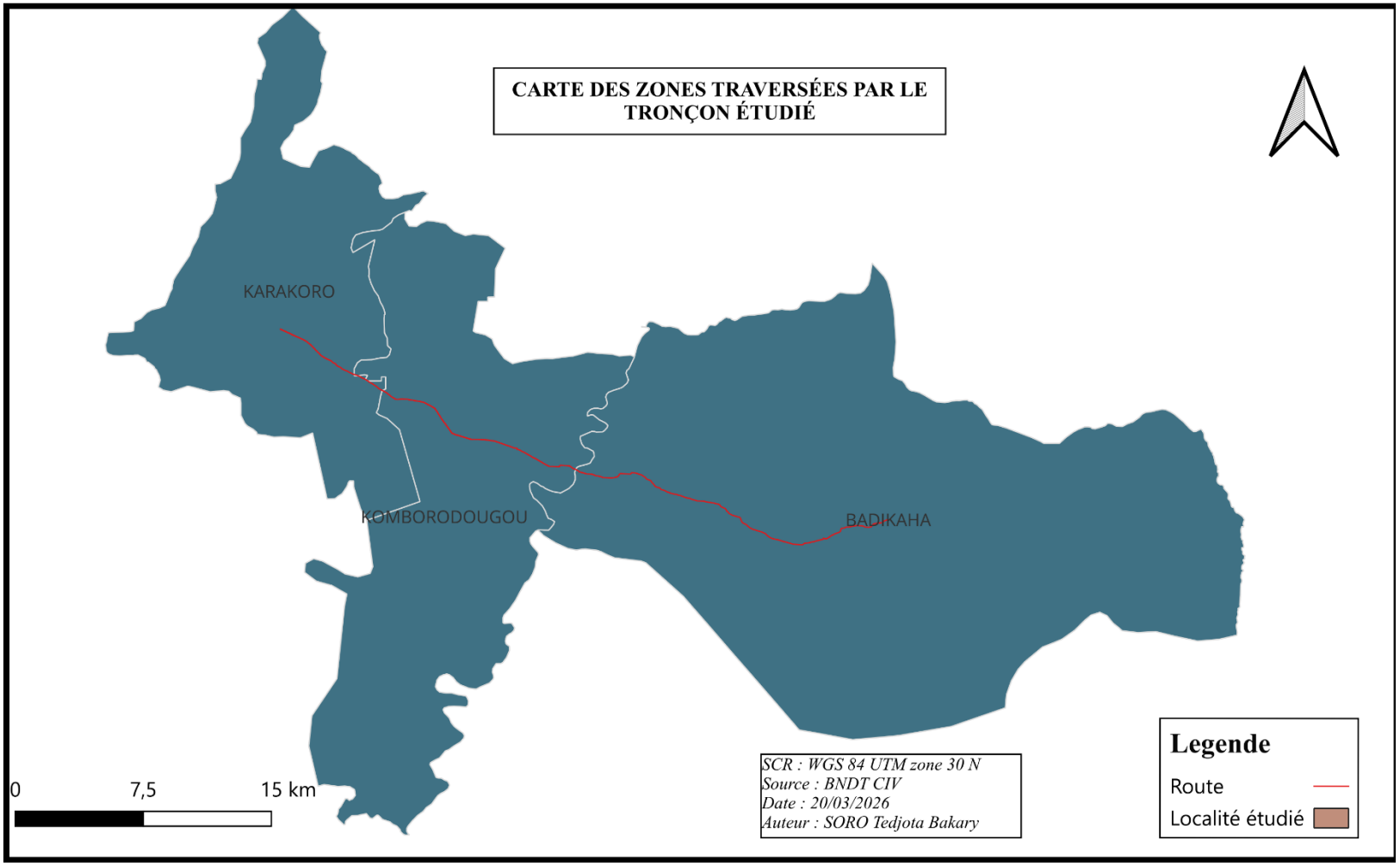


Figure I-III : Carte de situation du tronçon et des zones concernées

I.6.2 Contexte et justification du projet

L'aménagement de la route Karakoro-Komborodougou-Kouroukouna, reliée à la route nationale A3, est un projet essentiel pour désenclaver cette zone à fort potentiel agricole et industriel. Cet axe assure notamment la liaison avec les installations de la SUCAF, dont les activités sont cruciales pour l'économie locale. Son état actuel freine les échanges et complique le transport des marchandises, particulièrement en saison des pluies. Sa modernisation permettre d'améliorer la circulation des personnes et des biens, de sécuriser le trafic des poids lourds et de faciliter l'accès des populations aux services de base. Sur le plan économique, ce projet favorisera l'évacuation de la production sucrière, renforcera la compétitivité des entreprises locales et générera de nouvelles opportunités d'emploi.

a. Diagnostic et état des lieux

L'analyse technique du tronçon révèle une piste en terre fortement dégradée, fragilisée par un assainissement défaillant. Le diagnostic met en évidence des écoulements transversaux mal gérés, aggravés par des ouvrages hydrauliques obstrués ou sous-dimensionnés, favorisant une érosion active et l'apparition de pathologies sévères : nids-de-poule, ravinements et bourbiers, rendant la circulation périlleuse en saison des pluies. Ces dégradations sont accentuées par le trafic lourd lié aux activités de la SUCAF. Le tracé de 10 km traverse un environnement socio-économique actif composé de villages, de zones d'emprunt, d'établissements scolaires, de centres scolaires, de centres de santé et de points de commerce, dont l'accessibilité est aujourd'hui compromise. L'aménagement projet vise ainsi à corriger ces défauts structurels afin de garantir la durabilité des échanges dans la région du Poro.



Figure I-IV : État des lieux de la route en terre

b. Activité économique

La région du PORO occupe une position de carrefour stratégique, servant de point de passage privilégié vers les pays de l'hinterland comme le Mali et le Burkina Faso. Son économie, dynamique et diversifiée, repose majoritairement sur un secteur agropastoral vigoureux qui représente près de la moitié des activités régionales. Grâce à un climat favorable, la zone se distingue par une production variée incluant les cultures de rente comme le coton et l'anacarde, ainsi que des filières porteuses telles que la mangue, le karité et l'élevage de bovins. Au-delà de l'agriculture, la région tire sa prospérité de l'exploitation minière, notamment l'or et le manganèse, ainsi que d'un secteur industriel et commercial en pleine expansion. Cette vitalité économique permet au Poro de contribuer activement aux objectifs de croissance du Plan National de Développement (PND).

I.6.3 Climat et pluviométrie

Le cadre naturel du projet s'inscrit dans un système climatique de type soudano-sahélien, caractérisé par une alternance entre une saison sèche marquée et une saison des pluies dont l'intensité culmine généralement au mois d'août. Avec une pluviométrie annuelle oscillant entre 860 et 1600 mm et une température moyenne de 26,6ºC, la région subit toutefois les effets de la variabilité climatique. Ces changements environnementaux, perceptibles à travers les fluctuations des précipitations et de la température, influencent directement les cycles culturaux et imposent des contraintes spécifiques à la durabilité des infrastructures routières, qui doivent être conçues pour résister à ces aléas météorologiques.

I.6.4 Hydrographie et hydrologie

L'eau constitue un élément structurant du paysage régional, reliant les ressources naturelles aux infrastructures de développement. La gestion des risques hydrologiques est donc un impératif pour la protection des personnes et la pérennité des investissements routiers. Le réseau hydrographique national, auquel se rattache la zone d'étude, est organisé autour de grands bassins versants. Il comprend :

- Quatre (04) bassins principaux : le Cavally, le Sassandra, le Bandama et le Comoé.
- Sept (07) petits fleuves côtiers : le Tabou, le San Pedro, le Niouniourou, le Boubo, l'Agneby, la Mé et le Bia.
- Trois (03) affluents du Niger : le Baoulé, la Bagoué et la Volta Noire.

A l'exception du Bandama, seul grand fleuve dont le bassin est entièrement situé en Côte d'ivoire du nord au sud, et de trois (03) bassins côtiers, les bassins sont tous partagés avec les pays voisins (cf : carte hydrographie de la figure I-IV)

Pour ce projet, la compréhension de la dynamique de ces cours d'eau est essentielle afin de garantir un assainissement efficace, capable d'assurer le drainage des eaux de ruissellement et de prévenir toute rupture de trafic sur le tronçon aménagé.

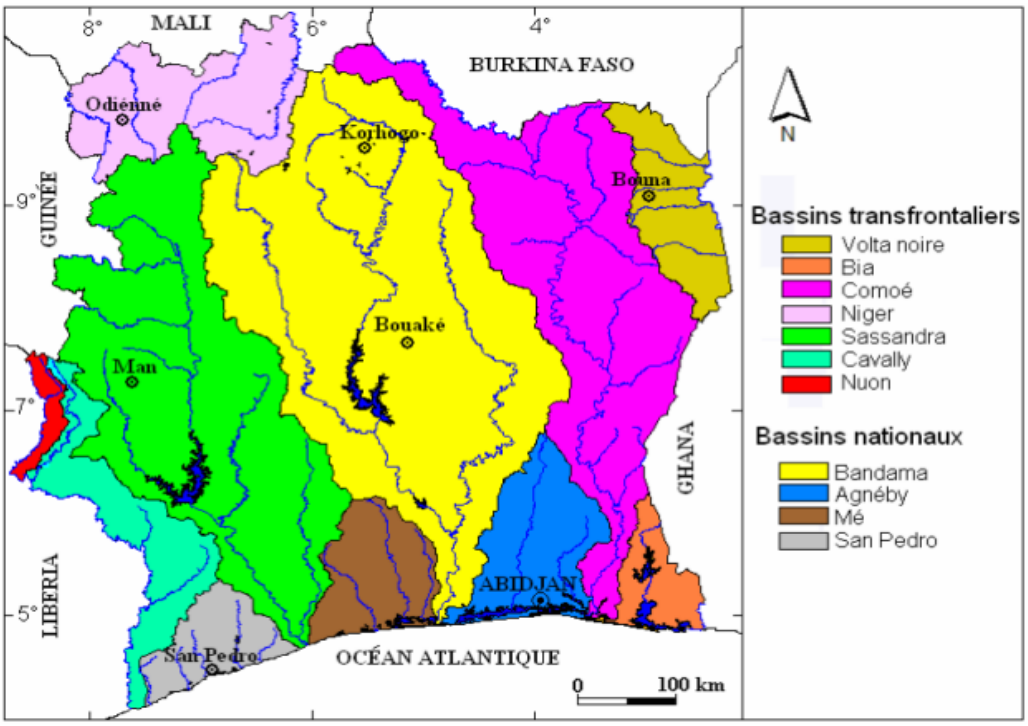


Figure I-V : Réseau hydraulique de la Cote d'Ivoire (Projection WGS 84 zone 29N & 30N)

I.6.5 Relief et végétation

Le relief est principalement composé de plateaux et de collines aux altitudes modérées, généralement inferieures à 500 mètres, avec quelques rares reliefs montagneux comme le mont Korhogo.

La végétation, quant à elle, est de type savane arborée ouest-soudanienne, caractérisée par des espèces végétales dont la hauteur varie entre 8 et 12 mètres et une couverture relativement claire, estimée entre 25 et 35% de densité.

I.6.6 Géologie et sols

- **Géologie** : Le contexte géologique de la zone d'étude s'inscrit dans l'ensemble biophysique dominant de la Côte d'Ivoire, où environ 97% du territoire est constitué par le socle précambrien. Dans la région du Poro, ce socle est quasi intégralement recouvert d'altérites ou d'alluvions localisées dans les lits majeurs des cours d'eau, contrastant avec les zones de bassins sédimentaires restreintes au littoral. Cette configuration géologique stable est un atout pour l'implantation d'infrastructures routières, bien qu'elle nécessite une analyse précise des couches d'altération pour le terrassement.
- **Sols** : Les profils d'altération présentent des sols fertiles, moteurs de l'activité agricole régionale, reposant sur un sous-sol particulièrement riche en ressources minérales. La région recèle des gisements stratégiques, notamment d'or et de manganèse, dont l'exploitation intensive génère un trafic de véhicules lourds sollicitant fortement la structure de la chaussée. La compréhension de ces caractéristiques de sol est donc doublement cruciale : elle permet d'une part d'identifier les zones d'emprunt pour les matériaux de construction et, d'autre part, d'anticiper le comportement mécanique de la plateforme face aux charges roulantes et aux conditions climatiques locales.

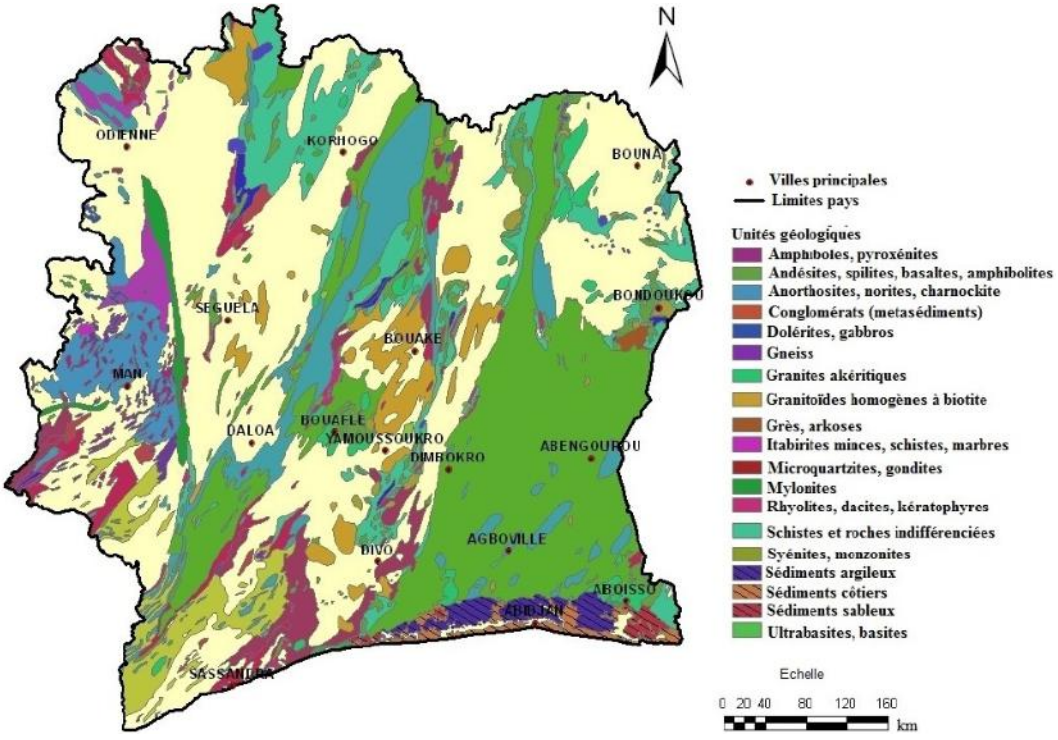


Figure I-VI : Carte géologique simplifiée de la Côte d'Ivoire à l'échelle 1/4 000 00

I.7 Présentation de la section d'étude

C'est avec enthousiasme que je partage les contours de ce projet d'envergure. Le tronçon étudié s'élance depuis le village de Karakoro, en s'articulant avec la route nationale A3, pour rejoindre Kouroukouna via Komborodougou ainsi que plusieurs villages de la région du PORO dont Pangarikaha, Nakaha, Lagbokaha, Komborodougou, Ferké 2 et Pangalakaha.

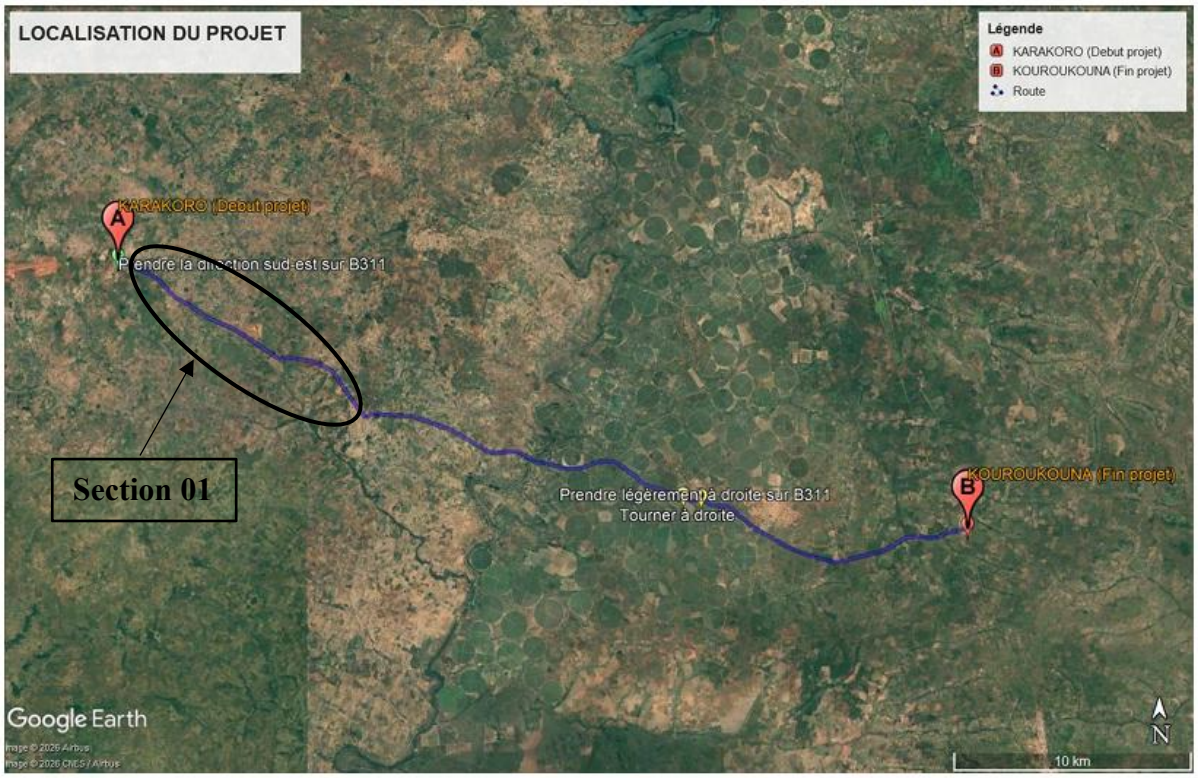


Figure I-VII : Plan de repérage de l'emprise du projet (Source : Google Earth Pro)

I.8 Logiciels d'analyse et de conception



Figure I-VIII : Matériels et logiciels utilisés pour les études et la rédaction du mémoire

Conclusion partielle

Ce chapitre aborde une étape fondamentale dans le processus de développement d'un projet routier, notamment les études nécessaires à sa concrétisation. Ces études couvrent plusieurs dimensions essentielles : le génie civil, les aspects économiques, environnementaux ainsi que les considérations techniques. Il convient également d'assurer une articulation cohérente entre les différentes étapes, les données collectées et les résultats issus de l'analyse du projet routier. Une attention particulière sera portée à l'étude de conception et de dimensionnement de la voie d'accès aux ouvrages de franchissement.

Chapitre II : **Conception géométrique de la route et dimensionnement de la chaussée**

Introduction

Ce chapitre traite de la réalisation des études techniques de conception et de calcul structurel en conformité avec les standards actuels de construction routière. L'objectif principal est de concevoir une infrastructure garantissant la sécurité et le confort de circulation. La démarche s'articule autour de trois axes majeurs : la planification technique (définition des caractéristiques géométriques et cinématiques), l'évaluation géotechnique du terrain naturel et le dimensionnement optimal de la chaussée. Les paramètres de conception retenus pour cette étude sont les suivants :

- Les paramètres cinématiques
- Les paramètres géométriques
  - ✓ Du tracé en plan
  - ✓ Du profil en long

II.1 Caractéristiques de base de la conception routière

II.1.1 Paramètres cinématiques

La réussite d'un projet d'infrastructure routière repose avant tout sur l'établissement de bases de conception solides. À ce titre, l'analyse de la dynamique des véhicules en situation réelle de conduite est indispensable pour définir les aménagements nécessaires à la sécurité des usagers et à la prévention des risques d'accidents.

Tableau II-1 : Paramètres cinématiques de la route Karakoro – Komborodougou

Désignation		Agglomération	Rase campagne
Vitesse de référence V_r (km/h)		**60**	**80**
Longueur de freinage (d_o)		35 m	60 m
Distance d'arrêt (d_a)	En alignement droit	70 m	105 m
	En courbe	80 m	120 m
Distance de visibilité de dépassement (d_{vd})	Minimale	250 m	325 m
	Normale	450 m	500 m
Distance de manœuvre de dépassement (d_{md})		120 m	200 m
Distance de sécurité entre deux véhicules (e)		17 m	29 m

II.1.2 Paramètres géométriques

Le tracé routier doit répondre aux impératifs de visibilité de l'usager tout en respectant les contraintes économiques du projet. Le profil en travers constitue le document de référence détaillant la géométrie transversale et la structure de la chaussée (voies, accotements, pentes, couches de roulement et drainage). Selon la morphologie du terrain et le contexte local, différents profils types ont été déclinés tout au long de l'itinéraire. Les informations y référents sont mentionnés dans *le Tableau II-2 et le Tableau II-3*.

Tableau II-2 : Paramètres géométriques du tracé en plan de la route Karakoro – Komborodougou

	Longueur (km)	**Pourcentage (%)**	**(%) selon la norme ARP**
Alignement droit (AD)	10,005	52,17	≥ 50%
Courbes (CO)	8,163	47,83	AD > CO
Total	18,168	100	100 %
Rayon minimal absolu non déversé RHm	Agglomération		120 m
	Rase campagne		240 m
Rayon minimal normal déversé à 5% RHN	Agglomération		240 m
	Rase campagne		425 m
Rayon au devers minimal 2,5% RH''	Agglomération		450 m
	Rase campagne		650 m
Rayon au devers RH'	Agglomération		600 m
	Rase campagne		900 m

Tableau II-3 : Paramètres géométriques du profil en long de la route Karakoro – Komborodougou

Profil en long			
Déclivité maximale en rampe π	Agglomération		7%
	Rase campagne		6%
Rayon en angle saillant RV	Agglomération	Chaussée unidirectionnelle	Minimal absolu = 1 500 m
			Minimal normal = 3 000 m
		Chaussée bidirectionnelle	Minimal absolu = 1 600 m
			Minimal normal = 4 500 m
	Rase campagne	Minimal absolu	4 500 m
		Minimal normal	10 000 m
Rayon en angle entrant RV'	Agglomération	Minimal absolu	1 500 m
		Minimal normal	2 200 m
	Rase campagne	Minimal absolu	2 200 m
		Minimal normal	2 200 m
Rayon assurant une bonne distance de visibilité RVD	Agglomération		6 500 m
	Rase campagne		11 000 m

II.1.2.1 Normes d'aménagement des routes

Le cadre règlementaire de cette étude s'appuie sur les référentiels techniques en vigueur pour la conception d'infrastructures routières. Les principes fondamentaux de dimensionnement et d'aménagement sont issus des guides et instructions suivants :

- ICTAVRU : Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines ;
- ICTAAL : Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison (souvent associée à l'ICTAVRU) ;
- ARP : Aménagement des Routes Principales ;
- Le Guide d'Aménagement des Carrefours Urbains (CERTU)

Toutefois, les contraintes topographiques du terrain naturel imposent parfois des dérogations aux prescriptions de ces manuels. Dans ces situations spécifiques, des règles d'adaptation sont appliquées afin de garantir la cohérence du tracé tout en maintenant un niveau de sécurité optimal.

II.1.2.2 Caractéristiques du tracé en plan

La conception du tracé en plan repose sur une succession de segments rectilignes et d'arcs de cercle, dont les caractéristiques respectent les seuils fixés par la norme B40. Le document graphique présente l'axe du projet en projection plane, intégrant le repérage précis de chaque profil en travers. L'échelle de restitution adoptée varie du 1/100eme au 1/500eme selon le niveau de détail requis. Le *tableau II-2* détaille les spécificités techniques de cet aménagement.

II.1.2.3 Caractéristiques du profil en long

La modélisation de la ligne rouge, ou profil en long, s'articule autour d'une alternance de segments inclinés et de courbes de raccordement. Ce document est un indicateur clé pour l'estimation des mouvements de terre, car il confronte les altitudes du projet à la topographie réelle du site.

Dans une perspective de durabilité et d'exploitation, le calage altimétrique s'efforce de minimiser les sections en déblais important, souvent sources de complications pour le drainage des eaux pluviales. Parallèlement, le dimensionnement des rampes et des pentes fait l'objet d'une attention particulière : l'objectif est de limiter l'usure des systèmes de freinage en descente et de maintenir la fluidité du trafic en montée.

Les données synthétiques relatives à cette géométrique verticale sont regroupées dans le *Tableau II-3*. Pour une analyse détaillée incluant l'implantation des ouvrages de franchissement et les bilans de cubatures, il convient de se référer au tracé combiné présenté en *Annexe 1 à la page VIII.*

II.1.2.4 Caractéristiques du profil en travers type

Les profils en travers types constituent des coupes transversales perpendiculaires à l'axe longitudinal du projet. Ils servent de base fondamentale pour la délimitation de plusieurs données d'exécution, notamment :

- Le repérage des lignes d'entrées en terre marquant la limite des terrassements ;
- La définition de l'assiette et de l'emprise totale de l'infrastructure sur le terrain naturel ;
- Le calcul des cubatures, permettra de qualifier précisément les volumes de déblais et de remblais.

On distingue généralement trois configurations selon l'altimétrie du projet par rapport au sol existant :

- Le profil en remblai (projet au-dessus du sol) ;
- Le profil en déblai (projet en creux) ;
- Le profil mixte (combinant les deux situations sur une même section)

Le projet, d'une longueur totale de 39,070 km, adopte des standards de conception différenciés dont la catégorie R60 pour les sections urbaines et R80 pour les zones en rase campagne. Notre projet d'étude qui est axé sur l'axe Karakoro – Komborodougou avec un kilométrage de 13,290 km. L'analyse cartographique effectuée via Google Earth a permis de segmenter l'itinéraire en deux entités homogènes : une section initiale en agglomération s'étendant sur 5,190 km, suivie d'un tronçon de rase campagne de 8,100 km.

Tableau II-4 : Caractéristiques des chaussées du projet selon le TDR

	R60	R80
Route régionale	1×2 voies	1×2 voies
Largeur de la plateforme	11,40 m	10,40 m
Largeur de la chaussée	7,4 m (soit 3,7 m par voie)	7,4 m (soit 3,7 m par voie)
Accotement	2 m de part et d'autre	1,5 m de part et d'autre
Vitesse de référence	60 km/h	80 km/h
Durée de vie	15 ans	15 ans
Trafic	Trafic moyen (1 chaussée)	Trafic moyen
	Fort trafic (2 chaussées)	

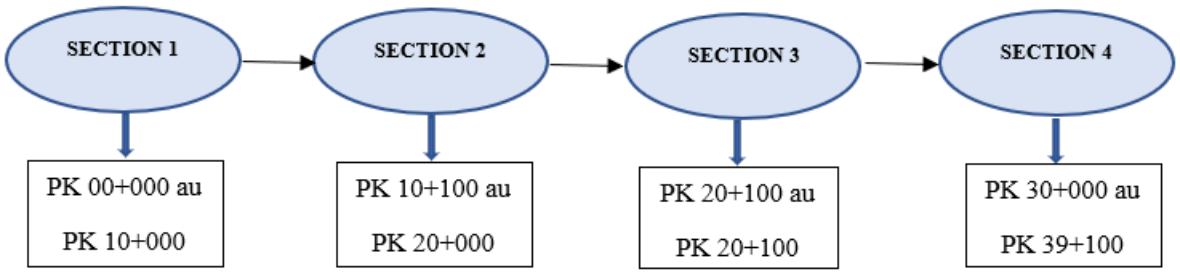


Figure II-I : Découpage du projet en sections

II.2 Géotechnique routière

L'objectif de cette campagne était double : d'une part, la reconnaissance de la nature des sols supports dans l'emprise du projet, et d'autre part, recenser les ressources en matériaux disponibles à proximité. Cette étape est cruciale pour évaluer la possibilité de réutiliser ces matériaux dans la construction de la chaussée, depuis la mise en remblai jusqu'à la couche de base. Des investigations ont été menées de manière progressive et systématique, afin de couvrir l'ensemble de la zone d'étude de façon exhaustive et cohérente.

II.2.1 Classification ivoirienne des sols régional

Le cadre géologique du site d'étude est défini par la classification historique du Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics (LBTP), dès 1977, le territoire national a été segmenté en sept entités géotechniques distinctes, numérotées de R1 à R7. Compte tenu de sa situation géographique dans le Grand Nord ivoirien, à environ 12 km de Korhogo, l'emprise du projet se rattache à la région R5. La configuration géologique ainsi que la cartographie de ces différentes zones de répartition sont détaillées respectivement dans *le Tableau II-5 et la Figure 12 (Annexe 2)*.

II.2.2 Diagnostic géotechnique

La stratégie de reconnaissance a reposé sur l'exécution de fouilles à ciel ouvert, pratiquées manuellement selon un maillage régulier de 200 mètres. Les échantillons prélevés ont été acheminés au laboratoire de la base technique pour y être soumis à une série d'essais d'identification. L'ensemble de ces essais, ainsi que les normes de référence utilisées, sont détaillés dans le *Tableau 8 de l'annexe 2.*

II.2.3 Caractérisation de la plateforme support de chaussée

Le choix final de la structure ne peut être arrêté qu'une fois les terrassements achevés, moment où la nature réelle des matériaux et leurs conditions de compactage sont confirmées. Sur la base des essais d'identification et de portance, la plateforme a été catégorisée selon les standards du Centre Expérimental et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP) comme suit :

Tableau II-5 : Classification géotechnique des sols selon le CEBTP

Classe de sol	CBR	Portance
Essieu équivalent de 13 tonnes		
S1	< CBR < 5	Très faible
S2	5 < CBR < 10	Faible
S3	10 < CBR < 15	Moyenne
S4	15 < CBR < 30	Bonne
S5	CBR > 30	Très bonne

Source : Centre Expérimental et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP_1984)

Les investigations géotechniques ont été réalisées en plusieurs points répartis le long du tracé, mettant en évidence une variabilité des valeurs de portance (CBR) selon les zones investiguées. Dans le cadre du présent mémoire, une valeur moyenne représentative a été retenue afin d'uniformiser le dimensionnement de la chaussée sur l'ensemble du tronçon étudié. Toutefois, dans le cadre d'une étude d'exécution, le dimensionnement devrait être réalisé tronçon par tronçon, en tenant compte des résultats spécifiques des sondages effectués sur chaque section.

II.3 Etude du trafic

Dans le cadre d'affiner la conception structurelle, une étude de trafic a été menée en tenant compte de la dynamique socio-économique du secteur. Cette démarche a permis d'actualiser la matrice de flux (en termes de débit global et de silhouette des véhicules) pour extraire les paramètres de charge nécessaires au calcul de la structure.

II.3.1 Méthodologie de l'étude du trafic

La conduite de cette étude s'est articulée autour d'un processus séquentiel en trois volets :

- L'étape préliminaire : consacrée à la planification logistique et au cadrage de l'enquête ;
- L'étape opérationnelle : dédiée à la collecte effective des données de trafic sur le site ;
- L'étape de traitement : visant à analyser et interpréter les informations brutes pour en extraire les indicateurs de dimensionnement.

II.3.2 Station de comptage

Les points de collecte de données sont placés à des endroits stratégiques pour compter le nombre de véhicules qui passent chaque jour. Elles permettent de connaitre précisément la part des camions lourds par rapport aux voitures légères. Ces informations sont essentielles pour calculer la solidité de la route et choisir les bons matériaux. Grâce à ces mesures, on assure que la chaussée ne se déformera pas sous le poids du trafic au fil des années.

- Poste 1 : Karakoro - Pangarikaha
- Poste 2 : Pangaladougou - Kouroukouna

II.3.3 Collecte et analyse des données

Tableau II-6 : Données d'entrées des calculs de dimensionnement de la chaussée

Données d'entrées	Valeurs
Essieu de référence (*t*)	13
Durée de service (*n*)	20
Taux d'accroissement annuel du trafic (*i*)	5%
Année de comptage	2024
Année de mise en service	2028
Coefficient d'agressivité moyen (*CAM*)	1
Trafic moyen journalier (*TMJA*)	450 (dans les 2 sens)
Coefficient de répartition transversale (*CRT*)	0.75

II.3.4 Résultats de l'étude du trafic

Grâce aux informations collectées, nous avons pu définir les paramètres de circulation indispensables pour classer le trafic sur ce tronçon. Vous trouverez le détail de ces résultats ci-dessous :

Tableau II-7 : Résultat de l'étude du trafic

Description	Formule	Résultat
Trafic moyen journalier de l'année	$T_n = TMJA \times CRT$	337.5 PL/J
Facteur du cumul	$C = \frac{(1+i)^{n-1}}{i}$	50.539
Trafic cumulée en poids lourds pendant la durée de vie de l'infrastructure	$NPL = 365 \times T_n \times C$	6225773.06 PL
Trafic en nombre d'essieux standards équivalents	$NE = NPL \times CAM$	6225773.06 PL

II.3.5 Classification du trafic

L'analyse des données cumulées fait ressortir une sollicitation totale de l'infrastructure s'élevant à environ $\mathbf{6,225 \times 10^6}$ **PL** essieux équivalents. Cette valeur, obtenue après calcul et arrondi, permet de classer l'axe du projet dans une catégorie de trafic supérieure correspondant à la classe **T4** compris entre 4×10^6 et 10^7. Ce positionnement est conforme aux seuils de classification définis par la méthode empirique utilisée pour cette étude.

II.4 Dimensionnement de la structure de chaussée

Concevoir une structure de chaussée consiste à définir le nombre de couches, leur nature et leur épaisseur. Cette structure doit être capable de supporter les charges dues au trafic prévu, tout en garantissant la durabilité de la route sur la période de dimensionnement retenue.

II.4.1 Méthode et démarche de dimensionnement de la structure de chaussée

Afin de faire face aux sollicitations verticales induites par un trafic dense, le référentiel de conception des structures routières propose des solutions éprouvées sur des sections de test. Ces typologies incluent :

- Les chaussées souples
- Les chaussées bitumineuses épaisses
- Les chaussées semi-rigides
- Les chaussées mixtes
- Les chaussées inverses ou en béton

Bien que trois approches méthodologiques coexistent pour leur structure de calcul structurel (empirique, semi-empirique et rationnelle), notre protocole privilégie une démarche combinée. Nous utilisons initialement le catalogue du CEBTP pour esquisser les premières variantes. Celles-ci sont ensuite soumises à une modification numérique sur Alizé LCPC afin de confirmer leur tenue structurelle et de sélectionner la solution la plus pérenne. La démarche de dimensionnement est donnée par la *Figure 21 de l'Annexe 4.*

II.4.2 Choix de la variante de la couche de chaussée

L'approche retenue privilégie l'utilisation des matériaux disponibles à proximité immédiate du chantier afin d'optimiser la logistique. En fonction de l'agressivité du trafic et de la capacité portante du sol support, nous avons consultée les documents de référence, on peut citer :

- Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux (CEBTP) ;
- Catalogue 1977 des structures types de chaussées neuves ;
- Catalogue ivoirien du laboratoire du bâtiment et des travaux publics.

La mise en œuvre des différentes strates (roulement, base et fondation) respectera l'ordre de superposition et les épaisseurs finales consignes dans *Tableau II-8.*

Tableau II-8 : Proposition des variantes de la structure de chaussée

Région	Classe de portance du TN	Classe du trafic	Variantes de la structure de chaussée			Sources
			Roulement	Base	Fondation	
R5	S4	T4	BB (3 cm)	GLC (18 cm)	GLn (20 cm)	Projet selon le TDR
			BB (7 cm)	GLC (20 cm)	GLn (20 cm)	Fiche 2 du LBTP et le CEBTP Page 42
			BB (7 cm)	TVC (20 cm)	GLn (20 cm)	Fiche 3 du LBTP

II.4.3 Vérification du dimensionnement selon le guide LCPC-Sétra

La méthode préconisée par le LCPC-Sétra repose sur un modèle mécanique corrèle à des données expérimentales. En exploitant les résultats d'essais de fatigue, elle définit les limites admissibles de sollicitations internes au sein du corps de chaussée, garantissant ainsi une conception adaptée aux performances réelles des matériaux.

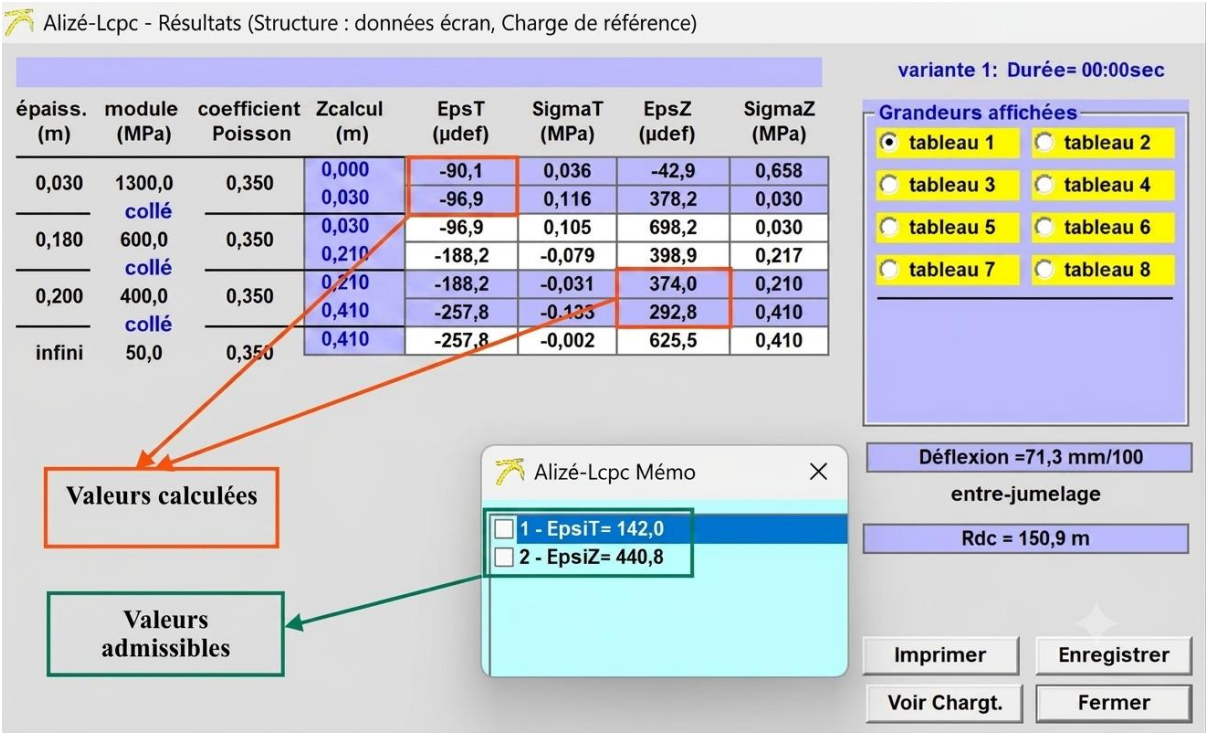
- Matériaux bitumineux : $\varepsilon_{t_{adm}} = \varepsilon_6 . \left(\frac{T_N}{10^6}\right) . k_r . k_c . k_s$
- Matériaux traités aux liants hydrauliques : $\sigma_{t_{adm}} = \sigma_6 . \left(\frac{T_N}{10^6}\right) . k_r . k_c . k_s . k_d$
- Matériaux traités aux liants hydrauliques : $\sigma_{t_{adm}} = \sigma_6 . \left(\frac{T_N}{10^6}\right) . k_r . k_c . ks$
- Matériaux granulaires non liés : $\varepsilon_{z_{adm}} = A . (T_N)^{-0,222}$

Avec :

- $\varepsilon_{t_{adm}}$: Allongement admissible à la base des couches bitumineuses ;
- $\sigma_{t_{adm}}$: Contrainte de traction admissible à la base des couches traités aux liants hydrauliques ;
- $\varepsilon_{z_{adm}}$: déformation verticale admissible à la surface du sol support ;
- $\varepsilon_6 \; et \; \sigma_6$: Contrainte et déformation correspondantes à 10^6 cycles de charge provoquant la rupture ;
- $\sqrt{\frac{E(10℃)}{E(10℃}}$: correction de la loi de fatigue à la température moyenne environnante ;
- b : pente de la droite de fatigue en coordonnées bi-logarithmiques ;
- k_r : coefficient tenant compte du risque de calcul ;
- k_c : coefficient de calage destiné à ajuster les résultats du modèle de calcul au comportement observé de chaussées de même type ;
- k_s : coefficient minorant tenant compte l'effet d'hétérogénéités locales de portance d'une couche de faible rigidité supportant les couches liées ;
- k_d : coefficient minorant tenant compte l'effet des discontinuités pour la couche de base ;
- A : paramètre pris égal à 0,012 pour les chaussées à moyen et fort trafic et à 0,016 pour un trafic faible.
- T_N : nombre d'essieu équivalent de référence de 130 kN

II.4.4 Vérification du dimensionnement avec le logiciel ALIZE LCPC

Afin de justifier techniquement la structure retenue, une vérification par la méthode rationnelle est effectuée sur le logiciel ALIZE LCPC. L'objectif est de simuler le comportement mécanique de la chaussée sous l'effet de la charge de référence. Le projeteur renseigne les paramètres fondamentaux (nombre de couches, modules de Young, interfaces collées) déroulant des recommandations du CEBTP. Le logiciel permet alors de confronter les déformations réelles calculées aux valeurs maximales que peuvent supporter les matériaux. Cette étape finale valide la capacité de l'infrastructure à durer sans dégradations prématurées.



épaiss. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,030	1300,0	0,350	0,000	-90,1	0,036	-42,9	0,658
	collé		0,030	-96,9	0,116	378,2	0,030
0,180	600,0	0,350	0,030	-96,9	0,105	698,2	0,030
	collé		0,210	-188,2	-0,079	398,9	0,217
0,200	400,0	0,350	0,210	-188,2	-0,031	374,0	0,210
	collé		0,410	-257,8	-0,133	292,8	0,410
infini	50,0	0,350	0,410	-257,8	-0,002	625,5	0,410

Figure II-II : Vérification des contraintes et déformations au niveau des interfaces de la structure de chaussée

Tableau II-9 : Bilan des sollicitations mécaniques (contraintes et déformations) induites par le trafic sur les assises de chaussée

Paramètres de calcul des contraintes et déformations admissibles des couches liées et non liées				
Types de matériaux	Béton bitumineux (BB)	Graveleux latéritique stabilisé à 3 % de ciment (GLC)	Tout venant de concassage (TVC)	Graveleux latéritique naturel (GLn)
Module E à 38°C et 10Hz (MPa)	1060	800	400	300
Module E à 38°C et 10Hz (MPa)	7200	1300	-	-
Coefficient de poisson	0,35	0,25	0,35	0,35
Pente -1b	5	15	-	-
Ecart type SN	0,25	1	-	-
Ecart type Sh	0,01	0,025	-	-
Coefficient de calage k_c	1,1	1,4	-	-
Coefficient de risque k_c	0,815	0,743	-	-
Coefficient de plate-forme k_c	$\frac{1}{1,1}$		-	-
Coefficient de discontinuité k_c	-	1	-	-
ε_6	100	-	-	-
σ_6 (MPa)	-	0,75	-	-
Coefficient de roulement $\varepsilon_{t_{adm}}$			142,0	
Couche de base $\sigma_{t_{adm}}$			0,665	
Couche de fondation $\varepsilon_{z_{adm}}$			440,8	

Variantes	**Structures**	**Valeur calculées**	**Vérification**
Variante 1 : BB (3 cm) +GLC (18 cm) + GLn (20 cm)	Couche de roulement	-90,1	Vérifié
		-96,9	
	Couche de base	0,106	Vérifié
		-0,079	
	Couche de fondation	374,0	Vérifié
		292,8	
Variante 2 : BB (7cm) +GLC (20cm) + GLn (20cm)	Couche de roulement	-41,7	Vérifié
		-53,8	
	Couche de base	0,084	Vérifié
		-0,154	
	Couche de fondation	415,4	Vérifié
		285,7	
Variante 3 : BB (7cm) + TVC (20cm) + GLn (20cm)	Couche de roulement	-104,2	Vérifié
		-133,7	
	Couche de base	0,081	Vérifié
		-0,111	
	Couche de fondation	456,9	Non Vérifié
		306,3	

Le choix de la variante 01 se justifie par la possibilité d'exploiter des matériaux locaux disponibles en Côte d'Ivoire, ce qui contribue à réduire le coût du projet.

Entre les différentes structures envisagées pour une durée de vie de 15 ans, la variante BB (3cm) + GLC (18cm) + GLn (20cm) s'impose par sa viabilité économique. Elle permet une économie de liant bitumineux tout en valorisant les emprunts de graveleux naturel situés pas loin de projet. Bien que la mise en œuvre d'une assise en tout-venant de concassage (TVC) soit techniquement envisageable grâce aux ressources granitiques de la région, la distance de transport depuis la carrière Soukpa Bitume Afrique (SBA) à (15 km) rend cette solution moins compétitive que l'usage des matériaux disponibles.

II.5 Dispositifs de signalisation routière

La signalisation a pour mission d'informer les automobilistes des contraintes règlementaires et des directives complétant les règles de base du code de la route. Son rôle est double : optimiser la fluidité du trafic et minimiser les risques de collisions. Une signalisation pertinente doit être équilibrée ; une carence, un excès ou une mauvaise configuration des panneaux peuvent générer de la confusion et accroitre l'insécurité. Afin de garantir une perception optimale de l'environnement routier, les interventions se concentrent sur la mise aux normes des marquages au sol (horizontaux) et des équipements aériens(verticaux), conformément aux directives détaillées dans les sections suivantes. Des exemples de schémas types sont consultables en *Annexe 5.*

II.5.1 Signalisation verticale

Ce volet concerne l'ensemble des panneaux installés sur les accotements. Leur fonction est d'orienter l'usager via des messages visuels explicites, garantissant ainsi une conduite sécurisée et un meilleur confort de circulation.

II.5.2 Typologie des panneaux retenus

Pour la réalisation de ce projet, deux catégories principales de supports ont été sélectionnées :

- Les panneaux de prescription et d'obligation : De géométrie triangulaire ou circulaire, ils encadrent les limitations de vitesse et signalent les zones de danger ou les courbures de la chaussée ;

- Les panneaux d'indication et de localisation : De forme rectangulaires, ils servent à identifier les limites géographiques des zones urbaines au niveau des entrées et sorties d'agglomérations.

II.5.3 Zones de positionnement des panneaux

L'emplacement de chaque panneau résulte d'une étude technique rigoureuse s'appuyant sur les paramètres suivants :

- Repérage géographique : Identification systématique des débuts et fins de traversée de chaque localité.
- Gestion de la vitesse : Mise en place de limitations adaptées aux vitesses de référence de chaque section, avec des rappels réguliers pour assurer la conformité des usagers.
- Sécurisation des points critiques : Signalisation spécifique des zones à géométrie complexe, telles que les fortes pentes, les virages à faible rayon ou les enchaînements de courbures.
- Orientation aux intersections : Installation de panneaux directionnels aux carrefours pour désigner les axes de transit majeurs.

En ce qui concerne les règles de mise en œuvre, les signaux sont orientés perpendiculairement au flux de circulation pour une visibilité optimale par l'usager cible. Afin d'éliminer les phénomènes d'éblouissement et les reflets gênants lors de la conduite de nuit, la face du panneau présente une légère inclinaison vers l'extérieur de la plateforme routière. Les supports de panneaux sont placés à 1m du sol au bord de la route.

Tableau II-10 : Panneaux projetés

Nom du panneau	A13b	C20a	A2b	C27	AB4	A17	AB25	B21-d1	B14
Figures									

II.5.4 Signalisation horizontale

Tout comme les dispositifs verticaux, le marquage au sol guide l'usager en structurant l'espace routier. Sa fonction principale est de délimiter les voies de circulation, les zones de stationnement et les bandes d'urgence. Ces tracés, continus ou discontinus selon la modulation retenue, se répartissent comme suit :

- Les lignes continues infranchissables et utilisées dans les zones de visibilités, notamment dans les virages et les zones à fortes rampes ;
- Les lignes discontinues de délimitation des voies, utilisées pour la séparation des voies ;
- Les lignes d'avertissement : Annoncent l'approche d'une ligne continue pour anticiper le rabattement.

Les spécificités techniques de ces tracés (largeurs et types de modulations) sont détaillées dans le *Tableau II-11*.

Tableau II-11: Caractéristiques des lignes

N°	Désignation	Dénomination	Longueur des lignes (m)	Espacement entre les lignes (m)	Largeur des lignes (cm)
1	Ligne discontinue de largeur 2u	T1	3	10	12
2	Ligne discontinue de largeur 3u	T2	3	3,5	18
3	Ligne discontinue de largeur 2u	T3	3	1,33	12
4	Ligne discontinue de largeur 3u	T4	3	1,33	18
5	Ligne discontinue de largeur 3u	T5	20	6	18
6	Ligne continue de largeur 2u	T6	Continue	-	12

L'épaisseur « u » est déterminée par la catégorie de l'infrastructure. Pour la présente étude, une valeur de 6 cm a été adoptée, conformément aux spécifications du *Tableau II-12* qui répertorie les épaisseurs de référence selon la typologie des voies.

Tableau II-12 : Valeurs de « u »

Types de route	Valeurs de « u »
Autoroutes	7,5 cm
Routes a chaussées séparées	
Routes à 4 voies de rase campagne	
Routes importantes, notamment routes à grande circulation	6 cm
Autres routes	5 cm
Lignes tracées sur les pistes cyclables	3 cm

Conclusion Partielle

L'étude technique approfondie menée dans ce chapitre a permis de fixer les bases structurelles et géométriques de la liaison routière Karakoro-Komborodougou-Kouroukouna. La conception géométrique, basée sur des vitesses de référence de 60 et 80 km/h, garantit une parfaite adéquation entre la dynamique des véhicules et la sécurité du tracé pour les distances de visibilité et d'arrêt. Parallèlement, le dimensionnement de la chaussée, appuyé par une analyse géotechnique rigoureuse, propose une structure multicouche apte à supporter le trafic lourd sur sa durée de service. Ces éléments constituent le socle technique indispensable aux phases d'évaluation environnementale et financière du projet. Enfin, la définition des équipements de la route parachève l'étude en assurant une lisibilité optimale de l'infrastructure, notamment par un marquage au sol conforme aux standards internationaux avec une valeur u égale à 6 cm.

Chapitre III : **Assainissement de la route**

Introduction

La construction d'une infrastructure routière modifie inévitablement le régime des écoulements naturels. L'eau représentant la principale cause de dégradation prématurée des chaussées, son infiltration peut gravement altérer la portance structurelle, la sécurité et le confort de roulement. Par conséquent, l'analyse des extrêmes hydro-climatiques est cruciale pour la gestion des risques. Afin de garantir la pérennité de l'ouvrage et la protection des usagers, une démarche structurée est adoptée, s'appuyant sur des données hydrologiques, topographiques et hydrauliques. Cette phase permet de caractériser les bassins versants et de modéliser les débits de crue nécessaires au dimensionnement des systèmes d'assainissement longitudinal et transversal.

Les informations exploitées sont classées en trois catégories :

- Données physiques : morphométrie, géologie et occupation du sol des bassins versants ;
- Données documentaires : synthèse des études techniques préexistantes ;
- Données hydrométéorologiques : séries chronologiques de précipitations et de débits.

Une analyse statistique rigoureuse de ces séries est indispensable pour anticiper le comportement hydraulique et assurer la mise hors d'eau de la plateforme via des ouvrages de franchissement adaptés. Ce chapitre détaille ainsi l'étude hydrologique à travers :

- L'évaluation de la pluviométrie locale,
- L'analyse fréquentielle des aléas extrêmes
- L'estimation des débits de pointe.

Enfin , l'étude hydraulique et structurelle définira les caractéristiques optimales des ouvrages pour assurer le libre passage des eaux et la continuité du trafic.

III.1 Etude hydrologique

L'objectif central de cette démarche consiste à estimer les débits de pointe en s'appuyant sur l'historique des précipitations ainsi que sur les propriétés physiques des bassins versants. Les résultats de cette expertise permettre de modéliser les risques de submersion et de dimensionner des ouvrages de franchissement dont les sections hydrauliques garantissent une évacuation optimale des eaux de crue.

III.1.1 La pluviométrie

Le recueil des données pluviométriques couvre quatre localités de la zone d'influence du projet. Ces relevés s'étendent sur deux séquences temporelles précises à savoir la période historique entre 1980 et 2000 puis la période de référence s'étalant de 2001 à 2021. Ces informations utilisées au cours de notre étude ont été mises à notre disposition par la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologie (SODEXAM) provenant de ses archives à travers la Direction de la Météorologie Nationale (DMN). L'intégralité de ses mesures est consignée dans *le Tableau 29 à l'annexe 6 à la page LXII.*

III.1.2 Ajustement de la pluie par l'analyse fréquentielle de l'aléa pluviométrique

Au sein du périmètre d'étude, la distribution des précipitations journalières maximales annuelles suit majoritairement une loi Générale des Valeurs Extrêmes de type I (GEV-I).

La caractérisation des évènements rares repose sur deux indicateurs statistiques :

- Période de retour (T) : $T = \frac{1}{1-q} = \frac{1}{p}$

  Avec q :
  - Probabilité au non dépassement $p = F(x)$;
  - Probabilité au dépassement $q = P(x) = 1 - F(x)$.
- Formule de probabilité empirique ou fréquence empirique au non dépassement :
  - $F[x(r)] = \frac{i-a}{n-2a+1}$ avec a ε [0 ; 0,5]
  - Hazen : a = 0,5

La structuration des données influe directement sur les résultats : une organisation par valeurs décroissantes permet de quantifier les probabilités de dépassement, tandis qu'une hiérarchisation croissante définit les probabilités de non-dépassement. *Le tableau 30 en annexe 6* synthétise ces calculs pour les séries pluviométriques du projet.

❖ **Choix de la période de retour**

La période de retour représente la durée moyenne séparant deux évènements naturels d'intensité similaire ou supérieure. L'analyse fréquentielle de l'échantillon révèle un intervalle de récurrence compris entre 12 et 84 ans. Le choix des fréquences de calcul résulte d'un arbitrage entre l'optimisation des coûts d'investissement et la maîtrise des risques liés aux inondations. Conformément aux prescriptions du Maître d'Ouvrage et aux termes de référence, les niveaux de sécurité retenus sont les suivants :

- Période décennale (10 ans) : pour le dimensionnement des systèmes d'assainissement longitudinaux.
- Période vingtennale (20 ans) : pour la conception des ouvrages de franchissement transversaux.

La cartographie des quantiles (2 ; 5 ; 10 ; 20 ; 50 et 100 ans) permet d'évaluer les intensités pluvieuses exceptionnelles. La figure 25 en annexe 6 illustre les hauteurs d'eau associées aux fréquences décennale et vingtennale retenues.

❖ **Lois de probabilité adéquates pour l'ajustement des séries de pluies maximales annuelles**

Bien que les travaux publiés dans la *Revue de sciences de l'eau «Modélisation statistique des pluies maximales annuelles dans le district d'Abidjan (sud de la Cote d'Ivoire) » Volume 31(2) 147-160,2018* concernant la modélisation des précipitations extrêmes dans le district d'Abidjan soulignent la pertinence de la Loi de Gumbel, une analyse comparative reste indisponible. La littérature scientifique, notamment les travaux de Beirlant et al. (1996), préconise l'usage de cette distribution double exponentielle pour le dimensionnement des infrastructures hydrauliques et des ouvrages d'art. Elle est en effet reconnue comme la forme limite pour l'étude des valeurs maximales au sein d'un échantillon. Dans le cadre de ce projet, l'analyse fréquentielle des hauteurs de pluie journalières maximales a été réalisée via le logiciel Hyfran Plus (Hydrological Frequency Analysis), développée par El ADLOUNI et al. (2008). Afin de garantir la précision des résultats, une démarche critique a été adoptée en confrontant trois modèles statistiques différents sous l'hypothèse d'homogénéité des séries de données. Cette méthode permet d'identifier la Loi offrant l'ajustement le plus rigoureux aux spécificités pluviométriques locales.

La justification théorique de l'application de ces modèles aux valeurs extrêmes annuelles repose sur les principes suivants :

- **Loi de Gumbel ;**
- **Loi de Weibull.**

Les paramètres de ces lois d'ajustement sont mentionnés dans le *Tableau 31 à l'annexe 6*.

❖ **Contrôle du modèle fréquentiel d'ajustement**

Apres l'analyse fréquentielle des données pluviométriques sur Hyfran les résultats des lois sélectionnées issues de l'ajustement avec un degré de confiance de 95% accepté sont présentés :

- ✓ **Selon le test graphique** (*illustré par la figure 29 à l'annexe 6*)
- ✓ **Selon le test du de χ^2 PEARSON** (*illustré par la figure 30 à l'annexe 6*)

Les tests d'analyses fréquentielles montrent que la loi Gumbel ajustent le mieux la série de pluies journalières maximales annuelles de la zone du projet.

III.2 Délimitation des bassins versants

L'exploitation de logiciels spécialisés tels que Google Earth, Global Mapper et QGIS, couplée à l'analyse de données numériques d'élévation (MNT/Raster), a permis d'identifier et de caractériser les propriétés physiques et morphologiques des différents bassins versants dont les réseaux hydrographiques interfèrent avec l'infrastructure routière. Cette démarche a abouti à l'identification de 9 bassins versants élémentaires. L'ensemble de ces unités hydrologiques délimitées présente une organisation en réseau dendritique en arêtes de poisson, couvrant une superficie cumulée de 127,25 km^2.

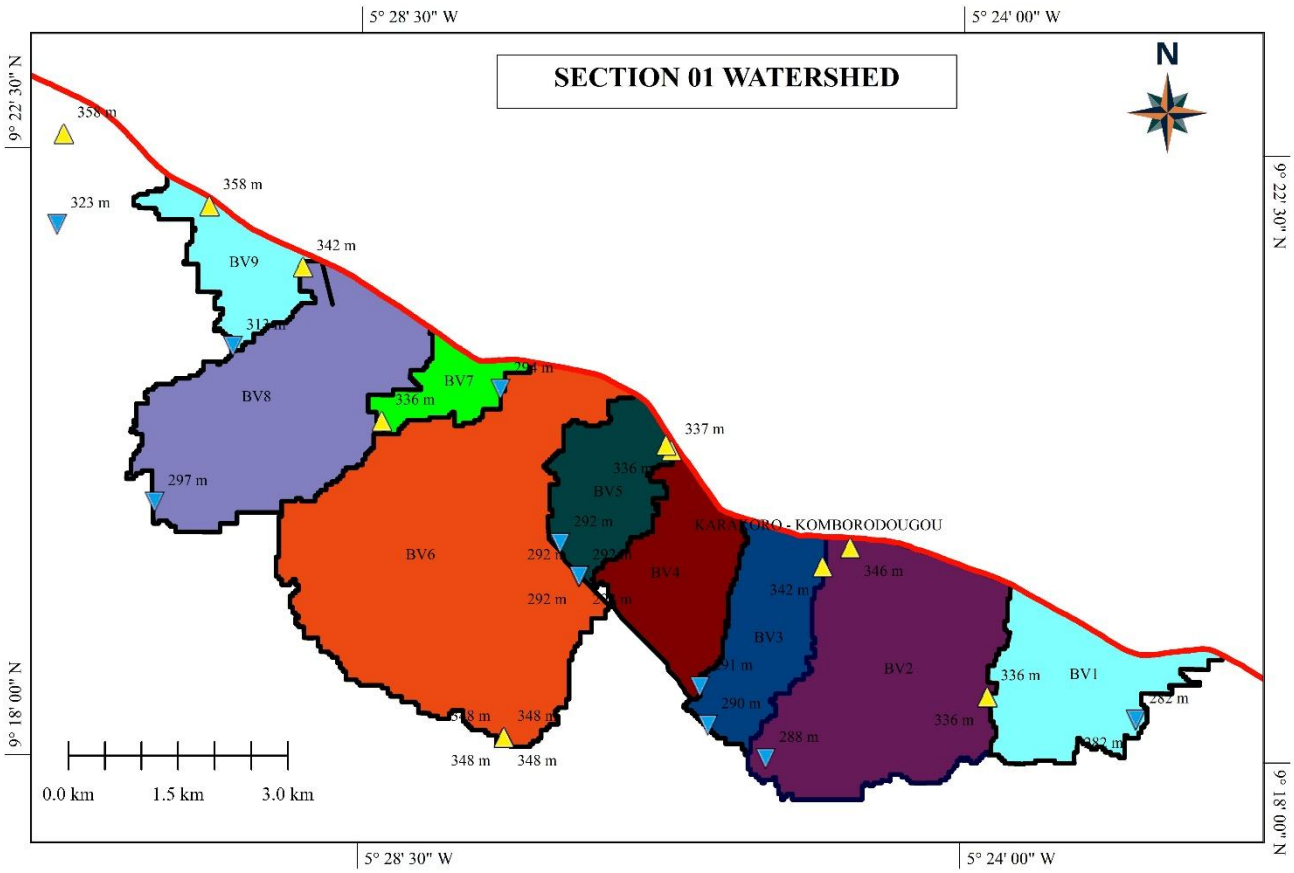


Figure III-I : Présentation des bassins versants de la section 01

III.2.1 Courbes hypsométriques des bassins versants

La courbe hypsométrique permet de visualiser la distribution des différentes plages d'altitude au sein du bassin versant, offrant ainsi une représentation globale de son profil en pente. Les courbes hypsométriques établies pour chaque bassin sont présentées en *Figure 32 à l'annexe 7*.

III.2.2 Caractéristiques morphométriques des bassins versants

Chaque bassin versant est défini par un ensemble de paramètres géométriques, morphologiques et physiographiques qui conditionnent directement son comportement hydrologique, notamment lors des périodes de crues ou d'étiage. Parmi ces paramètres figurent la superficie, la forme, l'altitude, la pente, l'orientation, la nature du sol ainsi que les caractéristiques du réseau de drainage. Dans le cadre de cette étude, l'exploitation combinée des outils Google Earth, Global Mapper, QGIS et Excel a permis d'extraire efficacement l'ensemble de ces données pour chaque bassin versant identifie. Le détail des résultats obtenus est consigné à *l'Annexe 7, des pages LXXIII a LXXVI.*

Tableau III-1 : Caractéristiques physiques ou morphométriques des bassins versants

Paramètres et valeurs	BV 1	BV 2	BV 3	BV 4	BV 5	BV 6	BV 7	BV 8	BV 9
Superficie (km^2)	4,115	8,919	3,311	3,599	2,88	17,032	1,403	8,502	2,363
Périmètre (km)	12,687	15,748	10,831	11,136	9,59	24,463	7,819	18,362	10,394
Longueur hydraulique (km)	3,371	4,050	2,850	2,922	2,498	6,431	2,101	4,886	2,807
Longueur du rectangle équivalent (km)	5,920	5,382	5,154	5,140	4,558	7,707	4,960	7,181	5,887
Pente moyenne (m/km)	2,8	2,67	2,71	2,53	2,56	2,77	2,59	2,36	2,46
Altitude maximale (m)	336	346	342	337	336	390	336	342	358
Altitude minimale (m)	282	288	290	291	292	306	294	297	313
I_{comp}	1,764	1,487	1,679	1,655	1,594	1,672	1,862	1,776	1,907
Coefficient de Gravelius	1,75	1,48	1,67	1,64	1,58	1,66	1,85	1,76	1,89
Coefficient d'Abattement	0,923	0,881	0,935	0,931	0,943	0,846	0,982	0,884	0,953
Dénivelée (m)	54	58	52	46	44	84	42	45	45
Dénivelée spécifique (m)	5,81	30,10	16,28	18,31	7,31	34,94	7,04	22,29	11,75
Indice global de pente (m/km)	12,746	2,863	10,08	8,949	9,653	4,307	8,467	5,940	7,644
Indice global de pente corrigé (m/km)	17,843	10,808	9,256	6,784	8,456	10,105	7,300	7,098	5,998
Perméabilité	RI	RI	RI	RI	RI	RI	RI	RI	RI
Relief	R4	R4	R3	R3	R3	R2	R3	R3	R2
Type de relief	Relief faible	Relief faible	Relief faible	Relief faible	Relief faible	Relief modéré	Relief faible	Relief faible	Relief modéré

III.3 Débits de crues des bassins versants

La fréquence décennale Q_{10} désigne la valeur de débit susceptible de se manifester statistiquement une fois par décennie dans un bassin versant donné. Son estimation tient compte non seulement des conditions d'écoulement naturelles, mais également de certains facteurs et capacités hydrauliques souvent sous-dimensionnés, qui viennent amplifier ce débit

de référence. Sa quantification nécessite l'identification et le calcul d'une série de paramètres hydrologiques, organisés selon une démarche structurée et proportionnée à l'étendue de chaque unité hydrographique. Cette approche se révèle particulièrement bien adaptée à l'analyse des unités de drainage dont les flux hydrologiques sont susceptibles d'interagir avec les aménagements routiers.

- La méthode rationnelle, décrite dans le guide d'hydraulique routière [11,p. 110]
- La méthode de CAQUOT, décrite dans l'assainissement des eaux pluviales [12,p. 65]
- La méthode ORSTOM, décrite dans la FAO 54 [3, Chap. 3]
- La méthode CIEH, décrite dans la FAO 54 [3, Chap. 4]

Pour une période de retour de T=10ans, toutes ces méthodes permettent de calculer le débit de crue décennale en fonction de la superficie du bassin versant. L'application de ces méthodes pour déterminer les débits est détaillée dans *l'Annexe 8 de la page LXXVII a LXXXIX*.

Tableau III-2 : Caractéristiques physiques ou morphométriques des bassins versants

Bassin versant	Superficie (km^2)	Méthode de calcul du débit			Débit de crue retenus (m^3)
		Rationnelle	ORSTOM	CIEH	
BV1	4,115	/	16,820	10,549	**13,685**
BV2	8,919	16,126	/	/	**16,126**
BV3	3,311	17,125	/	/	**17,125**
BV4	3,599	14,208	/	/	**14,208**
BV5	2,88	/	20,984	16,062	**18,523**
BV6	17,032	/	30,764	9,985	**20,375**
BV7	1,403	7,746	/	/	**7,746**
BV8	8,502	/	26,059	16,889	**21,474**
BV9	2,363	11,945	/	/	**11,945**

III.4 Etude hydraulique des ouvrages de franchissement et de drainage des eaux

La sélection du type d'ouvrage à mettre en place repose sur plusieurs critères déterminants, à savoir la catégorie de la voie concernée et le niveau d'aménagement correspondant, la configuration topographique du site retenu, ainsi que le volume d'eau à évacuer. Dans le cadre du présent projet, le choix s'est porté exclusivement sur des dalots cadres, en raison de leur relative simplicité de mise en œuvre. Ainsi, l'analyse se concentrera sur le dimensionnement de ces ouvrages, en définissant leurs caractéristiques géométriques, structurelles et

fonctionnelles, notamment l'épaisseur des différents éléments porteurs et les charges auxquelles ils seront soumis.

III.5 Dimensionnement hydraulique de l'ouvrage de franchissement

Le dimensionnement d'un dalot requiert la prise en compte de plusieurs paramètres essentiels au bon fonctionnement de l'ouvrage, notamment :

- La hauteur d'eau en amont et en aval ;
- La vitesse de l'écoulement dans l'ouvrage ;
- La pente critique.

III.5.1 Mode de fonctionnement des ouvrages de drainage transversaux

Deux modes de fonctionnement existent dans le cas d'un dalot :

- Ouvrage en sortie noyée ;
- Ouvrage en sortie dénoyée.

Celle qui justifiera hydrauliquement notre ouvrage est celle en sortie dénoyée.

III.5.2 Ouvrages de drainage transversal (dalot)

La procédure de dimensionnement retenue s'appuie sur les recommandations du guide « Hydraulique Routière » publié par le BCEOM. La démarche suivie est illustrée par l'organigramme ci-après, qui synthétise les différentes étapes du calcul. Le régime d'écoulement pris en compte est celui à sortie dénoyée, où la hauteur d'eau en amont ne dépasse pas 1,25 x la hauteur du dalot. Les différents paramètres hydrauliques requis ont été extraits à partir des abaques figurante en *Annexe 9*. Le tableau suivant présente les dimensions retenues des dalots sur le tronçon.

Tableau III-3 : Résultats synthétiques du dimensionnement de l'ouvrage hydraulique (dalot)

Ouvrage de Franchissement: Dalots										
Bassin Versant	**PK0+091**	**PK0+416**	**PK0+754**	**PK0+975**	**PK1+890**	**PK2+465**	**PK4+190**	**PK6+430**	**PK8+556**	**PK 9+847**
	BV1	BV2	BV3	BV4	BV5	BV6		BV7	BV8	BV9
	OH1	OH2	OH3	OH4	OH5	0H6	OH7	0H8	0H9	0H10
Debit à évacuer Q10 (m3/s)	13,685	16,126	17,125	14,208	18,525	9,384	9,384	7,746	20,692	11,945
Pesanteur g(m²/s)	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
Vitesse admissible Vadm(m/s)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Nombre de Cellule n	2	2	2	2	3	1	1	2	2	1
Debit par cellule Q10/n (m3/s)	6,842	8,063	8,562	7,104	6,175	9,384	9,384	3,873	10,346	11,945
Hauteur du dalot D(m)	1	1	1	1	1,5	0,8	1,5	2	3	2
Largeur d'une cellule B(m)	1	1	1	1	2	0,8	1,5	3	3	3
Débit réduit Q*(m3/s)	1,545	1,820	1,933	1,604	0,379	3,701	0,769	0,103	0,150	0,318
Hauteur réduite H* (abaque 77 du BCEOM) (m)	0,62	0,661	0,82	0,58	0,82	0,77	0,77	0,84	0,84	0,758
Hauteur d'eau en amont H1(m)	0,62	0,661	0,82	0,58	1,23	0,616	1,155	1,68	2,52	1,516
Vérification (H1/D≤1,25)	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Revanche r(≥ 0,5)=(D - H1) (m)	0,38	0,339	0,18	0,42	0,27	0,184	0,345	0,32	0,48	0,484
Détermination de la pente longitudinale critique Ic (I du projet ≥ Ic trouvée)										
Débit réduit Q*(m3/s)	2,185	2,574	2,734	2,268	0,349	5,234	1,087	0,079	0,212	0,245
Pente critique réduite Ic* (abaque 82 du BCEOM)(n	2,7	2,75	3,25	2,7	2,75	2,8	2,8	2,9	2,7	2,78
Coefficient de rugosité Ks	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
Pente critique Ic	0,006	0,006	0,007	0,006	0,005	0,007	0,005	0,004	0,004	0,004
Détermination de la vitesse d'écoulement Vmax										
Débit réduit Q*(m3/s)	1,329	1,552	1,516	1,380	0,210	3,128	0,650	0,047	0,129	0,147
Vitesse réduite V* (abaque 84 du BCEOM)(m/s)	0,294	0,305	0,405	0,294	0,317	0,328	0,328	0,405	0,294	0,328
Vitesse de sortie V (m/s)	1,513	1,584	2,287	1,513	2,328	1,538	2,105	3,742	2,621	2,967
Verification de la vitesse	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui
Section retenue	**2 x 1 x 1**	**2 x 1 x 1**	**2 x 1 x 1**	**2 x 1 x 1**	**3 x 2 x 1,5**	**1 x 0,8 x 0,8**	**1 x 1,5 x 1,5**	**2 x 3 x 2**	**2 x 3 x 3**	**1 x 3 x 2**

III.5.3 Ouvrages de drainage longitudinal

Les ouvrages de drainage longitudinaux, tels que les caniveaux, fossés bétonnés, dalots de raccordement et bordures, ne feront pas l'objet d'une analyse approfondie dans cette étude. Leur mise en place sera néanmoins assurée à l'aide d'éléments préfabriqués, dont les sections seront adaptées en fonction des caractéristiques de chaque bassin versant traversé.

III.6 Etude structurale de l'ouvrage de drainage transversal

Cette section est consacrée au dimensionnement en béton armé d'un dalot à double ouverture, réalise selon une approche analytique et vérifiée à l'aide du logiciel Robot Structural Analysis. L'ouvrage concerné est l'OH 9, de section hydraulique 2x3,00x3,00m rattaché au bassin versant 8 et localisé au PK8+556. L'étude vise à produire un plan de ferraillage adaptée à une hauteur de remblai routier inférieure ou égale à 2m, en recherchant un équilibre optimal entre le coût de réalisation, la sécurité structurelle et la qualité esthétique de l'ouvrage.

III.6.1 Hypothèse et cadre règlementaire

La présente analyse s'appuie sur les exigences et recommandations définies par les normes ci-après :

- Guide de conception des ponts cadres et portiques (SETRA) ;
- Fascicule 62 titre V techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de Génie Civil ;
- BAEL 91 révisé 99 ;
- Fascicule 61 titre II concernant les charges d'exploitations ;
- Fascicule 65 du CCTG qualité d'exécution des ouvrages de Génie civil en béton armé.

III.6.2 Caractéristiques des matériaux

Chaque matériau mis en œuvre présente des caractéristiques intrinsèques qui lui sont propres. Ces propriétés physiques et mécanique conditionnent directement le niveau de performance et la durabilité de l'ouvrage projeté.

III.6.3 Définition géométrique de l'ouvrage de franchissement

La conception géométrique du dalot repose sur un ensemble de paramètres dimensionnels indispensables à son bon fonctionnement. Ces paramètres, consignés dans les plans de coffrage, englobent les sections transversales et longitudinales de chacun des éléments structuraux composant le corps de l'ouvrage.

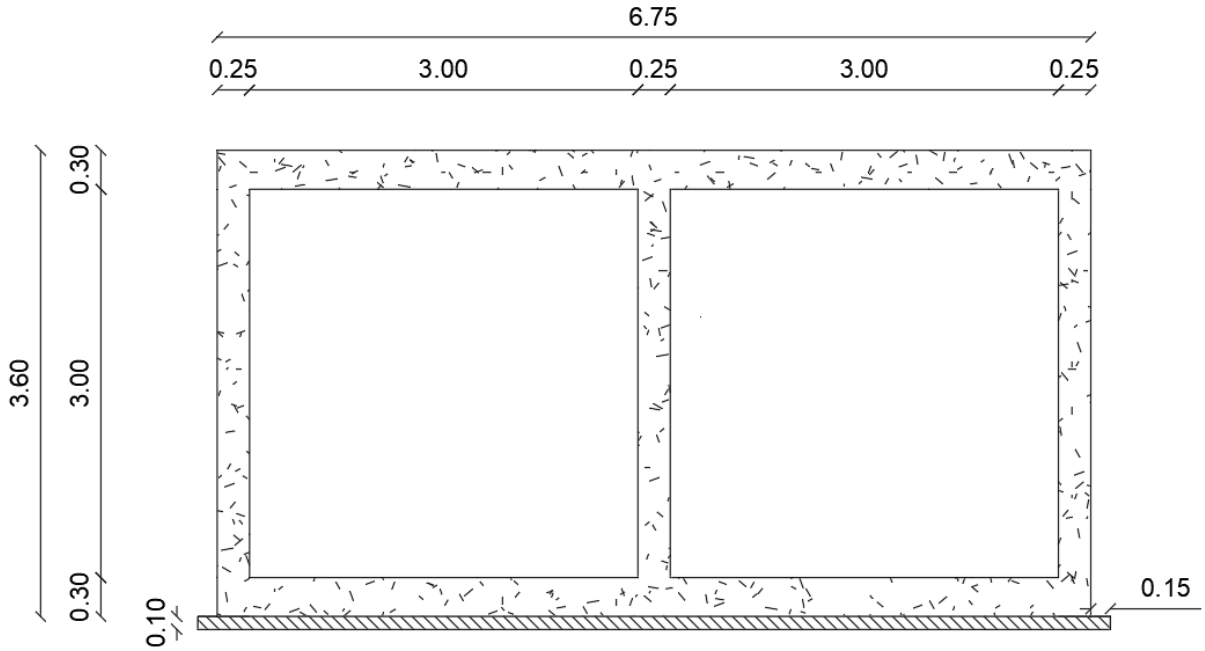


Figure III-II : Caractéristique géométrique de l'ouvrage de franchissement

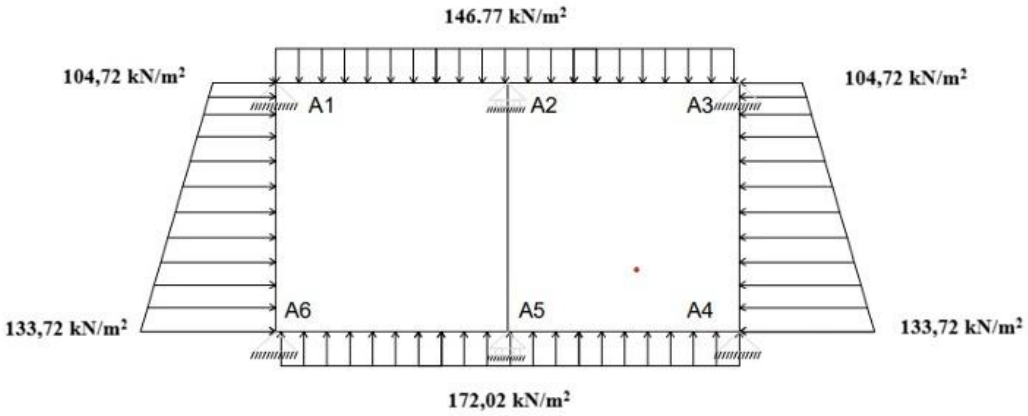


Figure III-III : Application des charges sur l'ouvrage de franchissement

III.6.4 Dimensionnement analytique de l'ouvrage de drainage transversal (dalot)

L'analyse structurelle du dalot a été une tranche unitaire d'un mètre linéaire (B = 1,00 m). La méthode des trois moments a été adoptée comme outil de résolution afin d'évaluer la distribution des efforts internes et des moments fléchissant sollicitant l'ouvrage. Les murs en aile, quant à eux, ont fait l'objet d'une modélisation en tant qu'ouvrages de soutènement et ont été dimensionnés en conséquence. Afin de prendre en compte simultanément la symétrie géométrie de la structure et l'asymétrie des cas de chargement, les piédroits intermédiaires ont

été considérés comme travaillant en compression simple. Cette hypothèse permet de réduire à zéro le moment fléchissant au droit de ces éléments, offrant ainsi la possibilité de recourir à la méthode des rotations pour l'analyse de l'équilibre nodal du schéma statique. L'ensemble du processus de calcul incluant la détermination de la charge roulante la plus défavorable, l'évaluation des sollicitations et le dimensionnement des sections d'acier est développé en détail à *l'Annexe 10 des pages XCVII a CXXXII.*

Tableau III-4 : Résultat du dimensionnement analytique de l'ouvrage

Tablier		**Pideroits de rive**			
Travee / nappe	6HA12 espacé de 15 cm	Nappe exterieure	7HA10 espacé de 15 cm		
Appui intermediaire / nappe sup	6HA20 espacé de 15 cm	Nappe inferieure	7HA10 espacé de 15 cm		
Appui intermediaire / nappe inf	6HA20 espacé de 15 cm	Filants	5HA12 espacé de 20 cm		
Appui de rives / nappe	7HA20 espacé de 15 cm	Epingle	HA6 espacé de 45 cm		
Filant	7HA12 espacé de 15 cm	-	-	-	-
Cavalier	HA10	**Piedroit intermediaire**			
Radier		Armatures par face	7HA12 espacé de 15 cm		
Travee / nappe	7HA20 espacé de 13 cm	Filants	5HA10 espacé de 15 cm		
Appui intermediaire / nappe sup	9HA16 espacé de 13 cm	Epingles	HA6 espacé de 45 cm		
Appui intermediaire / nappe inf	9HA16 espacé de 13 cm	**Beche**			
Appui de rives / nappe	9HA16 espacé de 13 cm	Cadre	6HA10 espacé de 15 cm		
Filant	7HA12 espacé de 15 cm	Filants	5HA10 espacé de 15 cm		
Cavalier	HA10	-	-	-	-
Murs en ailes					
Section	**S1**	**S4, S5 et S6**			
Nappe exterieure ou interieure	7HA16 espacé de 15 cm	9HA10 espacé de 12 cm			
Filants	7HA10 espacé de 15 cm	8HA8 espacé de 13 cm			
Section	**S2**	**S3**			
Nappe exterieure ou interieure	8HA10 espacé de 15 cm	6HA10 espacé de 16 cm			
Filants	7HA10 espacé de 15 cm	6HA10 espacé de 16 cm			
Recapitulatif du mur en aile	Nappe exterieure ou interieure	9HA10 espacé de 12 cm			
	Filants	8HA8 espacé de 13 cm			
	Epingles	HA8 espacé de 45 cm			
Radier de tete		**Guides roues**			
Nappe superieure et inferieure	6HA10 espacé de 16 cm	Cadre	7HA10 espacé de 15 cm		
Filants	7HA10 espacé de 15 cm	Filants	7HA8 espacé de 15 cm		
Cavaliers	HA10		-	-	-

III.6.5 Dimensionnement analytique de l'ouvrage de drainage transversal (dalot)

Le logiciel Robot exploite des algorithmes de calcul par la méthode des éléments finis (MEF) pour évaluer les effets des charges permanentes et d'exploitation sur la structure modélisée. Cette approche numérique permet d'identifier les zones les plus sollicitées, de mieux appréhender le comportement du béton sous contraintes mécaniques et de produire les plans d'exécution ainsi que les résultats de l'analyse structurelle. Les hypothèses retenues, la modélisation de l'ouvrage sous charges roulantes et l'interprétation des diagrammes de sollicitations extrêmes sont développés à *l'Annexe 1, des pages CXXXIII à CXXXVI.*

Tableau III-5 : Résultat du dimensionnement avec le logiciel RSA

Tablier		**Pideroits de rive**			
Travee / nappe	7HA14 espacé de 15 cm	Nappe exterieure	7HA14 espacé de 15 cm		
Appui intermediaire / nappe sup	7HA12 espacé de 15 cm	Nappe inferieure	7HA16 espacé de 15 cm		
Appui intermediaire / nappe inf	7HA12 espacé de 15 cm	Filants	5HA12 espacé de 20 cm		
Appui de rives / nappe	7HA14 espacé de 15 cm	Epingle	HA8 espacé de 40 cm		
Filant	5HA20 espacé de 20 cm	-	-	-	-
Cavalier	HA10	**Piedroit intermediaire**			
Radier		Armatures par face	7HA12 espacé de 15 cm		
Travee / nappe	7HA20 espacé de 13 cm	Filants	5HA12 espacé de 15 cm		
Appui intermediaire / nappe sup	9HA16 espacé de 13 cm	Epingles	HA8 espacé de 40 cm		
Appui intermediaire / nappe inf	9HA16 espacé de 13 cm	**Beche**			
Appui de rives / nappe	9HA16 espacé de 13 cm	Cadre	5HA10 espacé de 20 cm		
Filant	7HA12 espacé de 15 cm	Filants	5HA12 espacé de 20 cm		
Cavalier	HA10	-	-	-	-
Murs en ailes					
Section	**S1**	**S4, S5 et S6**			
Nappe interieure	7HA16 espacé de 15 cm	7HA16 espacé de 15 cm			
Nappe exterieure	7HA12 espacé de 15 cm	7HA12 espacé de 15 cm			
Filants	5HA12 espacé de 20 cm	5HA12 espacé de 20 cm			
Epingles	HA8 spacé de 40 cm	**HA8 spacé de 40 cm**			
Radier de tete		**Guides roues**			
Nappe superieure	7HA20 espacé de 15 cm	Cadre	5HA12 espacé de 20 cm		
Nappe inferieure	7HA14 espacé de 15 cm	Filants	5HA12 espacé de 15 cm		
Cote aile : mappe sup et nappe inf	5HA12 espacé de 20 cm	-	-	-	-
Filants nappe superieure	HA10	-	-	-	-

III.6.6 Ouvrages de drainage longitudinal

Le projet prévoit l'utilisation d'éléments préfabriqués pour les ouvrages longitudinaux (caniveaux et bordures), ce qui impose le calcul des débits de service pour définir des sections hydrauliques au meilleur coût. En revanche, les dalots de liaison et les fossés bétonnés seront construits in situ.

III.7 Protection des ouvrages de drainage transversaux

La pérennité hydraulique et structurelle du dalot nécessite un traitement rigoureux contre les affouillements localisés à l'aval et à l'amont. Le dimensionnement du tapis de protection aval s'articule autour des critères suivants :

- Longueur de protection : fixé à $2 \times (H + p)$ en fonction de la hauteur d'eau amont (H) et de la hauteur du seuil ou épaisseur du radier (p)
- Typologie des matériaux : Recours préférentiel à des gabions semelles de 2m×1m×0,4m, adossés à des enrochements.
- Dissipation de l'énergie : Implantation en extrémité d'un gabion cage de 2m×1m×1m pour amortir l'écoulement.

- Protection des abords : Réalisation d'un perré maçonné pour stabiliser les remblais au niveau des murs en aile.

Conclusion partielle

La phase d'étude hydrologique a consisté à délimiter les bassins versants interceptant le tracé routier et à quantifier leurs débits d'apport. Face à l'état de délabrement prononcé, à l'encombrement ou à l'inaccessibilité du réseau d'assainissement d'origine, de nouvelles dimensions d'ouvrages ont été définies en concertations avec la maitrise d'œuvre pour transiter les débits de projets. Par ailleurs, une attention particulière a été portée à la structure la plus contraignante du tracé ; son calcul de résistance mécanique a été mené par approche analytique et par simulation sur le logiciel Robot Structural Analysis, débouchant sur la détermination des sections d'acier et la production des plans de ferraillage.

Chapitre IV : **Notice d'impact environnemental et social**

Introduction

Bien que le projet génère d'importantes retombées économiques, financières et sociales, sa mise en œuvre est susceptible d'induire des incidences négatives sur l'environnement et les communautés locales. En dépit d'une exécution planifiée principalement dans l'emprise des servitudes publiques, les travaux présentent des risques d'altération de biens privés et de perturbation des activités économiques riveraines. Par conséquent, l'opération s'inscrit dans le cadre réglementaire de la loi n°96-766 du 3 Octobre 1996 portant code de l'environnement. La présente notice d'impact vise à identifier les altérations potentielles sur le milieu récepteur et à définir des mesures d'atténuation adaptées. Elle intègre également les attentes des populations locales afin d'assurer une gouvernance environnementale et sociale harmonieuse du projet.

IV.1 Composante de l'environnement concernée

La délimitation spatiale de l'aire d'étude s'articule autour de trois échelles géographiques distinctes :

- La zone d'influence indirecte : circonscrite par les limites administratives de la région du Poro ;
- La zone d'influence directe : restreinte aux périmètres des départements de Korhogo et Komborodougou ;
- La zone d'influence immédiate : correspondant à l'emprise physique directe de l'infrastructure routière et des aménagements prévus.

IV.2 Analyse des impacts sur l'environnement

IV.2.1 Impacts positifs

Durant les phases de préparation, d'installation, de chantier, d'exploitation et d'entretien, le projet ne génèrera aucune incidence positive notable sur les milieux physique et biologique, à l'exception d'une valorisation esthétique du paysage au droit des localités traversées. En revanche, concernant le milieu humain, les divers impacts identifiés ont été répertoriés au sein de *l'Annexe 12 (pages CXXXIX à CXLI).* Cette évaluation a été menée conformément aux orientations de la Politique Nationale de l'Environnement ainsi qu'à la Stratégie Nationale de Développement Durable.

IV.2.2 Impacts négatifs

À l'inverse, les incidences négatives sur les différentes composantes environnementales et sociales s'avèrent nombreuses. Elles sont répertoriées de manière exhaustive au sein de *l'Annexe 12 (pages CXL à CXLI)*, classées par phase de projet et selon les descripteurs environnementaux suivants :

- Impact sur la qualité de l'air ;
- Nuisances sonores liées au bruit, affectant les riverains ;
- Modification du paysage ;
- Altération des sols ;
- Impact sur les eaux de surface et souterraines ;
- Effets sur la vie sociale des populations ;
- Conséquences sur le foncier ;
- Répercussions sur les activités économiques ;
- Modification de l'habitat et des équipements ;
- Impacts sur la santé et le cadre de vie ;
- Effets sur la sécurité et la circulation routière.

IV.3 Plan de gestion environnemental et social (PGES)

IV.3.1 Objectif du plan de gestion environnemental et social (PGES)

Déclinés par phase opérationnelle, les tableaux du Plan de Gestion Environnemental et Social (PGES) consignent les mesures d'atténuation et de protection préconisées, les indicateurs de performance associées, les évaluations budgétaires requises, ainsi que les cadres de responsabilité. L'exécution, la surveillance et le contrôle de ces dispositions environnementales et sociales sont confiées aux entités suivantes :

- L'entreprise chargée des travaux (SCORE) ;
- L'Agence de Gestion des Routes de Côte d'Ivoire (AGEROUTE) ;
- L'Agence Nationale de l'Environnementale (ANDE) ;
- Le Conseil Ingénierie Recherches Management des Affaires (CIRMA) ;
- Le Comité Interministériel d'Analyse de la Pollution et des Odeurs Locales (CIAPOL) ;
- L'Institut Nationale d'Hygiène Publique (INHP) ;
- L'Institut Nationale de Santé Publique (INSP) ;
- Les ministères tel que : le MCLU, MEPS, MH, MINADER, MINEDD, MEER etc…

IV.3.2 Mesures de protection et d'atténuation

Les dispositions phares visant la préservation des différents milieux durant les phases de préparation, d'installation, de construction, d'exploitation et d'entretien sont détaillées au sein de *l'Annexe 12 (pages CXLI à CXLIII)*, en parfaite cohérence avec les descripteurs environnementaux analysés en amont.

Conclusion partielle

En somme, l'évaluation montre que le projet de bitumage de l'axe Korhogo-Komborodougou-Kouroukouna génère des incidences contrastées sur les milieux naturel et humain. Néanmoins, l'application rigoureuse de prescriptions du PGES garantira l'atténuation des impacts et l'optimisation des retombées socio-économiques. Ainsi maîtrisée, le projet s'intègre pleinement dans une trajectoire de développement durable, assurant une acceptabilité sociale et environnementale conforme aux standards internationaux.

Chapitre V : **Etude de l'avant métré et financière du projet**

Introduction

L'évaluation financière constitue une phase déterminante dans l'étude d'un projet routier, car elle permet d'apprécier le montant prévisionnel nécessaire à la réalisation des travaux. Cette démarche repose principalement sur le calcul des quantités relatives aux différents postes du projet, depuis les opérations de libération des emprises jusqu'aux travaux de chaussée, sans oublier les ouvrages d'assainissement et de drainage. Afin d'assurer une estimation cohérente et réaliste, un devis quantitatif et estimatif (DQE) élaboré par l'entreprise a été utilisé comme référence pour l'application des prix unitaires correspondant à chaque prestation.

V.1 Avant métré des travaux de terrassement

- Déblais en terrain meuble : Cette évaluation prend en considération :
  - Les travaux de piquetage et les relevés topographiques nécessaires ;
  - L'identification des zones de dépôt conformes aux exigences environnementales;
  - Les opérations d'extraction, de chargement et d'évacuation des matériaux ;
  - Le reprofilage des talus ainsi que des fonds de déblais ;
  - La réalisation des fosses temporaires et définitifs ;
  - L'aménagement des aires de stockage des déblais.
- Déblais en terrain rocheux friable et compact : Cette estimation intègre :
  - Les volumes provenant des opérations de fragmentation par dynamitage ;
  - Le chargement et l'acheminement des matériaux vers les sites de dépôt.
- Purge des sols instables : Cette opération comprend :
  - L'extraction des matériaux impropres ;
  - Le chargement et le transport des déblais ;
  - L'organisation et l'aménagement des zones de rejet.
- Remblais issus des déblais : Cette estimation englobe :
  - La récupération des matériaux provenant des différences de niveau entre le terrain naturel et le profil projeté ;
  - Le traitement des excédents de remblais ;
  - Le réglage des talus de remblai et de déblais.

- Remblais provenant d'emprunt y compris la couche de forme : Cette estimation tient compte :

- Des travaux de débroussaillement et de décapage des zones d'emprunt ;
- De l'extraction, du chargement et du transport des matériaux ;
- Des ajustements éventuels lies à la teneur en humidité des matériaux ;
- Du nivellement et de l'entretien des zones d'emprunt ainsi que de leurs voies d'accès.

V.2 Avant métré des travaux de chaussée

- Approvisionnement et mise en œuvre de matériaux latéritiques naturels destinés à la couche de fondation ;
- Fourniture et application de matériaux latéritiques traités au ciment pour la couche de base ;
- Réalisation de la couche d'accrochage à base d'émulsion de bitume ;
- Mise en œuvre d'un revêtement superficiel monocouche à double gravillonnage ;
- Fourniture du béton bitumineux destiné à la couche de roulement ;
- Réalisation du béton bitumineux pour les accotements en zone urbaine ;
- Exécution d'un enduit superficiel bicouche pour les accotements en rase campagne ;
- Réalisation des travaux de voirie associée au projet.

V.3 Avant métré des ouvrages d'assainissement et de franchissement

- Déconstruction éventuelle des ouvrages existants ;
- Détermination des quantités de béton, d'armatures, de coffrage et de badigeonnage nécessaires ;
- Evaluation des longueurs et des sections des ouvrages de drainage longitudinal ainsi que des ouvrages annexes.

V.4 Avant métré des travaux de signalisation

- Réalisation du marquage routier à l'aide de peinture retro-réfléchissante
- Fourniture, transport et mise en place des panneaux de signalisation ;
- Installation des bornes kilométriques ;
- Pose des glissières métalliques de sécurité hors ouvrages ;
- Mise en œuvre des dispositifs de protection et de sécurité routière.

V.5 Devis estimatif du projet

L'estimation financière du projet étudié a été effectuée à partir des quantités des différents travaux déterminés lors de l'avant-métrée, ainsi que des prix unitaires en vigueur sur le marché. A cet effet, le coût total des travaux d'aménagement de la route Karakoro-Komborodougou-Kouroukouna est évalué à **7 413 323 360 FCFA TTC**, correspondant à un coût moyen de **741 332 336 FCFA** par kilomètre de voirie aménagée. Le détail du devis quantitatif et estimatif dans le *Tableau 58 présentée en Annexe 13.*

Tableau V-1 : Récapitulatif du devis estimatif du projet

DESIGNATION DES TRAVAUX	
SECTION 000 : INSTALLATION DE CHANTIER	912 500 126
SECTION 100 : DEGAGEMENT DES EMPRISES	173 079 800
SECTION 200 : TERRASSEMENT GENERAUX	806 465 780
SECTION 300 : CHAUSSEE	1 234 970 167
SECTION 400 : ASSAINISSEMENT – DRAINAGE	1 230 087 641
SECTION 500 : OUVRAGE HYDRAULIQUE	-
SECTION 600 : SIGNALISATION ET EQUIPEMENTS	372 691 325
SECTION 700 : PRESTATIONS ENVIRONNEMENTALES	155 342 880
SECTION 800 : TRAVAUX CONNEXES	32 500 000
HONORAIRES MAITRISE D'ŒUVRE	207 440 292
HONORAIRES MAITRISE D'OUVRAGE DELEGUE	118 537 310
HONORAIRES DU LABORATOIRE GEOTECHNIQUE	29 634 327
TOTAL GENERAL EN FRANCS CFA HTVA	**5 047 507 257**
TVA 18%	**908 551 307**
TOTAL GENERAL EN FRANCS CFA TTC	**5 956 058 564**

Conclusion partielle

A l'issue de ce chapitre, il apparait que le coût global des travaux de bitumage de la route est estimé à **5 956 058 564 FCFA TTC**, prenant en compte l'ensemble des corps de métier intervenant dans l'exécution du projet. Ainsi, le coût moyen de réalisation du bitumage est évalué à **595 605 857 FCFA** par kilomètre de voirie aménagée.

Conclusion générale et Recommandations

La présente étude s'inscrit dans le cadre des travaux d'aménagement et de bitumage d'un tronçon de 10 km de la route Karakoro-Komborodougou-Kouroukouna en Côte d'Ivoire ralliant la route nationale A3. L'objectif principal de cette étude est de proposer des solutions techniques conformes aux normes de conception et aux exigences des termes de référence (TDR), tout en optimisant les coûts de réalisation du projet.

Les solutions techniques retenues se déclinent comme suit :

- Structure de la chaussée : Composée de 3 cm de béton bitumineux (BB), 18 cm de graveleux latéritiques amélioré au ciment (3%) en couche, et 20 cm de graveleux latéritique naturel en couche de fondation. Cette structure a été dimensionnée pour supporter un trafic de classe T4 sur une durée de 15 ans ;
- Ouvrages d'art et hydrauliques : Implantation de 10 dalots dimensionnés pour une période de retour de 10 ans, permettant de garantir l'évacuation des eaux et de protéger l'infrastructure routière contre les inondations ;
- Assainissement : Un réseau complet de caniveaux et de fossés bétonnés, interconnectés par des dalots de raccordement :
- Environnement : Un plan de gestion des risques environnementaux et sociaux pour atténuer l'impact des travaux.

Le coût global des travaux de l'ensemble du projet est fixé à 5 956 058 564 FCFA TTC, évalué à 595 605 857 FCFA par kilomètre aménagé y compris les voiries.

Pour optimiser la phase d'exécution et faire de ce document une référence technique, l'étude formule les recommandations suivantes :

- Mettre en place un programme de formation continue du personnel aux nouvelles techniques et normes de sécurité ;
- Optimiser la gestion des ressources humaines et impliquer davantage les équipes dans les décisions stratégiques ;
- Proposer un plan rigoureux de gestion et de maintenance du parc matériel (engins de travaux).

Bibliographie

[1] Centre Expérimental de Recherches et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP),GUIDE_DE_DIMENSIONNEMENT_DES_CHAUSSEES_POUR_LES_PAYS_TROPICAUX, 2e édition. Paris, France.

[2] Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics (LBTP), Catalogue de structure type des chaussées neuves propre à la Côte d'Ivoire. 2005.

[3] Direction Générale de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Construction (DGUHC), « Guide méthodologique pour le pilotage des études hydrauliques », CETMEF, Lyon, France, 2007.

[4] SETRA, Guide technique de l'Assainissement Routier. Bagneux, France: Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA), 2006.

[5] Ministère de l'Equipement et des Transports (Maroc), Guide-de-Conception-des-Routes-Rurales, Direction des Routes. Rabat, Maroc, 2004.

[6] SETRA et LCPC, Guide-de-terrassement-routier-GTR-Fascicule 1 -Principaux ;-Fascicule 2 - Annexes techniques, SETRA. Bagneux, France, 2000.

[7] Nguyen Van Tuu, Hydraulique Routière BCEOM. Paris, France, 1981.

[8] École Nationale Supérieure de Statistique et d'Économie Appliquée (ENSEA), Institut de Recherche pour le Développement (IRD, ex-ORSTOM), et Internationale de Conseil, d'Études et de Finances (ICEF), « L'économie locale de Korhogo et de son arrière-pays. Volume 1 : Rapport général », Union européenne / OCDE-PDM, Côte d'Ivoire, Rapport général, févr. 1999.

[9] CIEH, ORSTOM, et LCT-CEMAGREF-ENGREF, « Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche », Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), Rome, Italie, 1996.

[10] A. M. Kouassi, R. A.-K. Nassa, K. B. Yao, K. F. Kouame, et J. Biemi, « Modélisation statistique des pluies maximales annuelles dans le district d'Abidjan (sud de la Côte d'Ivoire) », rseau, vol. 31, nº 2, p. 147-160, oct. 2018, doi: 10.7202/1051697ar.

[11] SETRA, « ponts-cadres_en_beton_arme_-_programme_de_calcul_picf-el », Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA), Bagneux, France, 1991.

[12] Institut National de la Statistique (INS), « Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH) 2014 : Répertoire des localités – Région du PORO », INS, Abidjan, Côte d'Ivoire, juin 2015.

[13] LCPC et SETRA, « Conception et dimensionnement des structures de chaussée – Guide Technique », Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) et Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA), Paris, France, 1994.

[14] Ministère des Infrastructures Economiques (MIE), « Normes de conception géométrique des routes en Côte d'Ivoire », Direction des Infrastructures Routières, Abidjan, Cote d'Ivoire, 2003.

[15] P.Autret et J.-L. Brousse, «Alize-LCPC : Logiciel de dimensionnement des chaussées souples et semi-rigides »,Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), Paris, France 1991

Annexes

Annexe 1 : Caractéristiques de base de la conception routière II
Annexe 2 : Géotechnique routière XVII
Annexe 3 : Etude du trafic XL
Annexe 4 : Dimensionnement de la structure de chaussée XLII
Annexe 5 : Signalisation routière LV
Annexe 6 : Etude hydraulique LXI
Annexe 7 : Délimitation des bassins versants LXIX
Annexe 8 : Débits de crues des bassins versants LXXVII
Annexe 9 : Dimensionnement et etude hydraulique des ouvrages de franchissement XC
Annexe 10 : Dimensionnement structurel analytique des ouvrages hydrauliques XCVII
Annexe 11 : Dimensionnement des ouvrages hydrauliques avec le logiciel Robot Structural CXXXIII
Annexe 12 : Notice des impacts environnementaux et sociaux CXXXVII
Annexe 13 : Etude financiere du projet CXLIV

Annexe 1 : Caractéristiques de base de la conception routière

Le dimensionnement et la conception de toute infrastructure routière qu'elle soit urbaine, interurbaine ou de liaison nationale s'appuient sur des critères techniques stricts au premier rang desquels figure le trafic. Il est donc fondamental d'analyser précisément l'action des charges roulantes sur le comportement mécanique de la future structure de chaussée. Au-delà des aspects purement structurels et des données expérimentales du site, cette étude doit intégrer les facteurs humains liés à la psychologie des conducteurs, tels que le temps de perception-réaction, l'étendue du champ visuel, la fatigue, l'inattention ou encore l'impatience des usagers.

I.1. Caractéristiques de base de la conception routière

I.1.1. Paramètres cinématiques

- Vitesse de base ou de référence :

La vitesse de référence désigne l'allure maximale praticable en toute sécurité sur les sections rectilignes et les courbes d'un itinéraire. Alors que l'usager cherche naturellement à réduire son temps de parcours en roulant à la vitesse maximale permise, le concepteur de la route doit concilier ce souhait avec un niveau optimal de confort et de sécurité. Ce paramètre est essentiel, car il détermine directement les caractéristiques géométriques et le dimensionnement des points singuliers du tracé. Les vitesses de référence établies pour les différentes catégories de voies sont définies ainsi :

Tableau 1 : Vitesse de référence en fonction de la catégorie de route.

Catégories de routes					
Catégories	Exceptionnelle	1ère catégorie	2 ème catégorie	3 ème catégorie	Hors catégorie
Vr (km/h)	120	100	80	60	40

- Distance de freinage

La distance de freinage correspond à l'espace parcouru par un véhicule depuis l'actionnement des freins jusqu'à son arrêt complet. Sur le plan mécanique, cette distance est déterminée en appliquant le théorème de l'énergie cinétique, qui permet de mettre en relation la vitesse initiale de véhicule avec l'adhérence du revêtement routier et de la déclivité de la voie.

$$E_c = \frac{1}{2}.m_c{}^2 = P.f.d_o \Rightarrow d_o = \frac{V_r{}^2}{2.g.f}$$

Avec :

- f : coefficient de frottement (f = 0,4) cas fréquent ;
- g : intensité de pesanteur (g = 9,81 m/s^2)
- Vr : Vitesse de référence (km/h) ;

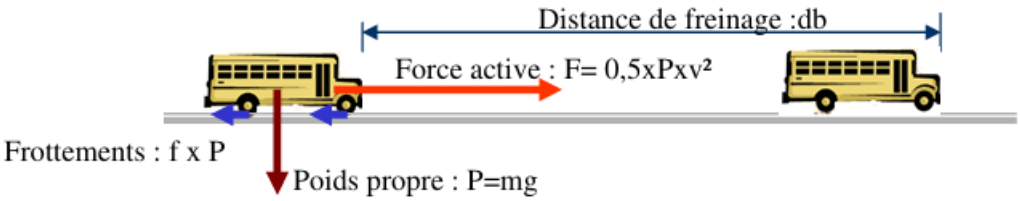


Figure 1 : Distance de freinage entre 2 véhicules

❖ Distance d'arrêt (d_a)

C'est la distance conventionnelle théorique nécessaire à un véhicule pour s'arrêter compte tenu de sa vitesse, calculée comme la somme de la distance de freinage et de la distance parcourue pendant le temps de perception réaction.

$$d_a = d_r + d_f$$

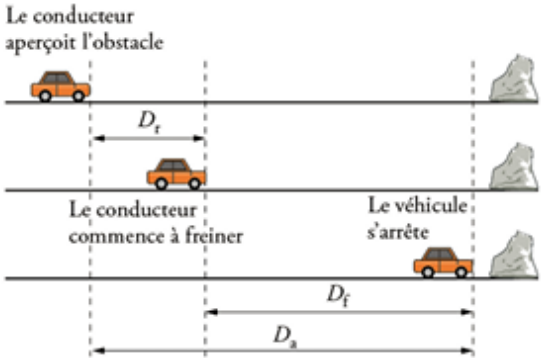


Figure 2 : Représentation de la distance d'arrêt.

Avec V en km/h, nous obtenons :

Pour t = 2 s, on a e = 0,55 V

Pour t = 1,8 s, on a e = 0,50 V

- En alignement droit d_1

$$d_1 = \begin{cases} d_b + 0{,}55\,V \text{ si } V < 100\ km/h \\ d_b + 0{,}50\,V \text{ si } V > 100\ km/h \end{cases} et\ d_f = V_r \times 10^{-1}$$

- En courbe d_2

  En courbe, il convient de prendre en compte l'accroissement de la distance d'arrêt. En effet, le freinage doit être moins énergique en courbe et il est donc admis de majorer de 25% la distance de freinage pour les virages de rayon inferieur à 5V (km/h)

$$d_2 = \begin{cases} d_b + 0{,}25 \times d_b \times V \text{ si } V < 100\ km/h \\ d_b + 0{,}25 \times d_b \times V \text{ si } V > 100\ km/h \end{cases}$$

❖ Manœuvre de dépassement :

La manœuvre de dépassement est une action de conduite qui consiste à passer devant un véhicule circulant dans le même sens mais à une vitesse inférieure. Cette manœuvre permet d'améliorer la fluidité de la circulation lorsqu'elle est effectuée dans des conditions de sécurité adéquates. Elle exige de la prudence, de l'attention et le respect du code de la route.

❖ Distance de visibilité de dépassement (d_{vd})

C'est celle qui permet, en sécurité, d'abandonner un dépassement en freinant ou de le poursuivre en accélérant si le véhicule opposé freine.

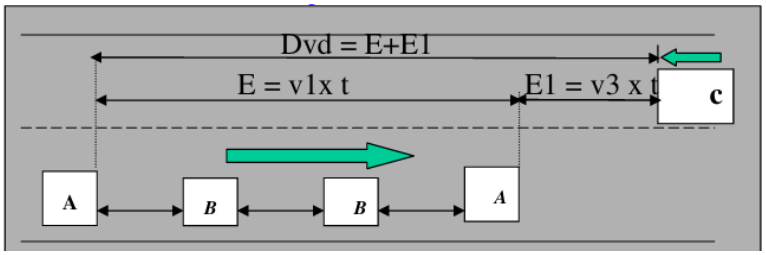


Figure 3: Représentation de la distance de visibilité de dépassement

$$d_{vd} = E + E_1$$

$$d_{vd} = \frac{v_1(d_1 + d_2)}{v_1 - v_2} + \frac{v_3(d_1 + d_2)}{v_1 - v_2}$$

- d_1 : distance entre A et B avant depassement ;
- d_2 : distance entre A et B apres depassement ;
- $V_1, V_2\ et\ V_3$: Vitesses respectives des vehicules entre A, B et C ;

❖ Distance de manœuvre de dépassement (d_{md})

Elle correspond à la distance minimale requise pour qu'un véhicule roulant à la vitesse de référence double un usager plus lent sur une voie bidirectionnelle, sans imposer la moindre décélération au trafic arrivant en sens inverse.

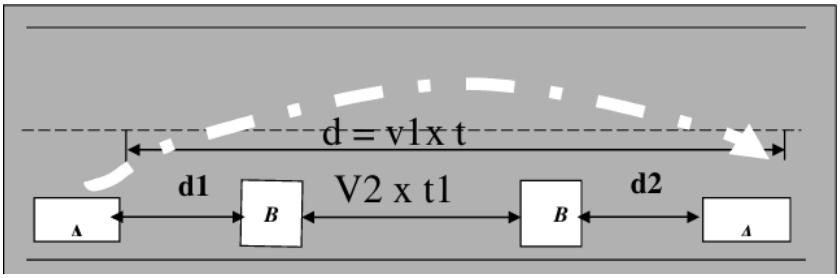


Figure 4 : Représentation de la distance de dépassement

$$d = \frac{v_1(d_1 + d_2)}{v_1 - v_2}$$

❖ Distance de sécurité entre deux véhicules :

Théoriquement, un intervalle minimal de sécurité doit séparer deux véhicules roulant à la même vitesse pour éviter une collision en cas de freinage brusque du premier.



Figure 5 : Représentation de la distance de sécurité entre deux véhicules

Pratiquement cette distance est plus grande pour les raisons suivantes :

- Lorsque B voit s'allumer le stop de A, il ne sait pas avec qu'elle intensité A freine. Il hésite donc à freiner lui aussi au maximum.
- Le freinage est une opération plus compliquée.

$$e = \frac{V}{5+l} + \frac{V^2}{335}$$

Avec ***l*** : longueur du véhicule = 8 *m.*

Tableau 2 : Paramètres cinématiques d'une route selon la ICGRRC

Vitesse du véhicule		V (km/h)	40	60	80	100	120
Longueur de freinage d_b		d_o(m)	15	35	60	105	170
Distance d'arrêt	En alignement droit	d_1(m)	40	70	105	160	230
	En courbe	d_2(m)	45	80	120	180	280
Distance de visibilité de dépassement	Minimale	d_{vd}(m)	150	250	325	400	500
	Normale		250	350	500	625	800
Distance de manœuvre de dépassement		d_{md}(m)	70	120	200	300	400

I.I.2. Paramètres géométriques

I.1.1. Normes d'aménagement des routes

Le cadre réglementaire de cette étude s'appuie sur les référentiels techniques en vigueur pour la conception d'infrastructures routières. Les principes fondamentaux de dimensionnement et d'aménagement sont issus des guides et instructions suivants :

- ICTAVRU : Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines ;
- ICTAAL : Instruction sur les conditions techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison (souvent associée à l'ICTAVRU) ;
- ARP : Aménagement des Routes Principales ;
- Le Guide d'Aménagement des Carrefours Urbains (CERTU)

En pratique, la topographie et l'environnement du site imposent souvent des contraintes qui empêchent l'application stricte de ces manuels. Pour surmonter ces difficultés terrain tout en garantissant la viabilité du projet, le concepteur doit appliquer une série de règles fondamentales :

- Adapter au maximum la ligne rouge au profil naturel afin de minimiser les volumes de terrassement ;
- Assurer un raccordement fluide et cohérent avec les réseaux routiers existants ;
- Privilégier l'usage de grands rayons de courbure dès que la topographie le permet ;
- Contourner impérativement les zones sensibles, qu'elles soient environnementales, agricoles, sacrés ou sujettes à des risques géologiques (zones instables, éboulements) ;
- Eviter de longer les thalwegs pour limiter la multiplication des ouvrages d'art, et veiller à ce que les franchissements de cours d'eau s'effectuent perpendiculairement à l'écoulement ;
- Caler le projet en respectant rigoureusement les côtes des plus hautes eaux (PHE) pour sécuriser l'infrastructure ;
- Limiter la longueur des sections en alignement droit à un maximum réglementaire de 2 kilomètres pour prévenir la monotonie et la fatigue visuelle des usagers.

I.1.2.2. Caractéristiques du tracé en plan

Le tracé en plan est la projection sur un plan horizontal de l'axe de la chaussée. C'est une succession de segments de droite, d'arcs de cercle et de raccordements à courbure variable. La combinaison de ces éléments, en coordination avec le profil en long, doit en premier lieu permettre de réserver une proportion convenable de zones où la visibilité est suffisante pour permettre le dépassement. Simultanément, on doit éviter l'effet de monotonie et réduire en conduite nocturne le temps d'éblouissement par les phares liés aux grands alignements droits.

- Alignements droits : L'espacement minimal requis est de $5.V_r$ entre deux courbes de même sens et de $3.V_r$ entre deux courbes inversées. La longueur maximale est plafonnée à $60.V_r$ (avec V_r en m/s), sauf contraintes culturelles ou topographiques majeures.
- Courbes : Pour contrer la force centrifuge et assurer la stabilité des véhicules, le projeteur applique un dévers (inclinaison transversale) à la chaussée, tout en veillant à ne jamais descendre en dessous du rayon minimal absolu.

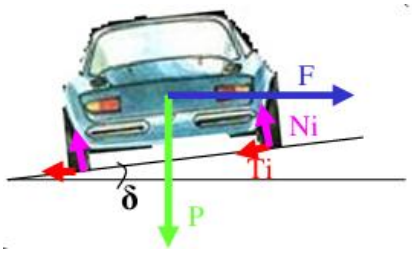


Figure 6 : Représentation de la stabilité d'un véhicule au niveau d'une courbe (virage) déversée

Soit :

- **F** : La force centrifuge produite lors du déplacement de la masse m du véhicule à la vitesse V sur la trajectoire circulaire de rayon R : $\mathbf{F} = \frac{mV^2}{R}$
- **P** : Le poids du véhicule.

I.1.2.3. Caractéristiques du profil en long

Le profil en long se compose du terrain naturel, qui représente graphiquement la topographie initiale (altitudes Z) le long de l'axe routier, et du projet, ou « ligne rouge », qui définit les côtes altimétriques finales de la chaussée. Cette ligne rouge alterne des rampes et des pentes reliées par des raccordements courbes (circulaires ou paraboliques). Ces derniers sont qualifiés d'angles saillants pour les transitions convexes en point haut, d'angles rentrants pour les transitions concaves en point bas.

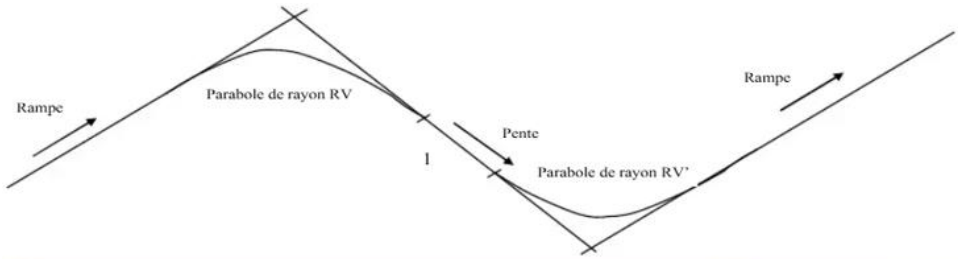


Figure 7 : Représentation du profil en long d'une route

Selon les recommandations de l'ARP, les courbes de même sens doivent être séparées par une section rectiligne significative, tandis que l'implication d'accès ou de carrefours est à proscrire dans les virages, les zones de visibilité réduite et les sommets de côtes. De plus, la longueur des raccordements est réglementairement limitée afin de faciliter l'anticipation des trajectoires par l'usager, particulièrement dans les rayons réduits.

- ❖ Coordination et continuité visuelle du tracé.

Par ailleurs, une coordination rigoureuse entre le tracé en plan et le profil en long est indispensable pour offrir une perception visuelle continue de la route. Cette synergie géométrique assure une sécurité homogène et permet au conducteur de distinguer à temps les points singuliers, sachant que le simple calage du rayon de courbure en virage suffit rarement à garantir un compromis parfait entre confort et sécurité.

I.1.2.4. Caractéristiques du profil en travers type

Les profils en travers types constituent des coupes transversales perpendiculaires à l'axe longitudinal du projet. Ils servent de base fondamentale pour la délimitation de plusieurs données d'exécution, notamment :

- Le repérage des lignes d'entrées en terre marquant la limite des terrassements ;
- La définition de l'assiette et de l'emprise totale de l'infrastructure sur le terrain naturel ;
- Le calcul des cubatures, permettra de qualifier précisément les volumes de déblais et de remblais.

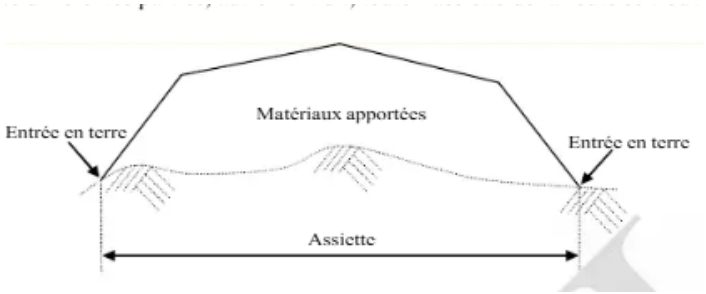


Figure 8 : Profil en travers en remblai

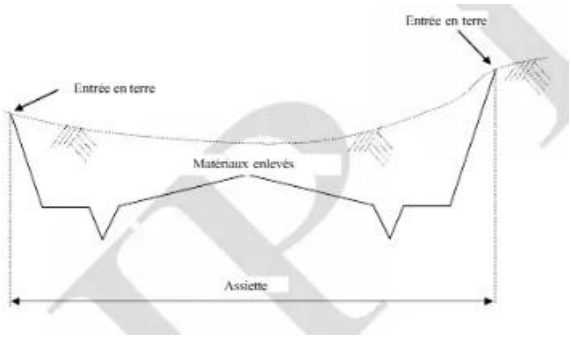


Figure 9 : Profil en travers en déblai

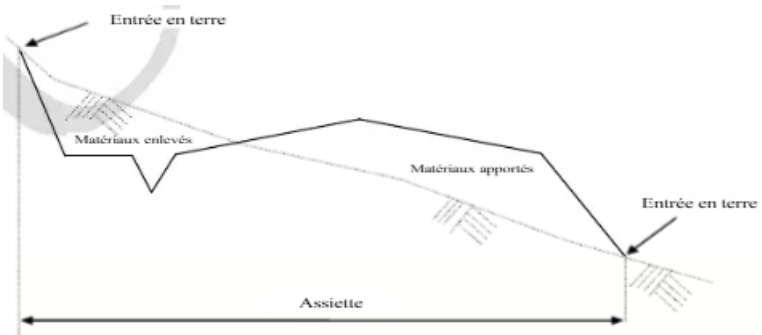


Figure 10 : Profil en travers mixte

Tableau 3 : Paramètres fondamentaux des projets routiers

Désignation du paramètre				Symbole et unité	Catégorie de la route				
					4ème	3ème	2ème	1ère	Except.
Vitesse de référence				V_r (km/h)	40	60	80	100	120
Tracé en plan	Devers maximal			M (%)	7	7	7	7	7
	Rayon en plan RH(m)	Minimal absolu (devers M)		RHm	40	120	240	425	665
		Minimal normal(devers)		RHN (%)	120 (5%)	240 (5%)	425 (5%)	665 (4%)	1000 (4%)
		Au devers minimal (*)		RH''(2,5%) RH''(2%)	250 300	450 500	650 700	900 1000	1500 1600
		Non déversé		RH'	400	600	900	1300	1800
Profil en long	Devers maximale en rampe			m (%)	8	7	6	5	4
	Rayon avec angle saillant R_V(m)	Chaussée unidirectionnelle (Route à 4 voies ou à 2 chaussées)	Minimal absolu	RVm_1	500	1500	3000	6000	12000
			Minimal normal	RVN_1	1500	3000	6000	12000	12000
		Chaussée bidirectionnelle (Route à 2 ou à 3 voies)	Minimal absolu	RVm_2	500	1600	4500	10000	-
			Minimal normal	RVN_2	1600	4500	10000	17000	-
	Rayon en angle rentrant RV'(m)	Minimal absolu		RVm'	700	1500	2200	3000	4200
		Minimal normal		RVN'	1500	2200	3000	4200	6000
	Rayon assurant la distance de visibilité de dépassement minimale sur route a 2 ou 3 voies			RVD (m)	2500	6500	11000	17000	28000

I.1.2.5. Application au projet

Le projet Karakoro-Komborodougou-Kouroukouna est subdivisée en 4 sections. Notre étude portera sur la section 1.

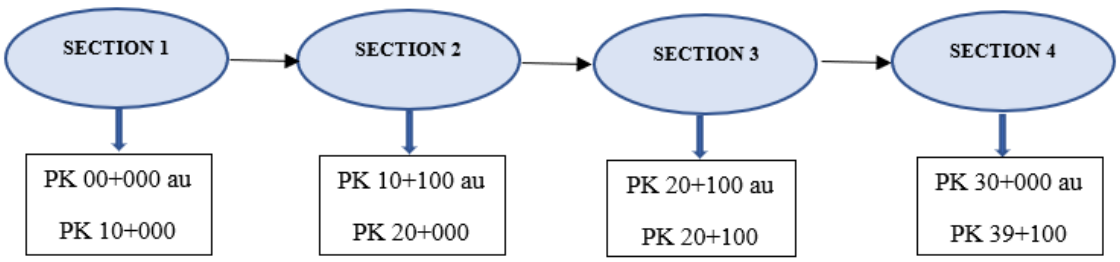


Tableau 4 : Subdivision du projet en sections courantes avec la vitesse de référence

Figure 11 : Subdivision du projet en sections courantes

Localisation	PK Début	PK Fin	Linéaire	Vitesse de référence (km/h)
Traversée d'agglomération				
Pangarikaha	PK 02+040	PK 03+000	960	60
Nongnrinkakaha	PK 06+930	PK 07+280	350	
Lagbokaha	PK 08+980	PK 09+820	840	
Komborodougou	PK 10+250	PK 13+290	3040	
Gbossokaha	PK 18+860	PK 19+010	150	
Ferké 2 Sucaf	PK 26+120	PK 27+240	1120	
Pangaladougou	PK 33+200	PK 33+680	480	
Kouroukouna	PK 38+610	PK 39+070	460	
Traversée en rase campagne				
Rase Campagne	PK 00+000	PK 02+040	2040	80
	PK 03+000	PK 06+930	3930	
	PK 07+280	PK 08+980	1700	
	PK 09+820	PK 10+250	430	
	PK 13+290	PK 18+860	5570	
	PK 19+010	PK 26+120	7110	
	PK 27+240	PK 33+200	5960	
	PK 33+680	PK 38+610	4930	

❖ **Paramètres cinématiques**

Tableau 5 : Paramètres cinématiques du projet

Désignation		Agglomération	Rase campagne
Vitesse de référence V_r (km/h)		**60**	**80**
Longueur de freinage (d_o)		35 m	60 m
Distance d'arrêt (d_a)	En alignement droit	70 m	105 m
	En courbe	80 m	120 m
	Minimale	250 m	325 m

Distance de visibilité de dépassement (d_{vd})	Normale	450 m	500 m
Distance de manœuvre de dépassement (d_{md})		120 m	200 m
Distance de sécurité entre deux véhicules (e)		17 m	29 m

❖ Caractéristiques géométriques du tracé en plan

Tableau 6 : Paramètres géométriques du tracé en plan

	Longueur (km)	**Pourcentage (%)**	**(%) selon la norme ARP**
Alignement droit (AD)	10,005	52,17	≥ 50%
Courbes (CO)	8,163	47,83	AD > CO
Total	18,168	100	100 %
Rayon minimal absolu non déversé RHm	Agglomération		120 m
	Rase campagne		240 m
Rayon minimal normal déversé à 5% RHN	Agglomération		240 m
	Rase campagne		425 m
Rayon au devers minimal 2,5% RH''	Agglomération		450 m
	Rase campagne		650 m
Rayon au devers RH'	Agglomération		600 m
	Rase campagne		900 m

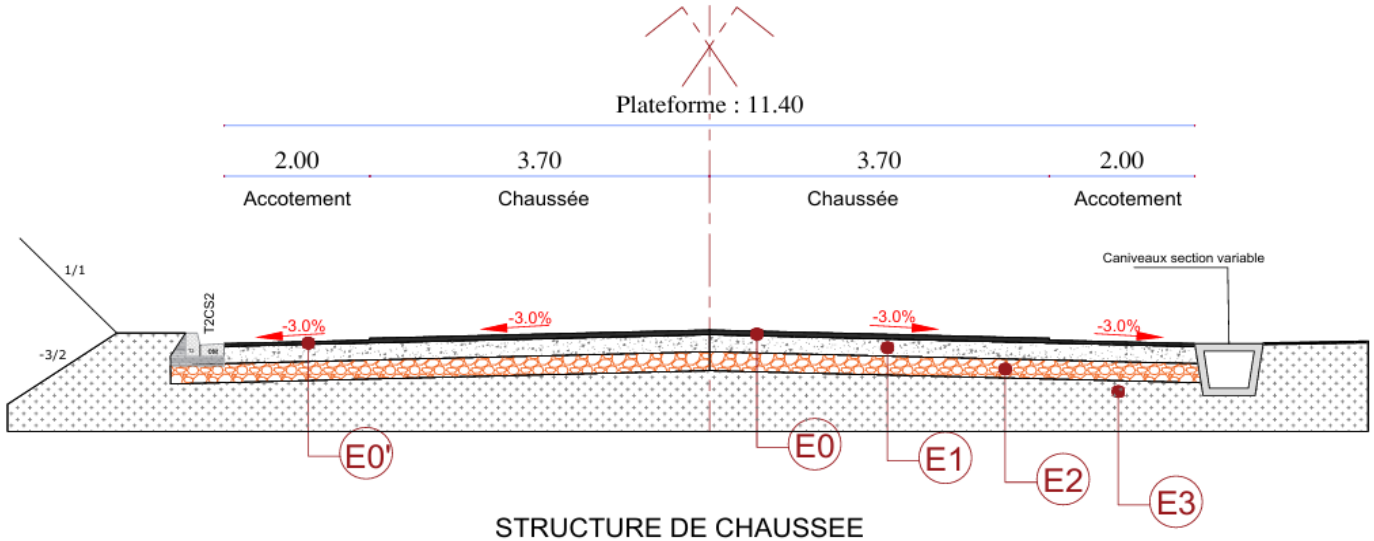
❖ Caractéristiques géométriques du profil en long

Tableau 7 : Paramètres géométriques du profil en long

Profil en long			
Déclivité maximale en rampe π	Agglomération		7%
	Rase campagne		6%
Rayon en angle saillant RV	Agglomération	Chaussée unidirectionnelle	Minimal absolu = 1 500 m
			Minimal normal = 3 000 m
		Chaussée bidirectionnelle	Minimal absolu = 1 600 m
			Minimal normal = 4 500 m
	Rase campagne	Minimal absolu	4 500 m
		Minimal normal	10 000 m

Rayon en angle entrant RV'	Agglomération	Minimal absolu	1 500 m
		Minimal normal	2 200 m
	Rase campagne	Minimal absolu	2 200 m
		Minimal normal	2 200 m
Rayon assurant une bonne distance de visibilité RVD	Agglomération		6 500 m
	Rase campagne		11 000 m

PROFIL EN TRAVERS TYPE 1: TRAVERSEE AGGLOMERATION

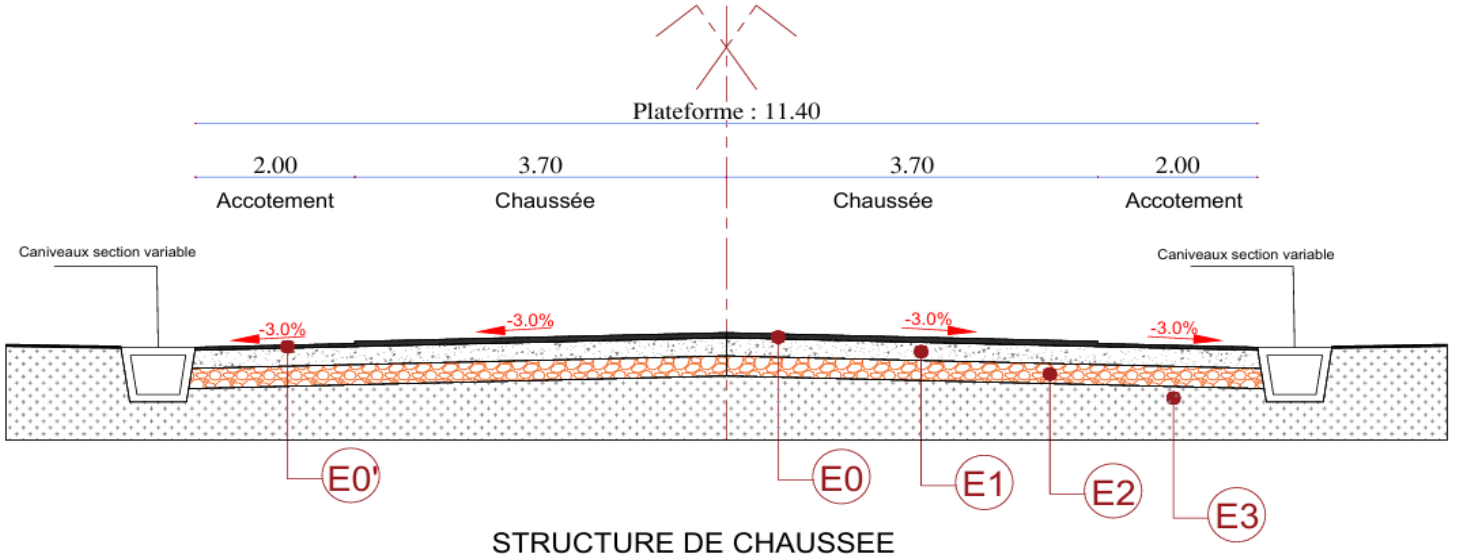


STRUCTURE DE CHAUSSEE

Désignation	Epaisseur (cm)	Nature
E0	05	Couche de roulement (Béton Bitumineux 5cm + ES Mono couche)
E0'	03	Accotement (Béton Bitumineux 3cm+ES monocouche)
E1	18	Couche de base (GLC à 3%)
E2	20	Couche de fondation (GLn)
E3	-----	Plateforme

Id	Date d'édition :	Observations	Etabli par	REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE				N° PROJET :	RKKK
----	02 Février 2026	----	SORO Tedjota Bakary					PHASE :	EXE
----	----	----	----					EMETTEUR :	BET
Approuvé par	Statut d'approbation : Sans réserve	Approuvé	Vérifié par					TYPE :	RAP
OUATTARA N'Golo		ALLOU Boniface	KOUAME Roger	UNION - DISCIPLINE - TRAVAIL MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DE L'ENTRETIEN ROUTIER	AGENCE DE GESTION DES ROUTES	CONSEIL INGÉNIERIE RECHERCHE ET MANAGEMENT DES AFFAIRES	SOCIETE DE CONSTRUCTION ET RENOVATION	ECHELLE :	1/1000
				MAITRE D'OUVRAGE	MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE	MAITRE D'OEUVRE	Entreprise d'exécution	EDITION :	FEVRIER 2026

PROFIL EN TRAVERS TYPE 2: TRAVERSEE AGGLOMERATION

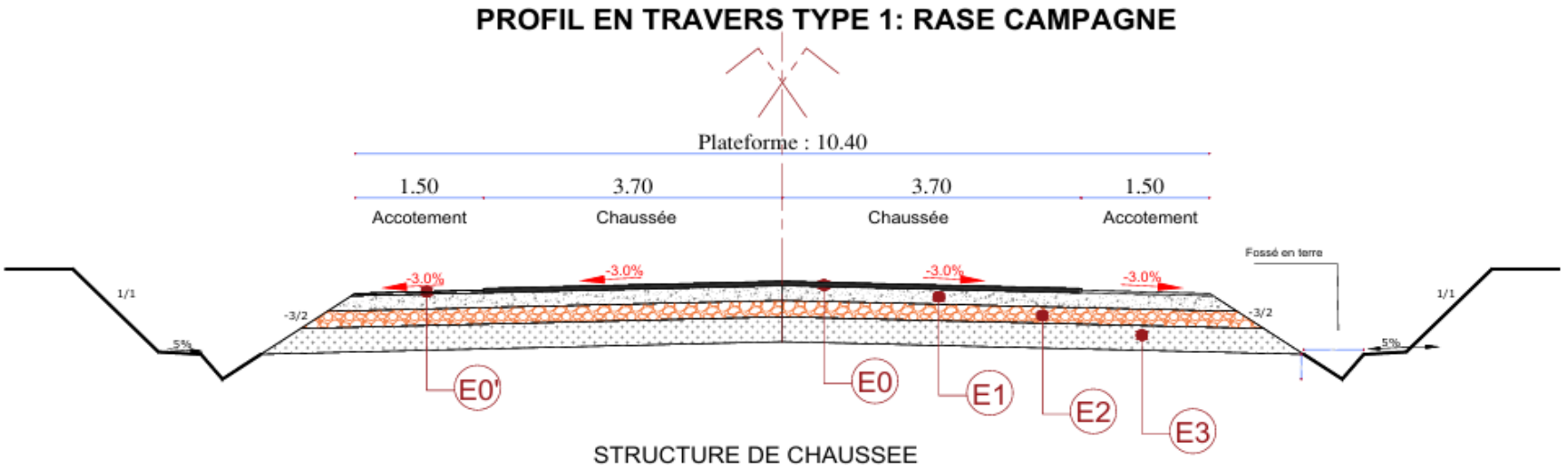


STRUCTURE DE CHAUSSEE

Désignation	Epaisseur (cm)	Nature
E0	05	Couche de roulement (Béton Bitumineux 5cm + ES Mono couche)
E0'	03	Accotement (Béton Bitumineux 3cm+ES monocouche)
E1	18	Couche de base (GLC à 3%)
E2	20	Couche de fondation (GLn)
E3	-----	Plateforme

Id	Date d'édition :	Observations	Etabli par	REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE				N° PROJET :	RKKK
----	02 Février 2026	----	SORO Tedjota Bakary					PHASE :	EXE
----	----	----	----					EMETTEUR :	BET
Approuvé par	Statut d'approbation : Sans réserve	Approuvé	Vérifié par					TYPE :	RAP
OUATTARA N'Golo		ALLOU Boniface	KOUAME Roger	UNION - DISCIPLINE - TRAVAIL MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DE L'ENTRETIEN ROUTIER	AGENCE DE GESTION DES ROUTES	CONSEIL INGÉNIERIE RECHERCHE ET MANAGEMENT DES AFFAIRES	SOCIETE DE CONSTRUCTION ET RENOVATION	ECHELLE :	1/1000
				MAITRE D'OUVRAGE	MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE	MAITRE D'OEUVRE	Entreprise d'exécution	EDITION :	FEVRIER 2026

PROFIL EN TRAVERS TYPE 1: RASE CAMPAGNE

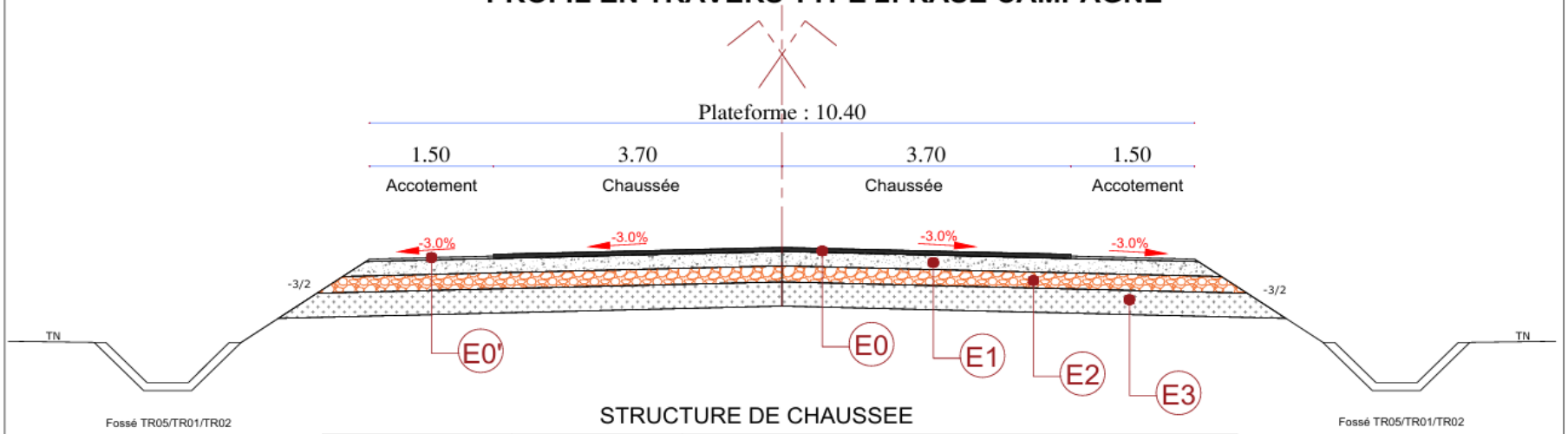


STRUCTURE DE CHAUSSEE

Désignation	Epaisseur (cm)	Nature
E0	05	Couche de roulement (Béton Bitumineux 5cm + ES Mono couche)
E0'	--	
E1	18	Couche de base (GLC à 3%)
E2	20	Couche de fondation (GLn)
E3	---	Plateforme

Id	Date d'édition :	Observations	Etabli par					N° PROJET :	RKKK
--	02 Février 2026	--	SORO Tedjota Bakary					PHASE :	EXE
--	--	--	--					EMETTEUR :	BET
Approuvé par	Statut d'approbation :	Approuvé	Vérifié par					TYPE :	RAP
OUATTARA N'Golo	Sans réserve	ALLOU Bonifice	KOUAME Roger	MAITRE D'OUVRAGE	MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE	MAITRE D'OEUVRE	Entreprise d'exécution	ECHELLE :	1/1000
								EDITION :	FEVRIER 2026

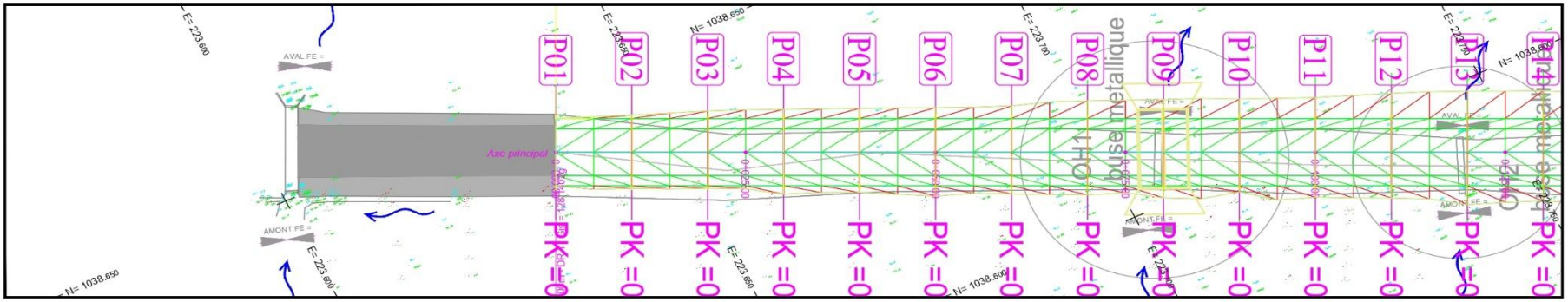
PROFIL EN TRAVERS TYPE 2: RASE CAMPAGNE

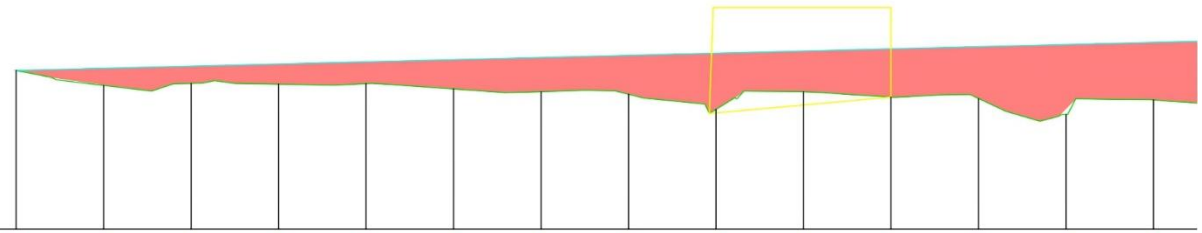


STRUCTURE DE CHAUSSEE

Désignation	Epaisseur (cm)	Nature
E0	05	Couche de roulement (Béton Bitumineux 5cm + ES Mono couche)
E0'	--	
E1	18	Couche de base (GLC à 3%)
E2	20	Couche de fondation (GLn)
E3	---	Plateforme

Id	Date d'édition :	Observations	Etabli par	REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE				N° PROJET :	RKKK
.....	02 Février 2026	.....	SORO Tedjota Bakary	UNION - DISCIPLINE - TRAVAIL				PHASE :	EXE
.....	.....	.....	.....	MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DE L'ENTRETIEN ROUTIER	AGENCE DE GESTION DES ROUTES	CONSEIL INGÉNIERIE RECHERCHE ET MANAGEMENT DES AFFAIRES	SOCIETE DE CONSTRUCTION ET RENOVATION	EMETTEUR :	BET
Approuvé par	Statut d'approbation : Sans réserve	Approuvé	Vérifié par					TYPE :	RAP
OUATTARA N'Golo		ALLOU Boniface	KOUAME Roger	MAITRE D'OUVRAGE	MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE	MAITRE D'OEUVRE	Entreprise d'exécution	ECHELLE :	1/1000
								EDITION :	FEVRIER 2026





PC : 328.00 m

Numéro de profils en travers	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14
Altitudes TN	332.10	331.71	331.77	331.75	331.76	331.62	331.55	331.49	331.09	331.55	331.41	331.38	330.96	331.34
Altitudes Projet	332.10	332.16	332.21	332.27	332.32	332.38	332.44	332.49	332.55	332.60	332.66	332.71	332.77	332.83
Ecarts Projet - TN	0.00	0.44	0.45	0.52	0.56	0.76	0.88	1.01	1.45	1.05	1.25	1.34	1.81	1.48
Abcisses	0+000.00	0+010.00	0+020.00	0+030.00	0+040.00	0+050.00	0+060.00	0+070.00	0+080.00	0+090.00	0+100.00	0+110.00	0+120.00	0+130.00
Distances partielles	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.
Pentes et rampes														
Alignements droits et courbes														
Dévers Gauche														
Dévers Droit														

Annexe 2 : Géotechnique routière

L'objectif de cette campagne était double : d'une part, la reconnaissance de la nature des sols supports dans l'emprise du projet, la considération des ressources en matériaux disponibles. Cette étape est cruciale pour valider leur réutilisation dans la structure de chaussée, de la mise en remblai jusqu'à la couche de base. Pour garantir des résultats fiables, l'approche a été guidée par les impératifs de progressivité et de globalité, assurant ainsi une couverture exhaustive et cohérente de la zone d'étude.

II.2. Classification ivoirienne des sols régional

Le cadre géologique du site d'étude est défini par la classification historique du Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics (LBTP), dès 1977, le territoire national a été segmente en sept entités géotechniques distinctes, numérotées de R1 à R7. Compte tenu de sa situation géographique dans le Grand Nord ivoirien, à environ 12km de Korhogo, l'emprise du projet se rattache à la région R5. La configuration géologique ainsi que la cartographie de ces différentes zones de répartition sont détaillées respectivement dans le

- **Diagnostic géotechnique**

La stratégie de reconnaissance a reposée sur l'exécution d'excavations à ciel ouvert, pratiquées manuellement selon un maillage régulier de 200 mètres. Les prélèvements ainsi obtenus ont été transférés vers l'unité de laboratoire de la base technique afin d'y subir une batterie d'analyses d'identification. La nomenclature complète de ces examens, ainsi que les référentiels normatifs correspondants, sont détaillées ci-dessus.

❖ **Caractérisation de la plateforme support de chaussée**

Le choix final de la structure ne peut être arrêté qu'une fois les terrassements achevés, moment où la nature réelle des matériaux et leurs conditions de compactage sont confirmées. Sur la base des essais d'identification et de portance, la plateforme a été catégorisée selon les standards du Centre Expérimental et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP) comme suit :

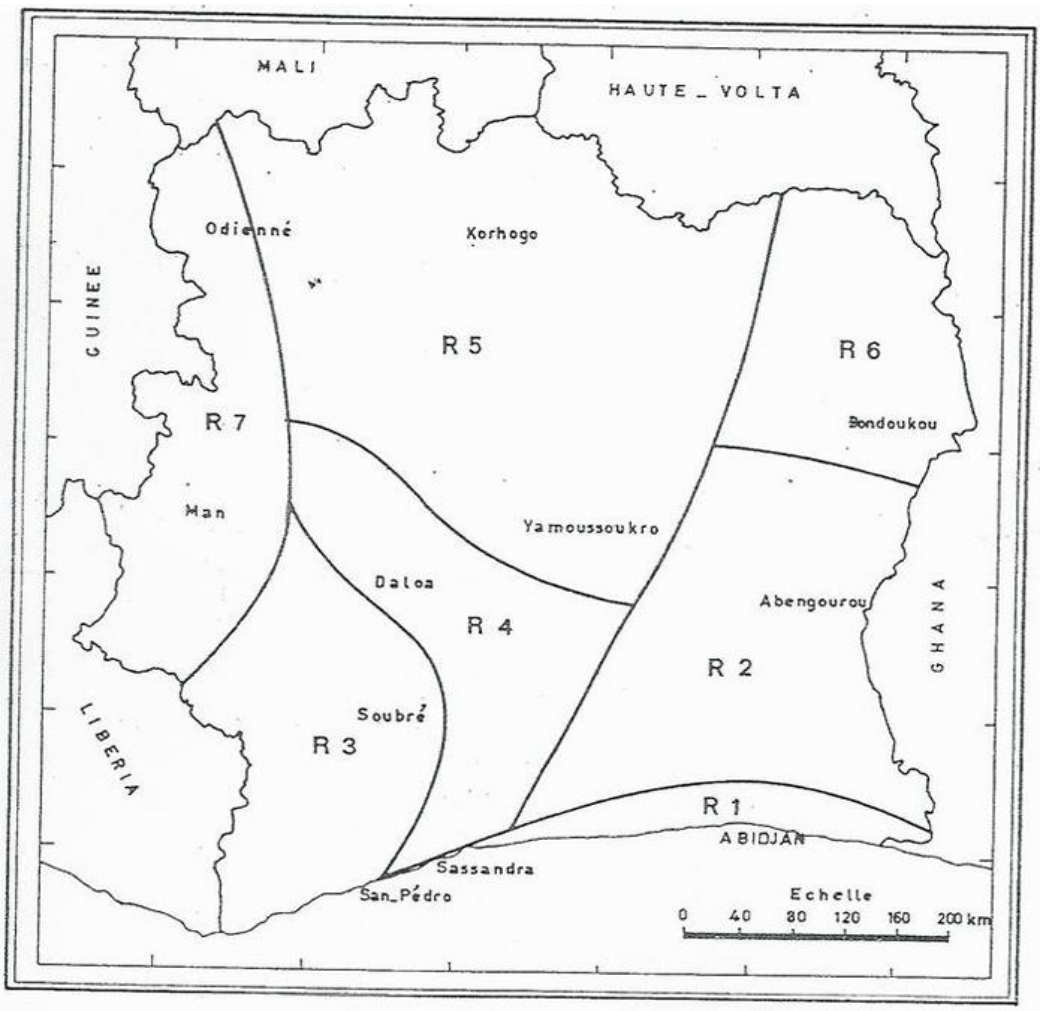


Figure 12 : Carte de répartition des limites géographiques des sols en fonction des régions en Côte d'Ivoire (LBTP, Septembre 1977)

Tableau 8 : Classification des zones géologique de la Côte d'Ivoire selon le LBTP

Région	Pédologie prépondérante	Type de climat	Observations liées aux problèmes routiers
R_1	Sables plus ou moins argileux	Equatorial	Milieu sableux a nappe phréatique haute (sols inondables) et pauvre en granulats fins. Pour trafic modéré, fondation en sable traité au ciment/bitume ; pour trafic lourd, la fondation en sable traité est requise.
R_2	Sols ferrallitiques fortement desaturés	Equatorial	Sols forestiers riches en graveleux quartzitiques plastiques (G2/G3) et schistes humides. La structure standard associe des graveleux naturels en fondation et graveleux-ciment en base. Zone très favorable au sand-asphalt.
R_3	Sols ferrallitiques fortement desaturés	Equatorial	Similaire à R_2 , mais sur un socle de granite masqué. On utilise classiquement des graveleux naturels en fondation et stabilisées au ciment en base. La roche granitique locale peut être concassé pour la couche de base.
R_4	Sols ferrallitiques moyennement desaturés	Equatorial de transition	Transition avec des matériaux de meilleure qualité du Sud (G2/G3) vers le Nord (G1/G2) et un socle granitique plus affleurant. Base en graveleux-ciment au Sud et en graveleux naturels (ou roche concassé) au Nord.
R_5	Sols ferrallitiques faiblement desaturés ou sols ferrugineux	Tropical ou soudanais	Zone à forte présence de graveleux ferrugineux (G1/G2), de carapaces latéritiques et d'arènes sableuses. Pour trafic modéré, la structure économique est privilégiée pour l'ensemble des assises.
R_6	Sols ferrugineux tropicaux	Tropical ou soudanais	Analogue à R_5 (matériaux G1/G2) avec un couvert végétal plus faible et un risque d'érosion des sables. La solution de référence reste le « Tout-graveleux-Naturel».
R_7	Sols ferrallitiques fortement desaturés	Régime de montagne	Relief montagneux caractérisé par un bon drainage naturel, des risques d'érosion et une abondance de roches granitiques. L'accès direct la roche massive rend le tout-venant (TV) concassé techniquement et économiquement très compétitif.

Puisque la zone d'étude se situe dans le Nord de la Cote d'Ivoire, à environ 21 km de Korhogo, elle se rattache géotechniquement a la région R_5 du catalogue. Cette zone se caractérise principalement par l'abondance de graveleux ferrugineux de qualité G17G2 et de carapaces latéritiques adaptés aux structures de chaussée.

II.3. Processus d'dentification géotechnique des sols

Les investigations géotechniques prévoient la réalisation de puits à ciel ouvert (sondages manuels) espacés de 200 mètres. Les prélèvements d'échantillons issus de ces excavations sont acheminés au laboratoire de la base technique pour identification. Les différents essais programmes sont :

Tableau 9 : Essais de laboratoire pour l'identification et la classification des sols routiers

Désignation de l'essai	Référentiel normatif	Objectif de la caractérisation	Matériaux concernés
Teneur en eau	NF P94-050	Quantification de la massique d'eau (W%) présente dans le sol.	Tout type de matériau routier
Analyse granulométrique par tamisage	NF P94-056	Détermination de la courbe de répartition des grains au moyen d'une série de tamis calibrés.	Tout type de matériau routier
Analyse granulométrique par sédimentometrie	BNQ 2501-025/NQ 2560-040	Caractérisation dimensionnelle des particules microscopiques constituant le squelette fin du sol.	Tout type de matériau routier
Limites d'Atterberg	NF P94-051	Détermination des seuils de liquidité et de plasticité (sur le passant à 400 µm) pour évaluer la sensibilité à l'eau.	Tout type de matériau routier
Proctor modifié	NF P94-093	Identification des références de compactage : masse volumique sèche maximale et teneur en eau optimale.	Tout type de matériau routier
CBR (California Bearing Ratio)	NF P94-078	Evaluation de la résistance au poinçonnement du sol compacté selon sa densité, son niveau d'imbibition et les charges appliquées.	Tout type de matériau

II.2.1. Résultats et interprétations des essais géotechniques

Afin d'alléger la présentation, seuls les résultats obtenus à un intervalle de 800 mètres seront exposés dans ce document. Néanmoins, l'ensemble des données recueillies au pas réel du projet, soit tous les 200 mètres, est rigoureusement pris en compte pour établir la classification de la plateforme de support.

Tableau 10 : Résultats des essais géotechniques de la section 01 (du PK 00+030 au PK 10+000)

Désignation des sondages à partir de KARAKORO	Position et partie de la chaussée	W% (Naturelle)	Profondeur Sondage (m)	Epaisseur	Nature du matériau prélevé	D_{max} (mm)	% Passants									Limite de plasticité (%)	Indice de plasticité IP
							40	31,5	20	10	5	2	1	0,5	0,08		
1	PK00+030 Gauche	3,95	0,60	0,6	Sable argileux marron	16	100	100	100	99,6	96,6	88,2	78,3	53,5	14,1	Indéterminable	
2	PK00+500 Droite	9,17	0,65	0,65	Graveleux latéritique	25	100	100	98,2	91,3	70,4	48,3	40,7	32,9	25,7	33	18
3	PK01+000 Gauche	5,71	0,70	0,7	Graveleux latéritique	25	100	100	98,4	94,6	80,9	58,6	51,2	38,4	16	29	13
4	PK01+500 Droite	7,3	0,65	0,65	Graveleux	25	100	100	99,6	93,2	69,8	34,2	28	20,2	8,9	30	12
5	PK02+000 Gauche	5,48	0,40	0,4	Graveleux	25	100	100	98,4	91,5	68,9	41,4	34,9	25	7,5	34	18
6	PK02+500 Droite	4,6	0,70	0,7	Sable argileux peu graveleux	25	100	100	99,3	98,9	94	79	71,5	49,8	15,2	58	33
7	PK03+000 Gauche	11,11	0,60	0,6	Argile peu Graveleux Rougeâtre	25	100	100	99,3	98,3	87,9	61,7	57	53,1	42,2	58	33
8	PK03+500 Droite	17,1	0,60	0,6	Latérite peu schisteux	16	100	100	100	99,1	94,5	87,9	83,8	76	60,4	68	37
9	PK04+000 Gauche	13,9	0,80	0,6	Sable argileux Rougeâtre	16	100	100	100	99,5	97,7	91,4	86,4	73,6	46	61	33
10	PK04+500 Droite	5,93	0,90	0,7	Sable argileux Grisâtre	25	100	100	99,2	95,4	82,7	70,1	67	62,1	17,1	28	12
11	PK05+000 Gauche	12,11	0,70	0,7	Graveleux Rougeâtre	25	100	100	99,3	94,6	74,9	46,5	39,1	32,9	24,3	59	29
12	PK05+500 Droite	15,74	0,65	0,65	Graveleux latéritique Rougeâtre	20	100	100	100	95,5	78,7	58,3	49,5	42,8	31,4	56	32
13	PK06+000 Gauche	8,7	0,45	0,45	Graveleux latéritique	31,5	100	100	98,7	88,2	61,1	32,3	24,5	18,5	10	28	15
14	PK06+500 Droite	8,46	0,85	0,65	Sable argileux Grisâtre	16	100	100	100	98,2	92,7	86,8	76,3	68,9	36,9	56	32

15	PK07+000 Gauche	10,37	0,85	0,7	Graveleux	25	100	100	98,9	87,7	62,3	38,4	29,8	24	15,2	33	18
16	PK07+500 Droite	9,89	0,75	0,75	Argile peu Graveleux	25	100	100	99,4	96,4	83,5	64,2	58,8	52	40,3	59	33
17	PK08+000 Gauche	8,22	0,75	0,75	Graveleux Rougeâtre	25	100	100	99,5	94,7	76,4	52,8	45,1	37,8	24,2	54	28
18	PK08+500 Droite	6,16	0,60	0,6	Latérite peu Graveleuse	31,5	100	100	96,4	89	74,5	65,3	63,6	62,8	46,4	64	35
19	PK09+000 Gauche	15,74	0,60	0,6	Latérite peu Graveleuse	25	100	100	98,9	96,7	87,9	70,4	65,9	63,3	54,2	72	40
20	PK09+500 Droite	8,93	0,70	0,7	Graveleux latéritique Rougeâtre	20	100	100	100	93,9	66,9	40,5	38,1	36,5	25,2	49	26
21	PK10+000 Gauche	11,36	0,60	0,6	Latérite peu Graveleuse	40	100	98,9	90,8	70,6	50,6	36,9	32,7	30,5	24,3	45	23

Désignation des sondages à partir de KARAKORO	W (OPM)	Densité sèche OPM (t/m^3)	CBR 4i, 95% OPM	Désignation des sondages à partir de KARAKORO	W (OPM)	Densité sèche OPM (t/m^3)	CBR 4i, 95% OPM
1	5,46	2,041	10	11	12,1	1,95	9
2	10,4	2,004	12,6	12	11,2	1,851	10,2
3	7,6	2,08	13	13	11,5	2,26	11,6
4	9,2	2,161	8	14	7,8	2,082	4,6
5	8,2	2,16	7,3	15	9,8	2,006	14,6
6	6,7	2,12	9,5	16	10,4	2,016	4
7	11	2,01	17,4	17	10,8	2,013	9,5
8	13,8	1,795	10,2	18	10,5	1,97	5,7
9	16,5	1,89	6,5	19	16,5	1,91	8,3
10	7,2	2,125	6,8	20	9,51	2,03	7

Tableau 11 : Classification géotechnique des sols selon le CEBTP

Classe de sol	CBR	Portance	Type de sol
Essieu équivalent de 13t			
S1	< CBR < 5	Très faible	Sols à minéraux bruts
S2	5 < CBR < 10	Faible	Sols hydromorphes
S3	10 < CBR < 15	Moyenne	Sols halomorphes
S4	15 < CBR < 30	Bonne	Sols ferralitiques
S5	CBR > 30	Très bonne	Sols ferrugineux

Source : Centre Expérimental et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP_1984)

Pour les chaussées sur sols de faible portance (S_1, CBR<5), il faut séparer les sols gonflants des autres cas. Les épaisseurs de structure sont calculées pour un CBR de 2, mais le géotechnicien peut les adapter si la portance varie entre 2 et 5. Pour optimiser le support, on recommande d'intégrer 30 cm de bons matériaux en remblai ou de traiter le sol sur 50 cm en déblai. Enfin, face à un excès d'eau, surélever la plate-forme et installer un drainage profond garanti un bon essorage et améliore la consolidation du sol.

II.2.2. Classification de la plate-forme support

La structure définitive de la chaussée ne peut être arrêtée qu'une fois les terrassements terminés, dès lors que les caractéristiques réelles des sols et les conditions de leur mise en œuvre sont connues.

- **Classe de portance :**

Le dimensionnement définitif de la structure ne peut être arrêté qu'au terme des travaux de terrassement, une fois confirmées les excellentes caractéristiques de la plate-forme de classe **S4** ainsi que les conditions réelles de sa mise en œuvre

- **Classe de plate-forme selon le Guide des terrassements routiers (GTR)**

Contrairement au Guide des Terrassements Routiers (GTR), la norme NF P98-086 relative au dimensionnement des structures neuves introduit une cinquième catégorie de plate-forme. Ce point de divergence entre les deux référentiels se situe précisément au niveau de la classe PF2.

Tableau 12 : Classe de portance des plates-formes selon Le GTR et la norme NF P98-086

Guide des terrassements routiers GTR					
Classe de plate-forme	PF1	PF2		PF3	PF4
Module EV_2 ou E_{DYN2}	20 – 50	50 – 120		120 – 200	> 200
Norme NF P98-086					
Classe de plate-forme	PF1	$PF2^-$	$PF2^+$	PF3	PF4
Module EV_2 ou E_{DYN2}	20 – 50	50 – 80	80 – 120	120 – 200	> 200

Conformément aux exigences du CCTP pour un sol grenu, l'indice CBR de la plate-forme support est fixé à 15. Cette valeur permet d'évaluer le module de déformation a 75 Mpa par la relation E = 5 x CBR, classant ainsi le support en catégorie **$PF2^-$**.

Annexe 3 : Etude du trafic

Dans le cadre d'affiner la conception structurelle, une étude de trafic a été menée en tenant compte de la dynamique socio-économique du secteur. Cette démarche a permis d'actualiser la matrice de flux (en termes de débit global et de silhouette des véhicules) pour extraire les paramètres de charge nécessaires au calcul de la structure.

III.3. Méthodologie de l'étude du trafic

La conduite de cette étude s'est articulée autour d'un processus séquentiel en trois volets :

- L'étape préliminaire : consacrée à la planification logistique et au cadrage de l'enquête :

Elle est consacrée à la planification logistique et au cadrage de l'enquête à travers la définition des objectifs temporels, le choix stratégique des stations de comptage routier et le déploiement sécurisée du matériel de balisage sur le terrain.

- L'étape opérationnelle : dédiée à la collecte effective des données de trafic sur le site :

Dédiée à la collecte des données de trafic sur le site, englobant le recensement directionnel en continu des flux de véhicules, l'identification de l'agressivité des poids lourds et la supervision des aléas.

- L'étape de traitement : visant à analyser et interpréter les informations brutes pour en extraire les indicateurs de dimensionnement :

Elle vise à analyser et interpréter les informations brutes pour en extraire les indicateurs de dimensionnement, notamment par le redressement du TMJA, la projection du trafic cumulé et le calcul final du nombre d'essieux équivalents.

III.3.1. Station de comptage

Les points de collecte de données sont placés à des endroits stratégiques pour compter le nombre de véhicules qui passent chaque jour. Elles permettent de connaitre précisément la part des camions lourds par rapport aux voitures légères. Ces informations sont essentielles pour calculer la solidité de la route et choisir les bons matériaux. Grâce à ces mesures, on assure que la chaussée ne se déformera pas sous le poids du trafic au fil des années.

- Poste 1 : Karakoro - Komborodougou
- Poste 2 : Pangaladougou - Kouroukouna

III.3.2. Collecte et analyse des données

Tableau 13 : Données d'entrées des calculs de dimensionnement de la chaussée

Données d'entrées	Valeurs
Essieu de référence (t)	13
Durée de service (n)	20
Taux d'accroissement annuel du trafic (i)	5%
Année de comptage	2024
Année de mise en service	2028
Coefficient d'agressivité moyen (CAM)	1
Trafic moyen journalier ($TMJA$)	450 (dans les 2 sens)
Coefficient de répartition transversale (CRT)	0,75

III.3.3. Résultats de l'étude du trafic

Grâce aux informations collectées, nous avons pu définir les paramètres de circulation indispensables pour classer le trafic sur ce tronçon. Vous trouverez le détail de ces résultats ci-dessous :

Tableau 14 : Résultat de l'étude du trafic

Description	Formule	Résultat	Classification du trafic
Trafic moyen journalier de l'année	$T_n = TMJA \times CRT$	337.5 PL/J	Le trafic cumulé atteint 6225773,06 PL essieux équivalents. Cette valeur classe l'axe en catégorie T4 comprise entre $2{,}5\times10^5$ et 5×10^5 essieux. Conformément aux seuils de la méthode empirique
Facteur du cumul	$C = \frac{(1+i)^{n-1}}{i}$	50.539	
Trafic cumulée en poids lourds pendant la durée de vie de l'infrastructure	$NPL = 365 \times T_n \times C$	6225773.06 PL	
Trafic en nombre d'essieux standards équivalents	$NE = NPL \times CAM$	6225773.06 PL	

Annexe 4 : Dimensionnement de la structure de chaussée

Concevoir une nouvelle structure de chaussée revient à définir l'agencement, la nature et l'épaisseur des différentes assises. Cette configuration doit permettre d'absorber les sollicitations mécaniques dues au trafic prévisionnel, tout en assurant la pérennité de l'ouvrage sur l'horizon de calcul retenu.

IV.4. Méthode et démarche de dimensionnement de la structure de chaussée

Afin de faire face aux sollicitations verticales induites par un trafic dense, le référentiel de conception des structures routières propose des solutions éprouvées sur des sections de test. Ces typologies incluent :

- **Les chaussées souples**

C'est une structure de chaussée dont l'épaisseur est comprise entre 30 et 60 cm dans laquelle l'ensemble des couches liées qui la constituent, sont traitées aux liants hydrocarbonés. La couche de fondation peut être constituées de grave non traitée.

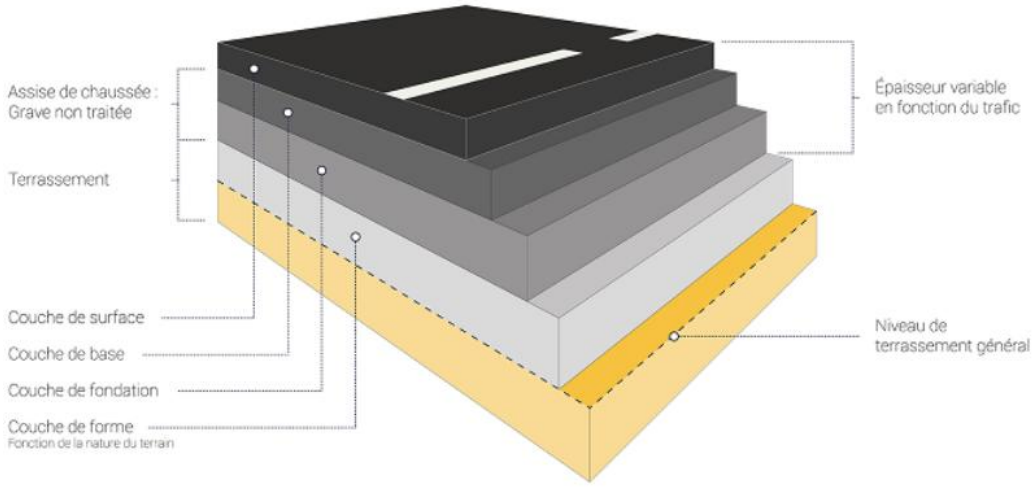


Figure 15 : Structure d'une chaussée souple

- **Les chaussées bitumineuses épaisses**

Les chaussées épaisses possèdent une assise bitumineuse de 15 à 40 cm sous une couche de roulement. Cette assise rigide répartit efficacement les charges verticales pour réduire les contraintes transmises au sol support.

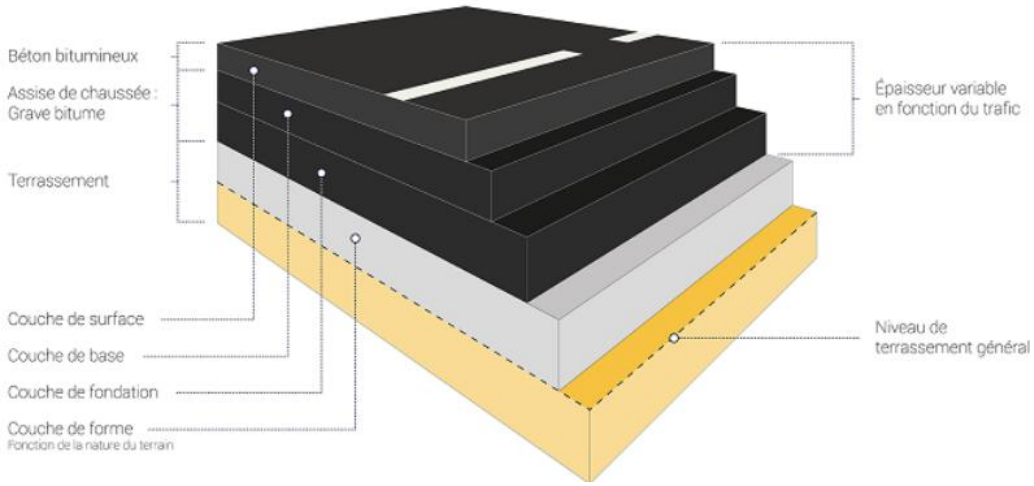


Figure 16 : Structure d'une chaussée bitumineuse épaisses

❖ **Les chaussées semi-rigides**

Elles se composent d'une surface bitumineuse sur une assise de 20 à 50 cm traitée aux liants hydrauliques. Ce modèle est sujet au retrait thermique, un phénomène qui crée des fissures dans l'assise pouvant remonter en surface, détruire l'étanchéité et provoquer des dégradations majeures.

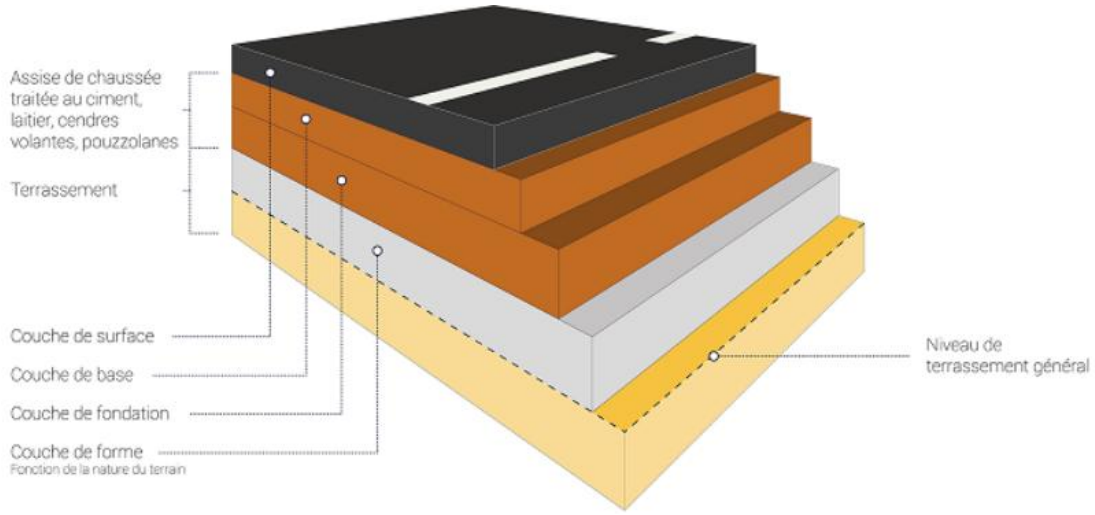


Figure 17 : Structure d'une chaussée semi-rigide

❖ **Les chaussées mixtes**

Ce type de chaussée associent des couches de surface et de base en matériaux bitumineux à une couche de fondation traitée aux liants hydrauliques. Cette configuration permet de diffuser efficacement les charges afin d'atténuer les contraintes subies par le sol.

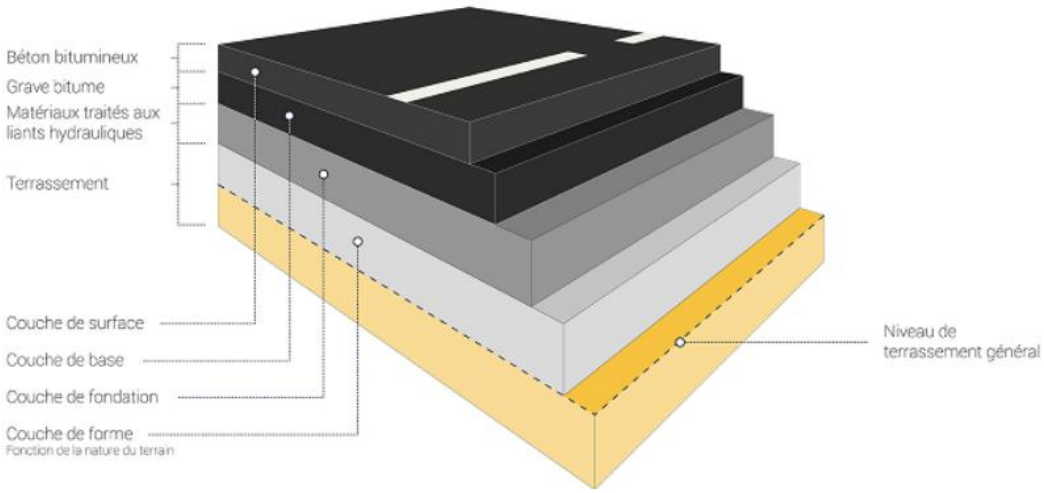


Figure 18 : Structure d'une chaussée mixte

❖ **Les chaussées inverses**

Elles comprennent trois couches :

- Une couche de surface en matériaux bitumineux qui joue un rôle d'étanchéité,
- Une couche granulaire destinée à absorber les fissures de la couche de fondation
- Une couche de fondation, réalisée en matériaux traites aux liants hydrauliques, destinée à partir les efforts et les contraintes au niveau du sol support.

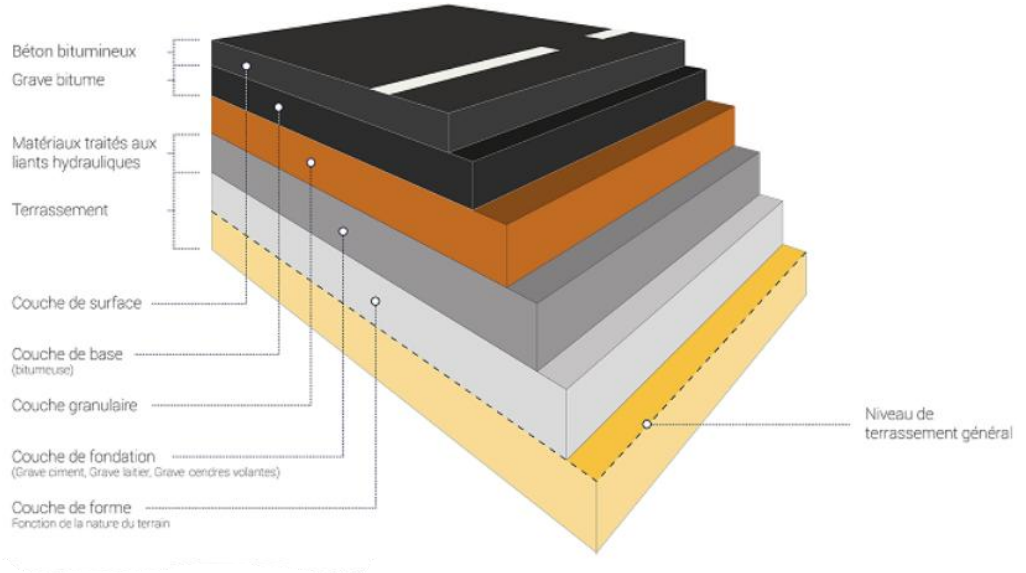


Figure 19 : Structure d'une chaussée inverse

❖ **Les chaussées en béton de ciment**

Structure rigide qui absorbe les effets et protège le sol support. Quatre types :

- Dalles non goujonnées : Dalles (20 à 28 cm) sur fondation maigre (12 à 18 cm) ou traités (15 à 20 cm).
- Dalles goujonnées : Dalles (17 à 23 cm) avec armatures de liaison sur fondation en béton maigre (14 à 22 cm)
- Dalles sans fondation : Epaisses dalles (28 à 39 cm) directement sur couche drainante ou géotextile.
- Béton armé continu (BAC) : Dalles à aciers filants continus selon deux variantes :
    - Type A : Béton (16 à 24 cm) sur fondation en béton maigre (12 à 14 cm)
    - Type B : Béton (18 à 24 cm) sur assise bitumineuse (5 cm) et fondation en sable traitée (50 à 60 cm)

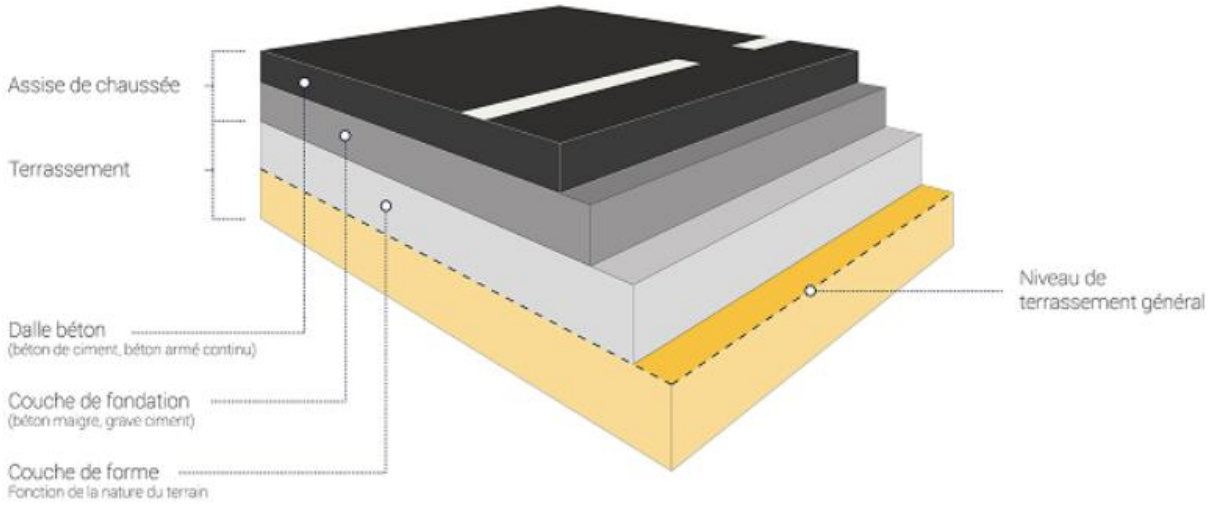


Figure 20 : Structure d'une chaussée en béton en ciment

Bien que trois approches méthodologiques coexistent pour leur structure de calcul structurel (empirique, semi-empirique et rationnelle), notre protocole privilégie une démarche combinée. Nous utilisons initialement le catalogue du CEBTP pour esquisser les premières variantes. Celles-ci sont ensuite soumises à une modification numérique sur Alizé LCPC afin de confirmer leur tenue structurelle et de sélectionner la solution la plus pérenne. La démarche de dimensionnement est donnée par :

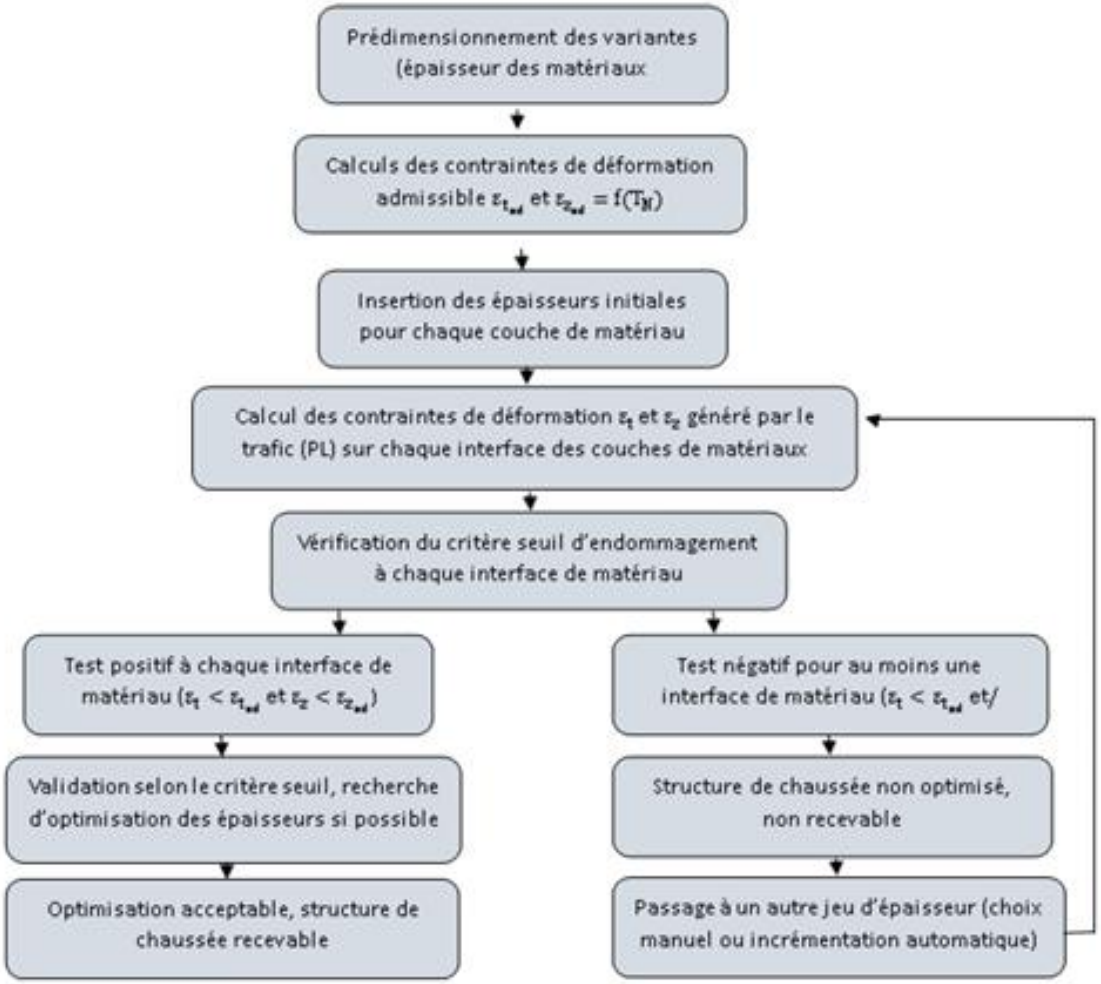


Figure 21 : Cheminement de dimensionnement d'une structure de chaussée

IV.4.1. Choix de la variante de la couche de chaussée

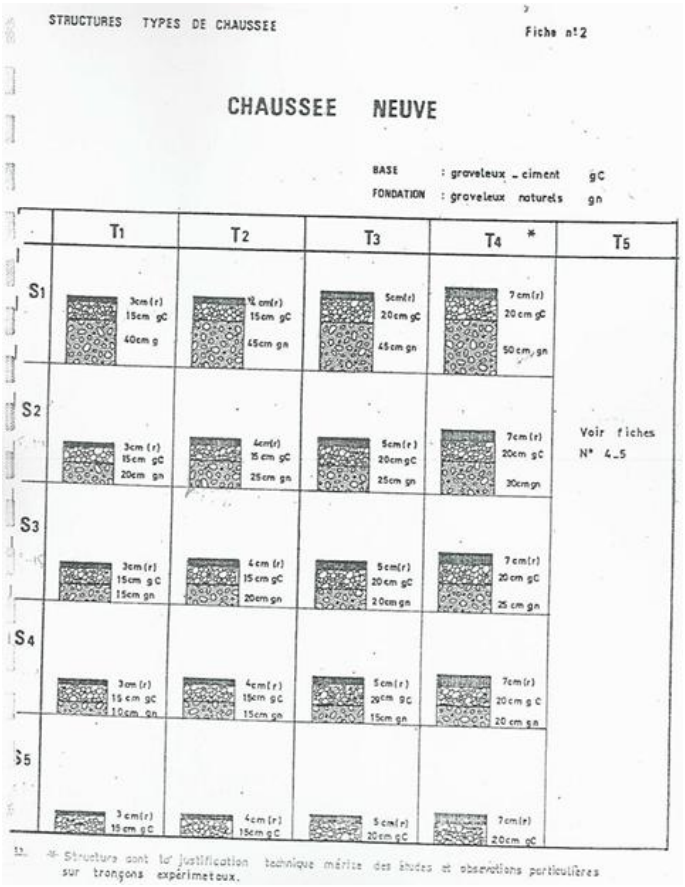
L'approche retenue privilégie l'utilisation des matériaux disponibles à proximité immédiate du chantier afin d'optimiser la logistique. En fonction de l'agressivité du trafic et de la capacité portante du sol support, nous avons consulté les documents de référence, on peut citer :

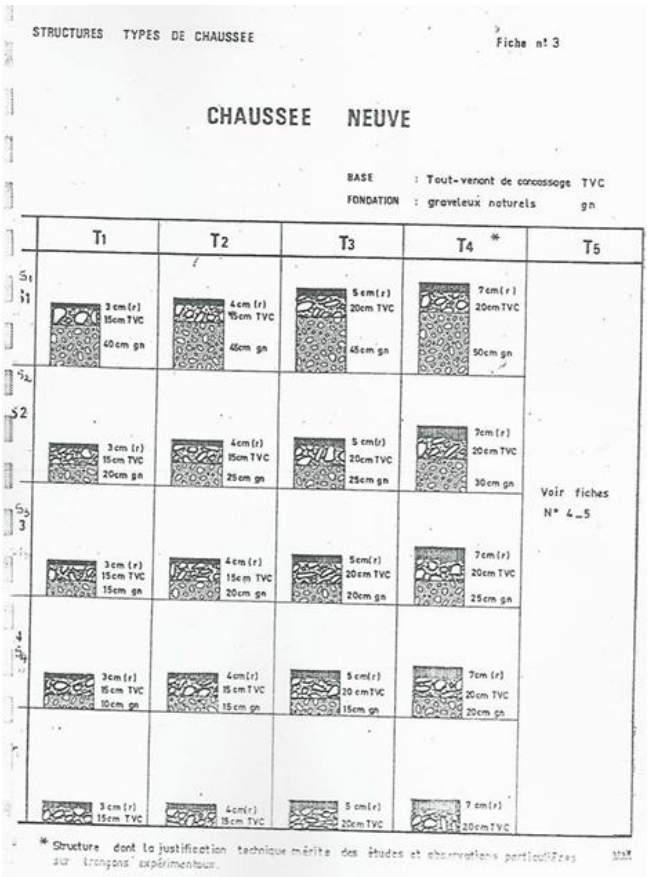
- Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux (CEBTP) ;
- Catalogue 1977 des structures types de chaussées neuves ;
- Catalogue ivoirien du laboratoire du bâtiment et des travaux publics.

Tableau 15 : Proposition des variantes de la structure de chaussée

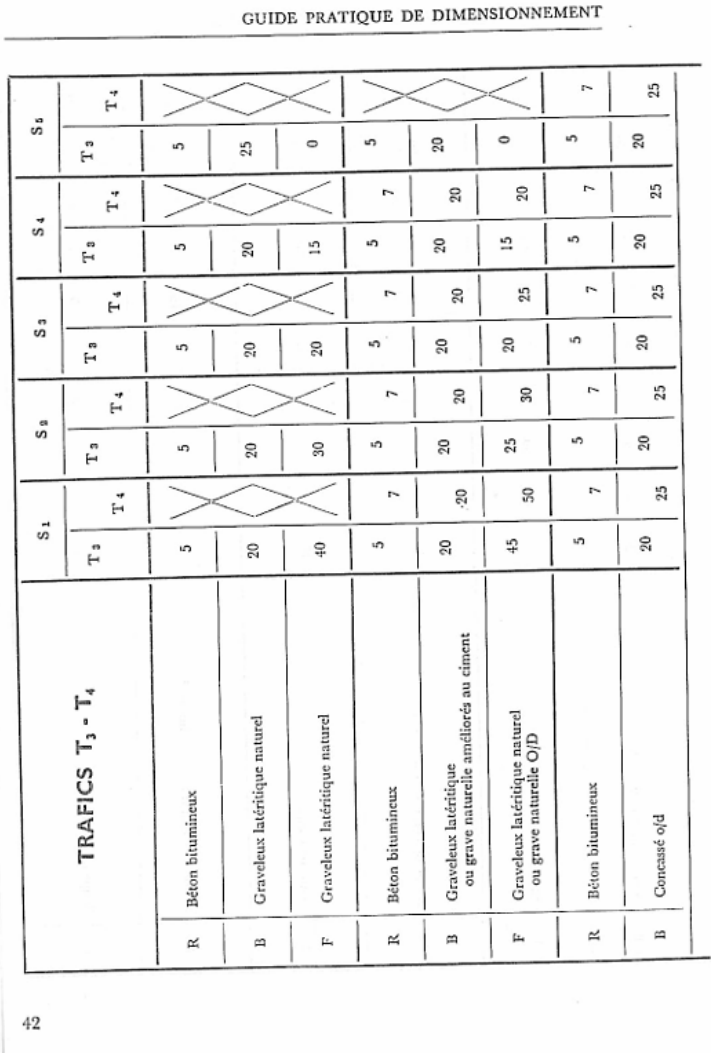
Région	Classe de portance du TN	Classe de la plateforme	Classe du trafic	Variantes de la structure de chaussée			Sources
				Roulement	Base	Fondation	
R5	S4	$PF2^-$	T4	BB (3cm)	GLC (18cm)	GLn (20cm)	Projet selon le TDR
				BB (7cm)	GLC (20cm)	GLn (20cm)	Fiche 2 du LBTP et le CEBTP Page 42
				BB (7cm)	TVC (20cm)	GLn (20cm)	Fiche 3 du LBTP

Source : Laboratoire national du bâtiment et des travaux publics (Côte d'Ivoire)





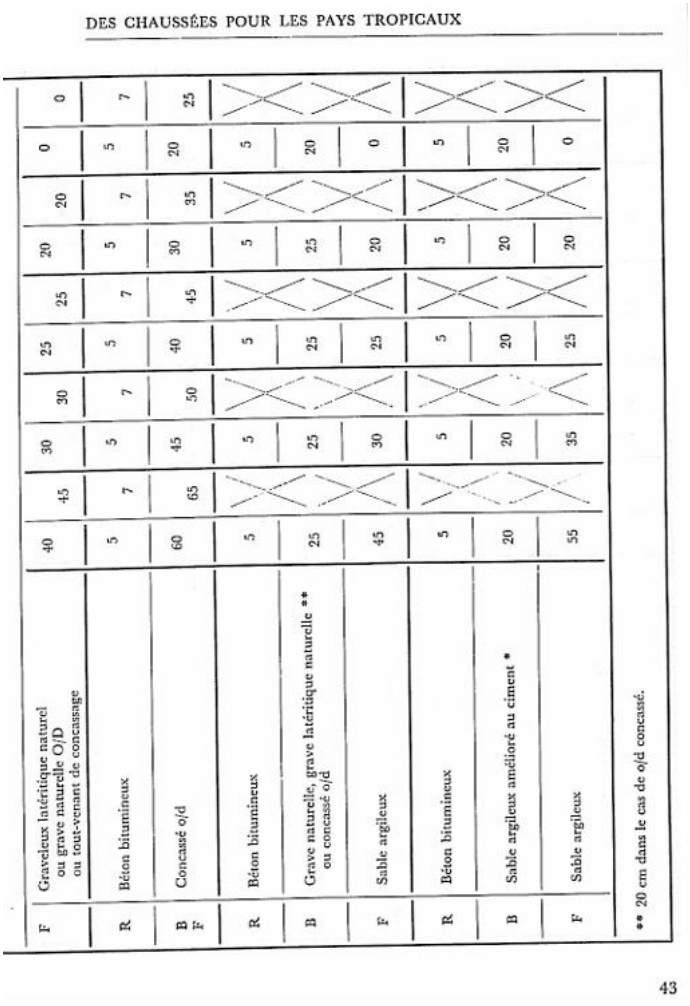
Source : Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux (CEBTP)



GUIDE PRATIQUE DE DIMENSIONNEMENT

TRAFICS T_3 - T_4		S_1		S_2		S_3		S_4		S_5	
		T_3	T_4	T_3	T_4	T_3	T_4	T_3	T_4	T_3	T_4
R	Béton bitumineux	5		5		5		5		5	
B	Graveleux latéritique naturel	20		20		20		20		25	
F	Graveleux latéritique naturel	40		30		20		15		0	
R	Béton bitumineux	5	7	5	7	5	7	5	7	5	7
B	Graveleux latéritique ou grave naturelle améliorés au ciment	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
F	Graveleux latéritique naturel ou grave naturelle O/D	45	50	25	30	20	25	15	20	0	0
R	Béton bitumineux	5	7	5	7	5	7	5	7	5	7
B	Concassé o/d	20	25	20	25	20	25	20	25	20	25

42



DES CHAUSSÉES POUR LES PAYS TROPICAUX

		40	45	30	30	25	25	20	20	0	0
F	Graveleux latéritique naturel ou grave naturelle O/D ou tout-venant de concassage										
R	Béton bitumineux	5	7	5	7	5	7	5	7	5	7
B F	Concassé o/d	60	65	45	50	40	45	30	35	20	25
R	Béton bitumineux	5		5		5		5		5	
B	Grave naturelle, grave latéritique naturelle ** ou concassé o/d	25		25		25		25		20	
F	Sable argileux	45		30		25		20		0	
R	Béton bitumineux	5		5		5		5		5	
B	Sable argileux amélioré au ciment *	20		20		20		20		20	
F	Sable argileux	55		35		25		20		0	

** 20 cm dans le cas de o/d concassé.

43

TRAFICS T_3 - T_4

		S_1		S_2		S_3		S_4		S_5	
		T_3	T_4	T_3	T_4	T_3	T_4	T_3	T_4	T_3	T_4
R	Béton bitumineux	5		5		5		5		5	
B	Sable argileux amélioré au ciment *	20		20		20		20		20	
F	Sable argileux amélioré au ciment ou grave améliorée au ciment	40		25		20		15		0	
R	Béton bitumineux			5	7	5	7	5	7	5	7
B	Grave ciment			20	20	20	20	20	20	20	20
F	Grave latéritique ou grave naturelle ou concassé o/d			30	35	25	30	20	20	0	0

R	Béton bitumineux	5	7			5	7			5	7			5	7			5	7
B	Grave ciment	20	20			20	20			20	20			20	20			20	20
F	Sable argileux amélioré au ciment ou grave améliorée au ciment	40	45			25	30			20	25			0	0			0	0
R	Béton bitumineux	4	5			4	5			4	5			4	5			4	5
B	Grave bitume	15	15			15	15			15	15			15	15			15	15
F	Graveleux naturel ou concassé o/d	45	50			30	35			25	25			15	20			0	0
R	Béton bitumineux	4	5			4	5			4	5			4	5			4	5
B	Grave bitume	15	15			15	15			15	15			15	15			15	15
F	Sable argileux ciment ou graveleux amélioré au ciment ou sable amélioré au bitume	40	45			25	30			20	25			15	15			0	0

TRAFICS T_3 - T_4

		S_1		S_2		S_3		S_4		S_5	
		T_3	T_4	T_3	T_4	T_3	T_4	T_3	T_4	T_3	T_4
R	Béton bitumineux	5		5		5		5		5	
B	Sable bitume *	15		15		15		15		20	
F	Sable argileux	50		30		25		20		0	
R	Béton bitumineux	5		5		5		5		5	
B	Sable bitume * ou grave bitume	15		15		15		15		20	
F	Sol chaux	25		20		20		15		0	
R	Béton bitumineux	5		5		5		5		5	
B	Concassé o/d	20		20		20		20		20	
F	Sol chaux	25		20		15		15		0	

R	Béton bitumineux	5		7		5		7		5		7		5		7		5	
B	Grave ciment	20		20		20		20		20		20		20		20		20	
F	Sol chaux	20		20		20		20		0		0		0		0		0	
R	Béton bitumineux	5		5		5		5		5		5		4		5		5	
B	Concassé o/d	20		20		20		20		20		20		20		15		20	
F	Scories volcaniques (pouzzolanes)	45		30		25		15		0		0		0		0		0	
R	Béton bitumineux			5		5		5		5		7		5		7		5	
B	Grave ciment			20		20		20		20		20		20		20		20	
F	Scories volcaniques (pouzzolanes)			40		30		20		20		20		0		0		0	
R	Béton bitumineux	4		5		5		5		4		5		4		5		5	
B	Grave bitume	15		15		15		15		15		15		15		15		20	
F	Scories volcaniques (pouzzolanes)	50		40		30		20		20		20		0		0		0	

IV.4.2. Vérification du dimensionnement selon le guide LCPC-Sétra

La méthode préconisée par le LCPC-Sétra repose sur un modèle mécanique corrèle à des données expérimentales. En exploitant les résultats d'essais de fatigue, elle définit les limites admissibles de sollicitations internes au sein du corps de chaussée, garantissant ainsi une conception adaptée aux performances réelles des matériaux.

- Matériaux bitumineux : $\varepsilon_{t_{adm}} = \varepsilon_6 . \left(\frac{T_N}{10^6}\right) . k_r . k_c . k_s$
- Matériaux traités aux liants hydrauliques : $\sigma_{t_{adm}} = \sigma_6 . \left(\frac{T_N}{10^6}\right) . k_r . k_c . k_s . k_d$
- Matériaux traités aux liants hydrauliques : $\sigma_{t_{adm}} = \sigma_6 . \left(\frac{T_N}{10^6}\right) . k_r . k_c . ks$
- Matériaux granulaires non liés : $\varepsilon_{z_{adm}} = A . (T_N)^{-0,222}$

Avec :

- $\varepsilon_{t_{adm}}$: Allongement admissible a la base des couches bitumineuses ;
- $\sigma_{t_{adm}}$: Contrainte de traction admissible à la base des couches traités aux liants hydrauliques ;
- $\varepsilon_{z_{adm}}$: déformation verticale admissible à la surface du sol support ;
- $\varepsilon_6 \; et \; \sigma_6$: Contrainte et déformation correspondantes a 10^6 cycles de charge provoquant la rupture ;
- $\sqrt{\frac{E(10℃)}{E(10℃}}$: correction de la loi de fatigue à la température moyenne environnante ;
- b : pente de la droite de fatigue en coordonnées bi-logarithmiques ;
- k_r : coefficient tenant compte du risque de calcul ;
- k_c : coefficient de calage destiné a ajusté les résultats du modèle de calcul au comportement observé de chaussées de même type ;
- k_s : coefficient minorant tenant compte l'effet d'hétérogénéités locales de portance d'une couche de faible rigidité supportant les couches liées ;
- k_d : coefficient minorant tenant compte l'effet des discontinuités pour la couche de base ;
- A : paramètre pris égal à 0,012 pour les chaussées à moyen et fort trafic et à 0,016 pour un trafic faible.
- T_N : nombre d'essieu équivalent de référence de 130 kN

IV.4.3. Vérification du dimensionnement avec le logiciel ALIZE LCPC

➢ **Modélisation et vérification au logiciel**

Les paramètres pris en compte dans le dimensionnement :

- Types de plate-forme : $PF2^{-}$;
- La classe de portance :
- Charge de référence : le standard français jumelé (R = 0,125 m et d = 0,375 m) ;
- La classe de trafic T4 ;
- Trafic journalier : 337,5 PL/J ;
- Trafic cumulé : 6225773,06 PL ;
- Durée de vie prévisionnelle de la chaussée : 15 ans ;

➢ **Calculs des valeurs admissibles et réelles :**

- CAM = 0,8 (BB), 1,3 (GLC) et 1 (PF2) pour les chaussées semi-rigides selon le guide LCPC-sétra 1994.
- Risque = 10% (BB) et 7,5% (GLC) pour un trafic fort selon le catalogue 1998 ;
- Température maximale courante dans la région du projet à l'échelle nationale (Cote d'Ivoire) : 30°C

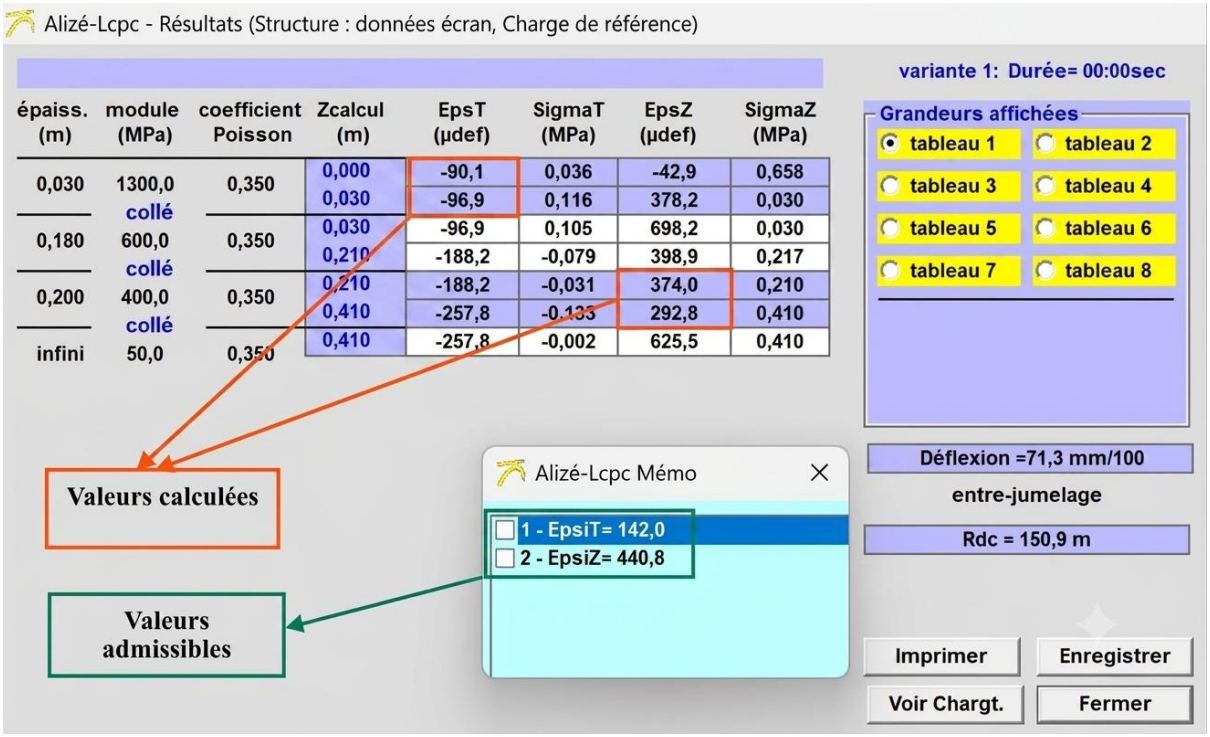


Figure 22 : Vérification des contraintes et déformations au niveau des interfaces de la structure de chaussée

Tableau 16 : Bilan des sollicitations mécaniques (contraintes et déformations) induites par le trafic sur les assises de chaussée

Paramètres de calcul des contraintes et déformations admissibles des couches liées et non liées				
Types de matériaux	Béton bitumineux (BB)	Graveleux latéritique stabilisé à 3% de ciment (GLC)	Tout venant de concassage (TVC)	Graveleux latéritique naturel (GLn)
Module E à 38°C et 10Hz (MPa)	1060	800	400	300
Module E à 38°C et 10Hz (MPa)	7200	1300	-	-
Coefficient de poisson	0,35	0,25	0,35	0,35
Pente -1b	5	15	-	-
Ecart type SN	0,25	1	-	-
Ecart type Sh	0,01	0,025	-	-
Coefficient de calage k_c	1,1	1,4	-	-
Coefficient de risque k_c	0,815	0,743	-	-
Coefficient de plate-forme k_c	$\frac{1}{1,1}$		-	-
Coefficient de discontinuité k_c	-	1	-	-
ε_6	100	-	-	-
σ_6 (MPa)	-	0,75	-	-
Coefficient de roulement $\varepsilon_{t_{adm}}$			142,0	
Couche de base $\sigma_{t_{adm}}$			0,665	
Couche de fondation $\varepsilon_{z_{adm}}$			440,8	

Variantes	**Structures**	**Valeur calculées**	**Vérification**
Variante 1 : BB (3 cm) +GLC (18 cm) + GLn (20 cm)	Couche de roulement	-90,1	Vérifié
		-96,9	
	Couche de base	0,106	Vérifié
		-0,079	
	Couche de fondation	374,0	Vérifié
		292,8	
Variante 2 : BB (7 cm) +GLC (20 cm) + GLn (20 cm)	Couche de roulement	-41,7	Vérifié
		-53,8	
	Couche de base	0,084	Vérifié
		-0,154	
	Couche de fondation	415,4	Vérifié
		285,7	
Variante 3 : BB (7 cm) + TVC (20 cm) + GLn (20 cm)	Couche de roulement	-104,2	Vérifié
		-133,7	
	Couche de base	0,081	Vérifié
		-0,111	
	Couche de fondation	456,9	Non Vérifié
		306,3	

Le choix de la variante 01 se justifie par la possibilité d'exploiter des matériaux locaux disponibles en Côte d'Ivoire, ce qui contribue à réduire le cout du projet.

Entre les différentes structures envisagées pour une durée de vie de 15 ans, la variante BB (3 cm) + GLC (18 cm) + GLn (20 cm) s'impose par sa viabilité économique. Elle permet une économie de liant bitumineux tout en valorisant les emprunts de graveleux naturel situés pas loin de projet. Bien que la mise en œuvre d'une assise en tout-venant de concassage (TVC) soit techniquement envisageable grâce aux ressources granitiques de la région, la distance de transport depuis la carrière Soukpa Bitume Afrique (SBA) à 15 km rend cette solution moins compétitive que l'usage des matériaux disponibles.

Annexe 5 : Signalisation routière

La signalisation routière rassemble l'ensemble des dispositifs conventionnels (panneaux, marquage au sol, signaux lumineux et éclairage) implantés sur le domaine public. Elle a pour double objectif de guider les usagers (automobilistes et piétons) et de garantir leur sécurité. Une signalisation rigoureuse fluidifie le trafic, régule les vitesses et réduit significativement les risques d'accidents.

V.5.1. Signalisation verticale

Les travaux de terrassement vont fortement perturber le trafic existant. Pour éviter les risques de collision entre les usagers et les engins de chantier, en agglomération comme en rase campagne, l'entreprise doit déployer une signalisation provision claire, appuyée par des agents qualifiés.

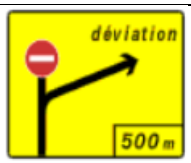
Tableau 17 : Signalisation verticale définitive

Localisation sur l'itinéraire	Implantation latérale et distance	Codification	Illustration	Description
Au niveau des lieux publics	Accotement droit, à 50 - 150m avant l'obstacle	A2b		Annonce la présence d'un ralentisseur ou dos d'âne sur la chaussée.
A chaque intersection	Au droit de l'intersection ou du point d'arrêt	AB4		Obligation de marquer un arrêt complet avant de poursuivre
A proximité des passages piétons	Accotement droit, à 50 - 150m avant le passage	A13b		Signale la proximité d'un passage réservé aux piétons.
A proximité des écolés	Accotement droit, à 50 – 150 m avant la zone concernée	A13a		Indique un lieu fréquenté par des enfants (école, aire de jeux, etc…)
Au niveau des succession de virage	Accotement droit, à 50 - 150m avant le danger	A1c		Annonce plusieurs virages rapprochés, le premier étant à droite.

Au niveau des succession des virages à droite	Accotement droit, à 50 – 150 m avant le danger	A1a		Signale un virage dangereux à droite.
Au niveau d'un pont ou un dalot	Accotement droit, à 50 - 150m avant l'obstacle	A3		Annonce un rétrécissement de la chaussée des deux cotes
150 m avant la zone d'agglomération	Au droit de l'intersection ou du point d'arrêt	B14		Interdiction de dépasser la vitesse indiquée (50 km/h)
150 m après la zone d'agglomération	A la fin de la zone règlementée	B33		Indique la fin de la limitation de vitesse à 50 km/h
Au niveau des passages piétons	Au droit du passage piéton	C20a		Indique l'emplacement d'un passage réservé aux piétons
Au niveau des ralentisseurs	Au droit de l'ouvrage	C27		Signale la présence d'un ralentisseur (dos d'âne)
Au niveau des lieux de stationnement	Au début de la zone de stationnement	C1a		Indique un emplacement ou une aire de stationnement autorisée.

V.5.2. La signalisation verticale temporaire

Tableau 18 : Signalisation temporaire

Implantation latérale et distance	Codification	Illustration	Description
A l'approche du chantier, selon le plan de signalisation temporaire	KD22		Indique un itinéraire de déviation mis en place pour contourner une zone de travaux ou un obstacle
A l'entrée de la déviation	KD42		Informe les usagers de la présence d'une déviation située à 500 m
A la sortie de la déviation	KD69		Signale la fin de l'itinéraire de déviation et le retour à l'itinéraire normal
A l'approche immédiate du chantier	AK14		Avertit les usagers d'un danger ou d'une situation inhabituelle liée à des travaux
Au voisinage direct des travaux	K5a		Sert à délimiter et sécuriser les zones de travaux ou les voies provisions
A 50 à 150 m avant la zone concernée	AK5D		Annonce la présence d'un chantier ou de travaux sur la chaussée
En bordure ou en travers de la zone de chantier	K8		Utilisée pour interdire l'accès à une zone de travaux ou guider la circulation

V.5.3. Signalisation horizontale

Tout comme les dispositifs verticaux, le marquage au sol guide l'usager en structurant l'espace routier. Sa fonction principale est de délimiter les voies de circulation, les zones de stationnement et les bandes d'urgence. Ces tracés, continus ou discontinus selon la modulation retenue, se répartissent comme suit :

- Les lignes continues infranchissable et utilisées dans les zones de visibilités, notamment dans les virages et les zones à fortes rampes ;
- Les lignes discontinues de délimitation des voies, utilisées pour la séparation des voies ;
- Les lignes d'avertissement : Annoncent l'approche d'une ligne continue pour anticiper le rabattement.

Nous avons trois types de modulations de lignes longitudinales avec leurs variantes comme illustrée sur la figure suivante :

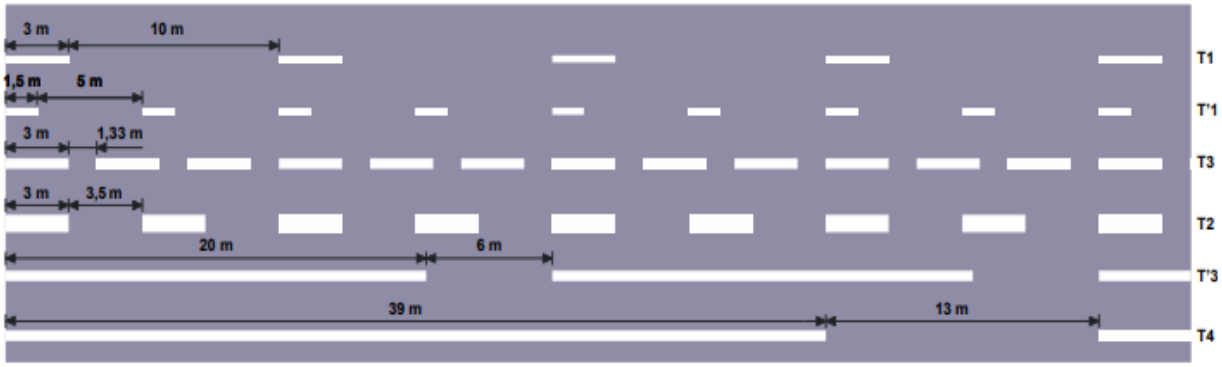


Figure 23 : Illustration des types de modulations de lignes discontinues (Source : IISR 7ème partie marquage au sol)

❖ **Les lignes longitudinales**

- Ligne continue : Marquage longitudinal plein qui sépare les voies de circulation. Il est strictement interdit de la franchir ou de la chevaucher pour effectuer un dépassement ou un changement de direction.

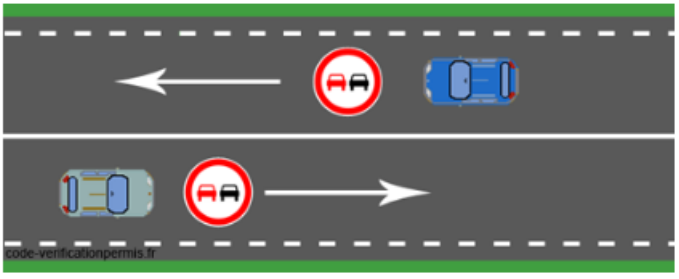


Figure 24 : Ligne continue

- Ligne mixte : Juxtaposition d'une ligne continue et d'une ligne discontinue. Les conducteurs ont l'autorisation de la franchir uniquement si la ligne se situe immédiatement de leur côté de la chaussée.

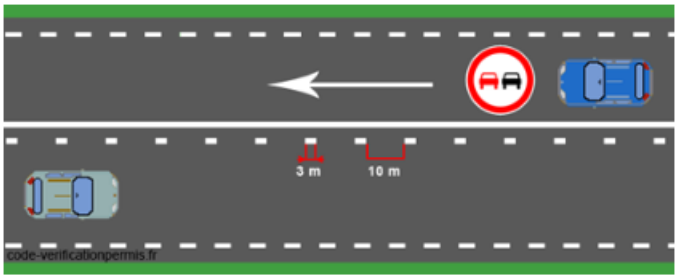


Figure 25 : Ligne mixte

- Ligne de dissuasion : Ligne discontinue aux traits rapproches qui interdit le dépassement des véhicules normaux. Son franchissement est toléré exclusivement pour dépasser un usager très lent (comme un tracteur) ou pour tourner.

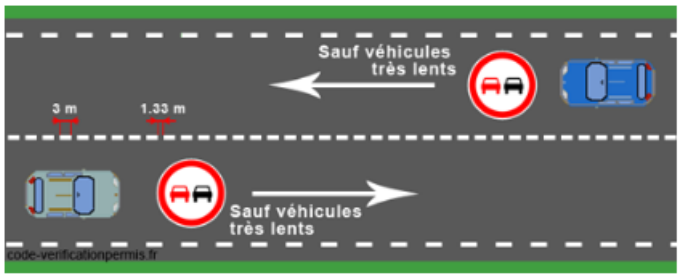


Figure 26 : Ligne de dissuasion

- Ligne d'avertissement et flèches de rabattement : Elle annonce l'approche imminente d'une ligne continue via des traits rapprochés et des flèches courbées. Elle impose aux conducteurs engagés dans un dépassement de se rabattre immédiatement sur la voie de droite.

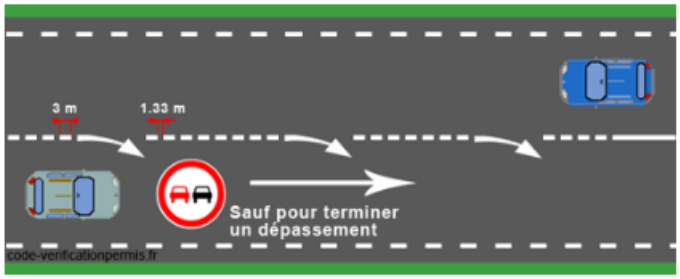


Figure 27 : Ligne d'avertissement et flèches de rabattement

Dans le cadre de notre projet d'étude, nous sommes dans un cas de routes à type une fois deux voies (1×2 voies) alors nous opterons pour la configuration suivante :



Figure 28 : Marquage au sol d'une route de type (1×2 voies)

- Les lignes transversales

Elles sont tracées perpendiculairement à l'axe de la chaussée, définissant les limites géographiques où les conducteurs doivent marquer l'arrêt ou céder le passage face à une signalisation. Qu'il s'agisse de la ligne continue d'un panneau STOP, de la ligne discontinue d'un CEDEZ LE PASSAGE ou des bandes d'une traversée piétonne, elles coordonnent les priorités aux intersections. Ces marquages sont essentiels pour sécuriser les carrefours et garantir une cohabitation fluide entre les véhicules et les usagers vulnérables.

Annexe 6 : Etude hydraulique

Phase maitrise du projet, l'étude hydrologique a pour objectif l'évaluation des débits de pointe afin de dimensionner les ouvrages d'assainissement et de protection de la chaussée contre les inondations. Elle repose sur le traitement des évènements pluvieux extrêmes à travers une approche fréquentielle, couplée à la délimitation géométrique et physique des bassins versants. Pour ce projet, l'analyse climatologique exploite les chroniques de données de la station synoptique de Korhogo ainsi que des postes de Karakoro, Pangarikaha, Komborodougou, Pangalakaha et Kouroukouna.

VI.6.1. Données hydro-climatiques de référence

La météo et le climat de la zone du projet sont étudiés à travers plusieurs indicateurs clés : les pluies (pluviométrie), les températures, l'humidité de l'air, l'évapotranspiration et le niveau d'ensoleillement (insolation). En plus de ces informations générales, nous utilisons les données sur les intensités de pluies les plus forts enregistrées chaque année. Ces dernières sont indispensables pour calculer les volumes d'eau maximaux que la route devra supporter et évacuer.

VI.6.1.1. Analyse des saisons climatiques

- Saison sèche

Ce cycle s'ouvre en Novembre pour prendre fin en Avril. Située à quelque 530 km des côtes du littoral ivoirien, le secteur du projet subit alors un climat de type continental caractérisé par de forts écarts thermiques, un ciel dégagé et une atmosphère poussiéreuse. L'impact de l'harmattan durant les mois de décembre, janvier et février accentue le déficit hydrique. Scientifiquement, le caractère sec de cette saison est validé par le fait que l'évapotranspiration potentielle (ETP) reste supérieure aux hauteurs de pluies.

- Saison des pluies

D'une durée moyenne de six mois (de Mai à Octobre), la période hivernale est marquée par des averses denses, souvent associées à des lignes de grains ou des orages nocturnes. Les abats d'eau les plus sévères se concentrent de juillet à septembre, le mois d'Août concentrant le maximum pluviométrique. Durant cette phase, les mois sont qualifiés d'humides car les apports pluviométriques dépassent systématiquement les valeurs d'évapotranspiration potentielle.

VI.6.1.2. Pluviométrique de la zone d'étude

Tableau 29: Données pluviométriques de la zone du projet

Karakoro		Pangarikaha		Komborodougou		Pangalakaha		Kouroukouna	
Pluie (mm)	Année	Pluie (mm)	Année	Pluie (mm)	Année	Pluie (mm)	Annee	Pluie (mm)	Annee
101	2021	78	2021	59	2021	155	2021	130	2021
78	2020	82	2020	112	2020	132	2020	59	2020
65	2019	129	2019	50.3	2019	95	2019	115	2019
128	2018	89	2018	129	2018	89	2018	89	2018
58.1	2017	57	2017	56	2017	74	2017	48	2017
75	2016	76	2016	60	2016	78	2016	90	2016
62.2	2015	71.5	2015	43	2015	62.1	2015	81.1	2015
87.5	2014	110	2014	90	2014	53	2014	50	2014
118	2013	113	2013	71	2013	77.2	2013	26.5	2013
199	2012	55.2	2012	85	2012	85	2012	47	2012
126	2011	88	2011	51.6	2011	53	2011	31	2011
108	2010	51.8	2010	86.2	2010	56.4	2010	64	2010
45.9	2009	98.7	2009	66.2	2009	81.8	2009	32.1	2009
74	2008	109	2008	53.2	2008	109	2008	56.4	2008
49.1	2007	113	2007	71.8	2007	84.1	2007	23.1	2007
77.3	2006	121.2	2006	109	2006	78.3	2006	37.7	2006
58.9	2005	92.7	2005	90.9	2005	168	2005	46.1	2005
62.7	2004	86.8	2004	95.8	2004	101	2004	109	2004
75.2	2003	56.4	2003	127.4	2003	93.2	2003	40.5	2003
61.4	2002	94.7	2002	77	2002	168	2002	169	2002
111.8	2001	74.6	2001	114.8	2001	65.2	2001	40.1	2001
150.8	2000	61.7	2000	59.7	2000	133.7	2000	69.4	2000
106.2	1999	86.9	1999	50.5	1999	52.5	1999	91.2	1999
56.8	1998	168.1	1998	123.2	1998	72.4	1998	82.2	1998
71.4	1997	75.8	1997	75.8	1997	68.9	1997	76.8	1997
60.6	1996	62.8	1996	116.1	1996	63.4	1996	57.6	1996
46.5	1995	51.9	1995	108.7	1995	76.3	1995	40.3	1995
58.6	1994	60	1994	60.5	1994	106	1994	39.5	1994
77.6	1993	77.6	1993	49	1993	52.4	1993	65.4	1993
45.2	1992	52.3	1992	51.9	1992	112.4	1992	103.1	1992
58.4	1991	76.5	1991	76.6	1991	101	1991	88.4	1991
58.4	1990	51.4	1990	80.6	1990	92	1990	102.2	1990
45.8	1989	88.1	1989	88.1	1989	88.1	1989	121.5	1989
65.1	1988	85.8	1988	53.1	1988	63.3	1988	44.9	1988
111.2	1987	65.6	1987	65.6	1987	79.8	1987	35.7	1987
53.7	1986	51.7	1986	50.5	1986	61.9	1986	57.7	1986
61.3	1985	74.8	1985	91.4	1985	61.2	1985	76.2	1985
85	1984	114.4	1984	75	1984	92	1984	66	1984
70	1983	103.9	1983	48.7	1983	54.3	1983	41.8	1983
100.9	1982	121.8	1982	50	1982	51.8	1982	40	1982
58	1981	91.6	1981	72.4	1981	60	1981	130	1981
72.4	1980	74.1	1980	75.5	1980	90.6	1980	43.8	1980

a. Stations et sources des données climatiques

Les données climatiques utilisées ont été fournies par la Direction de la Météorologie Nationale, rattachée à la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM), ainsi que par la Société IVOIRE COTON.

Tableau 30: Caractéristiques des postes d'observation des variables climatiques

Station	Latitude	Longitude	Type données	Périodes disponibles	Nombre d'années d'observation	Sources
Karakoro	9°23'	5°31'	Pluie	1980-1995 2000-2020	35 ans	SODEXAM & COTON IVOIRE
Pangarikaha	9°22'	5°29'	Pluie	1980-1995 2000-2020	35 ans	SODEXAM & COTON IVOIRE
Komborodougou	9°19'	5°25'	Pluie	1980-1995 2000-2020	35 ans	SODEXAM & COTON IVOIRE
Pangalakaha	9°16'	5°14'	Pluie	1980-1995 2000-2020	35 ans	SODEXAM & COTON IVOIRE
Kouroukouna	9°28'	5°19'	Pluie	1980-1995 2000-2020	35 ans	SODEXAM & COTON IVOIRE

b. Contrôle qualité des données pluviométriques

La vérification de la cohérence des séries pluviométriques a été réalisée au moyen du test d'homogénéité de Wilcoxon à l'échelle annuelle (Siegel,1956). Ce test statistique vise à déterminer si la moyenne de deux sous-échantillons issus d'une même série diffère de manière significative, avec un seuil de risque fixé à 5%. Une différence significative traduit une hétérogénéité de la série, tandis qu'une absence de différence confirme son homogénéité.

L'application de ce test aux données pluviométriques de la zone d'étude, telle que rapportée dans l'analyse de la SODEXAM, atteste de la validité des conditions de normalité des séries retenues pour cette étude.

VI.6.2. Ajustement de la pluie par l'analyse fréquentielle de l'aléa pluviométrique

Au sein du périmètre d'étude, la distribution des précipitations journalières maximales annuelles suit majoritairement une loi Générale des Valeurs Extrêmes de type I (GEV-I).

La caractérisation des évènements rares repose sur deux indicateurs statistiques :

- Période de retour (T) : $T = \frac{1}{1-q} = \frac{1}{p}$

  Avec q :
  - Probabilité au non dépassement $p = F(x)$;
  - Probabilité au dépassement $q = P(x) = 1 - F(x)$.
- Formule de probabilité empirique ou fréquence empirique au non dépassement :
  - $F[x(r)] = \frac{i-a}{n-2a+1}$ avec a ε [0 ; 0,5]
  - Hazen : a = 0,5

La structuration des données influe directement sur les résultats : une organisation par valeurs décroissantes permet de quantifier les probabilités de dépassement, tandis qu'une hiérarchisation croissante définit les probabilités de non-dépassement.

VI.6.2.1. Choix de la période de retour

La période de retour représente la durée moyenne séparant deux évènements naturels d'intensité similaire ou supérieure . L'analyse fréquentielle de l'échantillon révèle un intervalle de récurrence compris entre 12 et 84 ans. Le choix des fréquences de calcul résulte d'un arbitrage entre l'optimisation des coûts d'investissement et la maîtrise des risques liés aux inondations. Conformément aux prescriptions du maître d'ouvrage et aux termes de référence, les niveaux de sécurité retenus sont les suivants :

- Période décennale (10 ans) : pour le dimensionnement des systèmes d'assainissement longitudinaux.
- Période vingtennale (20 ans) : pour la conception des ouvrages de franchissement transversaux

VI.6.2.2. Lois de probabilité adéquates pour l'ajustement des séries de pluies maximales annuelles

Bien que les travaux publiés dans la *Revue de sciences de l'eau «Modélisation statistique des pluies maximales annuelles dans le district d'Abidjan (sud de la Cote d'Ivoire) » Volume 31(2) 147-160,2018* concernant la modélisation des précipitations extrêmes dans le district d'Abidjan soulignent la pertinence de la Loi de Gumbel, une analyse comparative reste indisponible. La littérature scientifique, notamment les travaux de Beirlant et al. (1996), préconise l'usage de cette distribution double exponentielle pour le dimensionnement des infrastructures hydrauliques et des ouvrages d'art. Elle est en effet reconnue comme la forme limite pour l'étude des valeurs maximales au sein d'un échantillon. Dans le cadre de ce projet, l'analyse fréquentielle des hauteurs de pluie journalières maximales a été réalisée via le logiciel Hyfran Plus (Hydrological Frequency Analysis), développée par El ADLOUNI et al. (2008). Afin de garantir la précision des résultats, une démarche critique a été adoptée en confrontant trois modèles statistiques différents sous l'hypothèse d'homogénéité des séries de données. Cette méthode permet d'identifier la Loi offrant l'ajustement le plus rigoureux aux spécificités pluviométriques locales.

La justification théorique de l'application de ces modèles aux valeurs extrêmes annuelles repose sur les principes suivants :

- **Loi de Gumbel ;**
- **Loi de Weibull**

Tableau 31 : Paramètres des lois d'ajustement

Station	Loi de probabilité retenue	Paramètre de la loi		
		Position (mm)	Echelle (mm)	Forme (-)
Karakoro	Fréchet (GEV-II)	59,1	14,4	-0,2
Pangarikaha	Gumbel (GEV-I)	61,4	21,9	0
Komborodougou	Gumbel (GEV-I)	60,7	13,4	0
Pangalakaha	Gumbel (GEV-I)	61,3	21,9	0
Kouroukouna	Gumbel (GEV-I)	39,3	31,7	0

VI.6.2.3. Contrôle du modèle fréquentiel d'ajustement

Apres l'analyse fréquentielle des données pluviométriques sur Hyfran les résultats des lois sélectionnées issues de l'ajustement avec un degré de confiance de 95% accepté sont présentés :

- ✓ **Selon le test graphique**

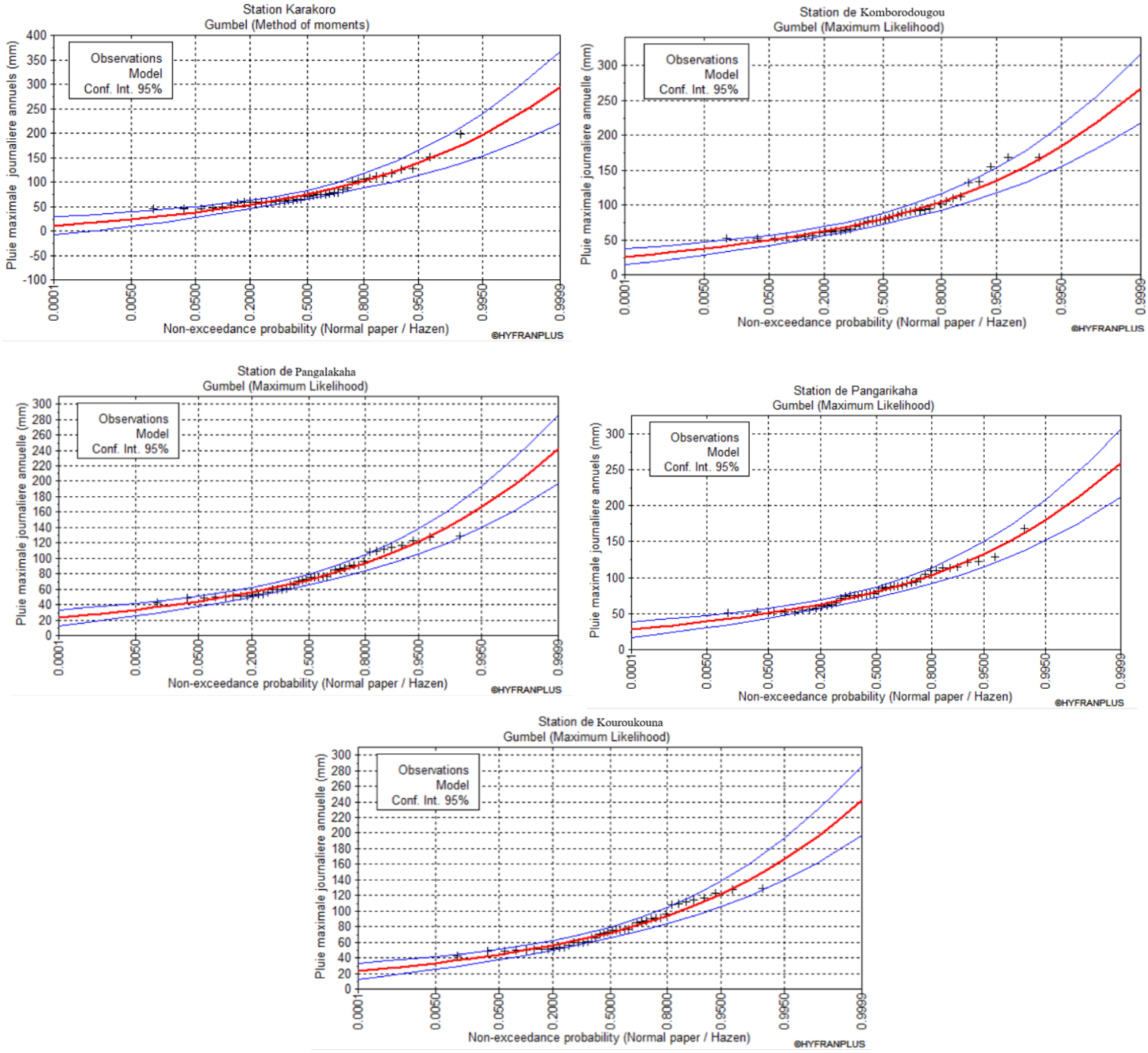


Figure 29 : Ajustement des pluies journalières maximales annuelles

✓ **Selon le test du de χ^2 PEARSON**

Pour évaluer la concordance entre une loi statique et les données pluviométriques observées, on applique le test d'adéquation du χ^2 de Pearson. Le modèle est considéré comme valide si la valeur calculée ($\chi^2_{calculée}$) est inférieure ou égale au seuil critique théorique ($\chi^2_{0,05}$) ; au-delà de cette limite, l'hypothèse d'ajustement est rejetée.

La formule mathématique générale permettant de déterminer cette variable est la suivante :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{K} \frac{(n_i - n_{pi})}{n_{pi}}$$

- **Détermination du degré de liberté (λ)**

Le nombre de degrés de liberté nécessaires pour la lecture de la table statistique se calcule par la relation : $\lambda = K - 1 - p$

Ou les variables sont définies de la manière suivante :

- P : nombre de paramètre prise en compte dans l'ajustement (p = 3 Gumbel et p = 2 Fréchet) ;
- k : nombre de classe (k = 6 Gumbel et Fréchet) ,
- α : seuil significatif du risque d'adéquation (α= 5% = 0,05)

$$\lambda = 6 - 1 - 3 \Rightarrow \boldsymbol{\lambda = 2}$$

Pour un degré de liberté de $\lambda = 2$ et un niveau de confiance de 95% (α = 0,05) , la consultation de la table de Pearson indique une valeur critique de référence :

$$\boldsymbol{\chi^2_{0,05} = 5,99}$$

Tableau 32 : Caractéristiques statistiques des hauteurs de pluies maximales annuelles

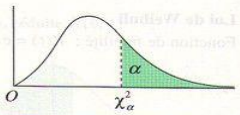
Lois de probabilité	Gumbel		Fréchet		Weibull	
	χ^2	P-value	χ^2	P-value	χ^2	P-value
Karakoro	4.05	0.2558	4.56	0.0961	3.40	0.3311
Pangarikaha	1.45	0.6762	4.56	0.1962	4.68	0.1964
Komborodougou	3.42	0.3311	2.76	0.2376	4.05	0.2558
Pangalakaha	4.26	0.1964	5.58	0.0766	4.62	0.0961
Kouroukouna	2.23	0.5403	2.12	0.3400	2.76	0.4252

L'application du test χ^2 s'est montrée concluante pour la quasi-totalité des modèles, validant ainsi l'hypothèse H_0 pour la loi double exponentielle (Gumbel) au seuil de 5% sur la section 01. Cependant, comme le soulignant Lubes et Masson (1992), ce test présente la limite de ne pas être assez sensible aux écarts importants sur les valeurs extrêmes de l'échantillon. Par conséquent, le seul critère du χ^2 ne suffit pas pour discriminer et sélectionner la meilleure loi d'ajustement pour les précipitations journalières maximales annuelles.

Table de distribution de χ^2 (loi de K. Pearson)

La table donne la probabilité α, en fonction du nombre de degrés de liberté ν, pour que χ^2 égale ou dépasse une valeur donnée χ^2_α.

$$\alpha = P(\chi^2 \geq \chi^2_\alpha)$$



ν	$\alpha = 0{,}990$	$\alpha = 0{,}975$	$\alpha = 0{,}950$	$\alpha = 0{,}900$	$\alpha = 0{,}100$	$\alpha = 0{,}050$	$\alpha = 0{,}025$	$\alpha = 0{,}010$	$\alpha = 0{,}001$
1	0,0002	0,0010	0,0039	0,0158	2,71	3,84	5,02	6,63	10,83
2	0,02	0,05	0,10	0,21	4,61	5,99	7,38	9,21	13,82
3	0,12	0,22	0,35	0,58	6,25	7,81	9,35	11,34	16,27
4	0,30	0,48	0,71	1,06	7,78	9,49	11,14	13,28	18,47
5	0,55	0,83	1,15	1,61	9,24	11,07	12,83	15,09	20,52
6	0,87	1,24	1,64	2,20	10,64	12,59	14,45	16,81	22,46
7	1,24	1,69	2,17	2,83	12,02	14,07	16,01	18,47	24,32
8	1,65	2,18	2,73	3,49	13,36	15,51	17,53	20,09	26,13
9	2,09	2,70	3,33	4,17	14,68	16,92	19,02	21,67	27,88
10	2,56	3,25	3,94	4,87	15,99	18,31	20,48	23,21	29,59
11	3,05	3,82	4,57	5,58	17,27	19,67	21,92	24,72	31,26
12	3,57	4,40	5,23	6,30	18,55	21,03	23,34	26,22	32,91
13	4,11	5,01	5,89	7,04	19,81	22,36	24,74	27,69	34,53
14	4,66	5,63	6,57	7,79	21,06	23,68	26,12	29,14	36,12
15	5,23	6,26	7,26	8,55	22,31	25,00	27,49	30,58	37,70
16	5,81	6,91	7,96	9,31	23,54	26,30	28,84	32,00	39,25
17	6,41	7,56	8,67	10,08	24,77	27,59	30,19	33,41	40,79
18	7,01	8,23	9,39	10,86	25,99	28,87	31,53	34,80	42,31
19	7,63	8,91	10,12	11,65	27,20	30,14	32,85	36,19	43,82
20	8,26	9,59	10,85	12,44	28,41	31,41	34,17	37,57	45,32
21	8,90	10,28	11,59	13,24	29,61	32,67	35,48	38,93	46,80
22	9,54	10,98	12,34	14,04	30,81	33,92	36,78	40,29	48,27
23	10,20	11,69	13,09	14,85	32,01	35,17	38,08	41,64	49,73
24	10,86	12,40	13,85	15,66	33,20	36,41	39,37	42,98	51,18
25	11,52	13,12	14,61	16,47	34,38	37,65	40,65	44,31	52,62
26	12,20	13,84	15,38	17,29	35,56	38,88	41,92	45,64	54,05
27	12,88	14,57	16,15	18,11	36,74	40,11	43,19	46,96	55,48
28	13,57	15,31	16,93	18,94	37,92	41,34	44,46	48,28	56,89
29	14,26	16,05	17,71	19,77	39,09	42,56	45,72	49,59	58,30
30	14,95	16,79	18,49	20,60	40,26	43,77	46,98	50,89	59,70

Quand ν est supérieur à 30, on utilise la table de la loi normale (table de l'écart réduit) avec :

$$t = \sqrt{2\chi^2} - \sqrt{2\nu - 1}$$

Figure 30 : Table de distribution de χ^2 (loi de probabilité de K.Pearson)

Annexe 7 : Délimitation des bassins versants

L'exploitation de logiciels spécialisés tels que Google Earth, Global Mapper et QGIS, couplée à l'analyse de données numériques d'élévation (MNT/Raster), a permis d'identifier et de caractériser les propriétés physiques et morphologiques des différents bassins versants dont les réseaux hydrographiques interfèrent avec l'infrastructure routière. Cette démarche a abouti à l'identification de 9 bassins versants élémentaires. L'ensemble de ces unités hydrologiques délimitées présente une organisation en réseau dendritique en arêtes de poisson, couvrant une superficie cumulée de 127,25 km^2.

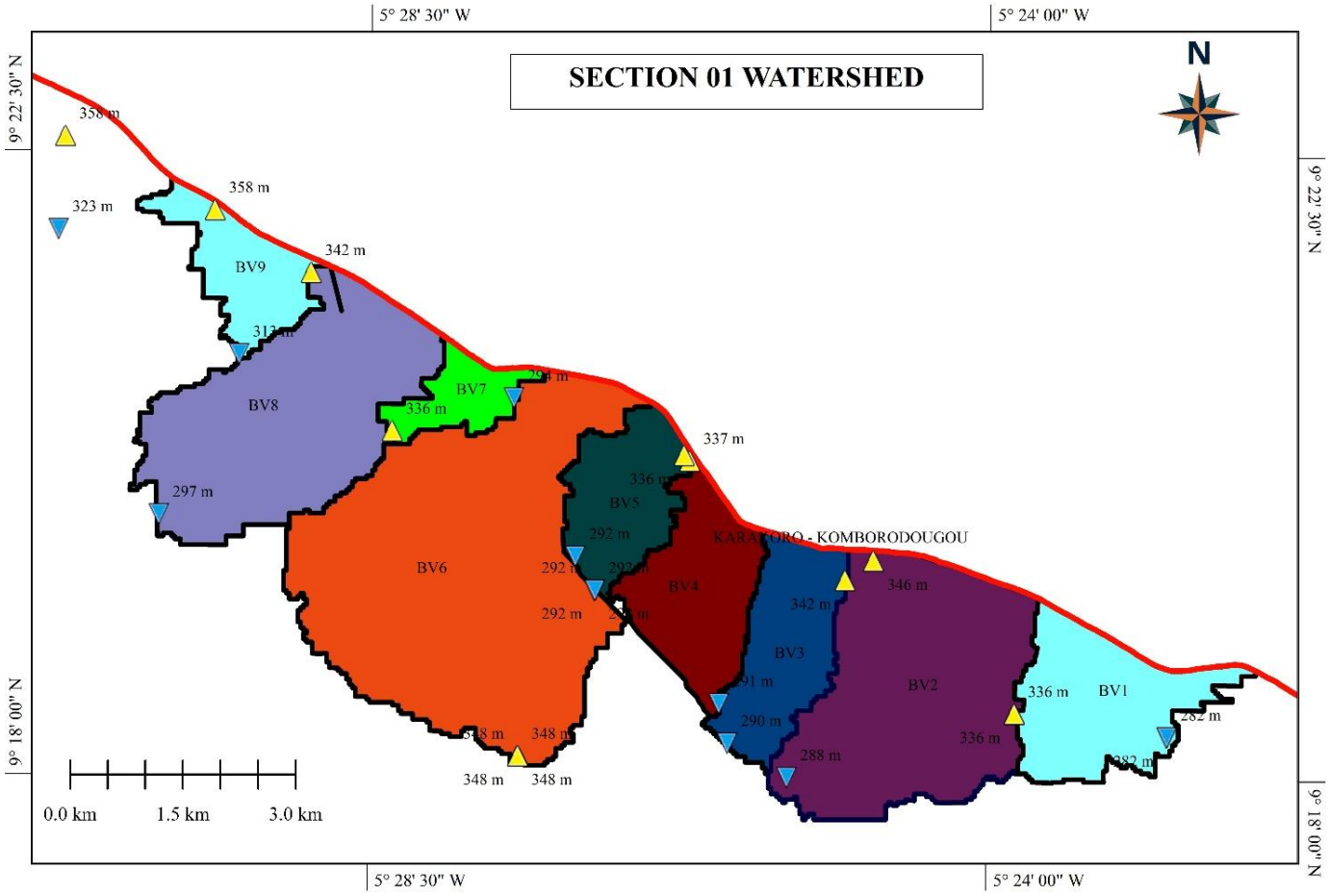
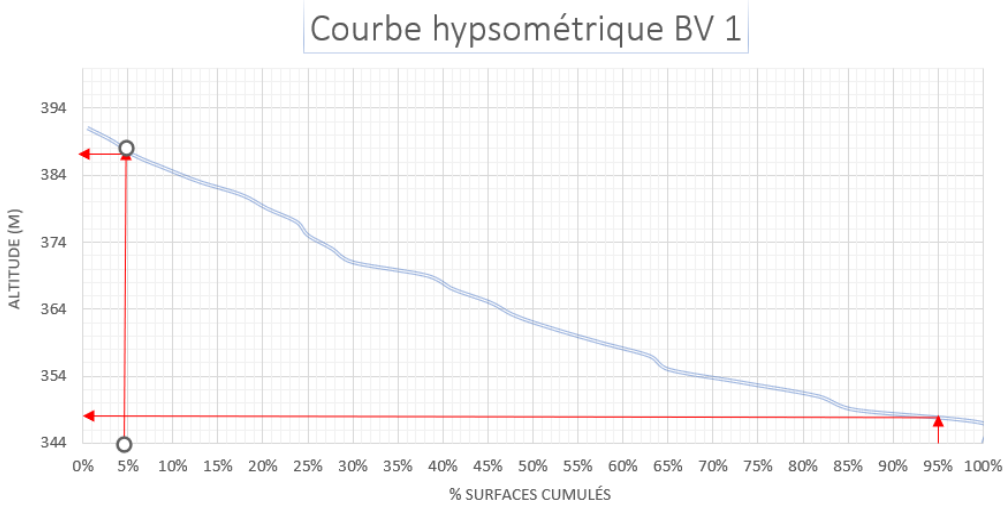


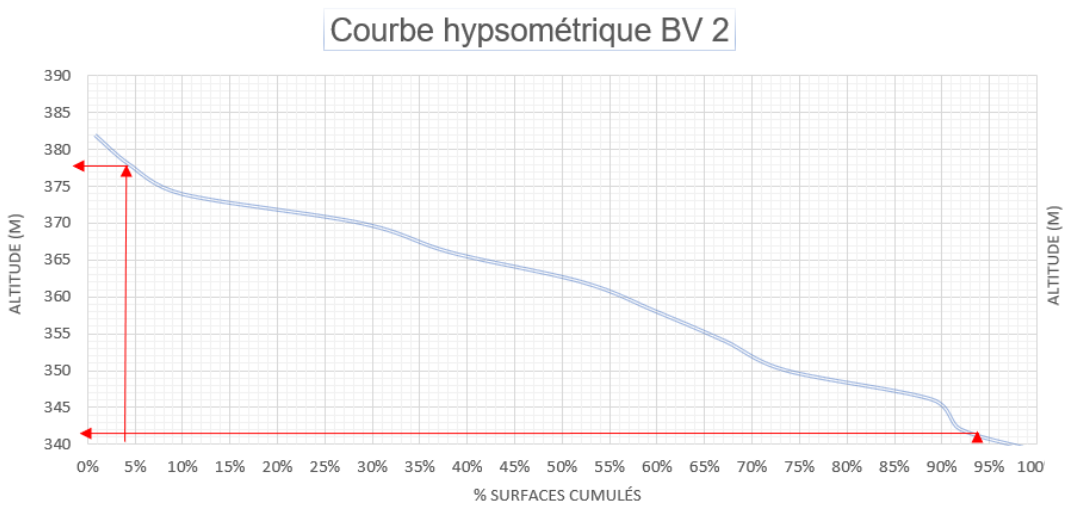
Figure 31 : Présentation des bassins versants de la section 01

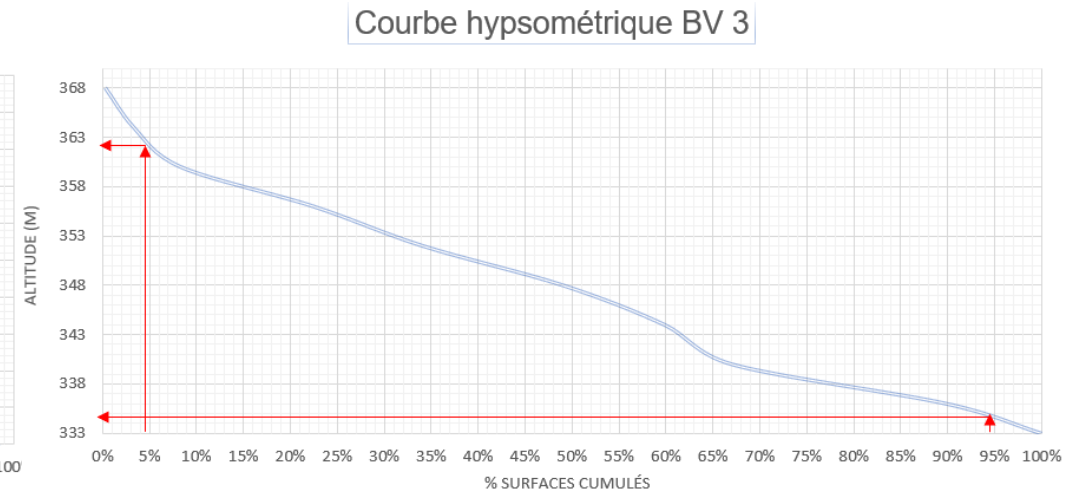
VII.7.1. Courbes hypsométriques des bassins versants

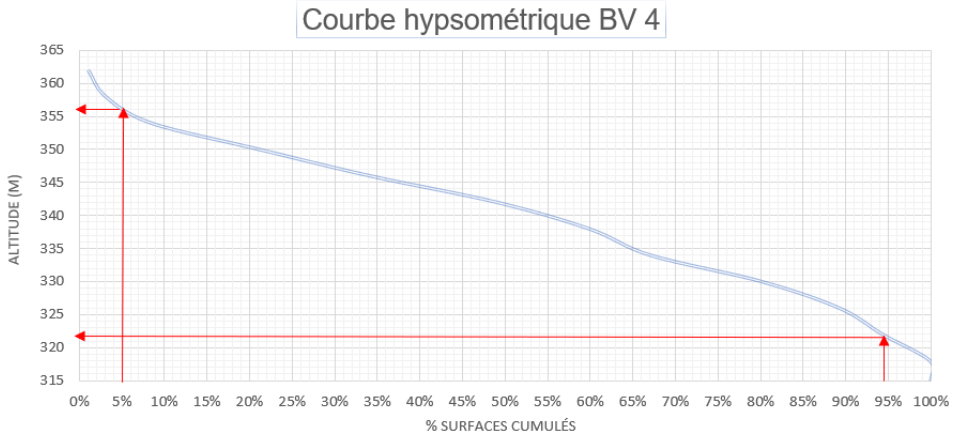
La courbe hypsométrique représente la distribution des surfaces du bassin versant en fonction de ses tranches d'altitude, offrant ainsi une caractérisation synthétique du relief et de la pente globale. L'allure de cette courbe de classifier le bassin selon son stade d'évolution morphologique :

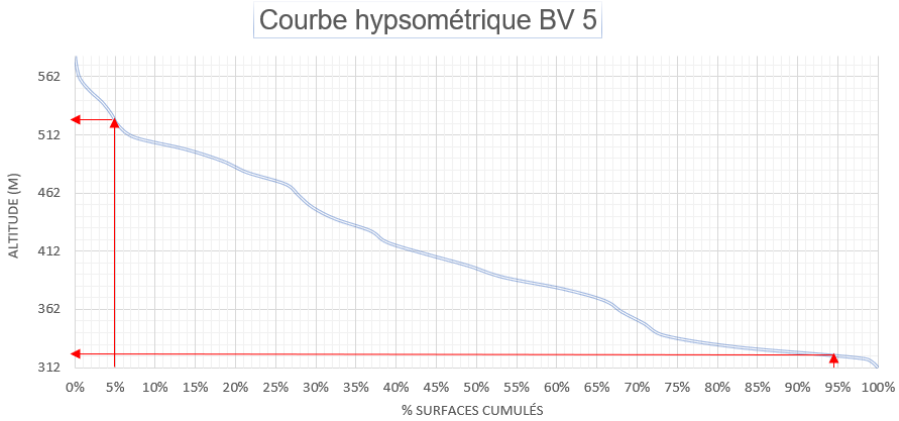
- Bassins au stade de jeunesse : Caractérisés par des reliefs abrupts où les faibles superficies se concentrent sur de fortes variations d'altitude initiale.
- Bassins au stade de maturité : Marques par un équilibre dynamique entre une superficie étendue et un processus d'érosion très avancé.
- Bassins au stade de vieillesse : Caractérisés par de vastes plaines d'érosion en aval, où l'altitude varie très peu malgré une occupation de surface majeure.




Courbe hypsométrique BV 2
ALTITUDE (M)
390
385
380
375
370
365
360
355
350
345
340
0% 5% 10% 15% 20% 25% 30% 35% 40% 45% 50% 55% 60% 65% 70% 75% 80% 85% 90% 95% 100
% SURFACES CUMULÉS


Courbe hypsométrique BV 3
ALTITUDE (M)
368
363
358
353
348
343
338
333
0% 5% 10% 15% 20% 25% 30% 35% 40% 45% 50% 55% 60% 65% 70% 75% 80% 85% 90% 95% 100%
% SURFACES CUMULÉS


Courbe hypsométrique BV 4
ALTITUDE (M)
365
360
355
350
345
340
335
330
325
320
315
0% 5% 10% 15% 20% 25% 30% 35% 40% 45% 50% 55% 60% 65% 70% 75% 80% 85% 90% 95% 100%
% SURFACES CUMULÉS


Courbe hypsométrique BV 5
ALTITUDE (M)
562
512
462
412
362
312
0% 5% 10% 15% 20% 25% 30% 35% 40% 45% 50% 55% 60% 65% 70% 75% 80% 85% 90% 95% 100%
% SURFACES CUMULÉS

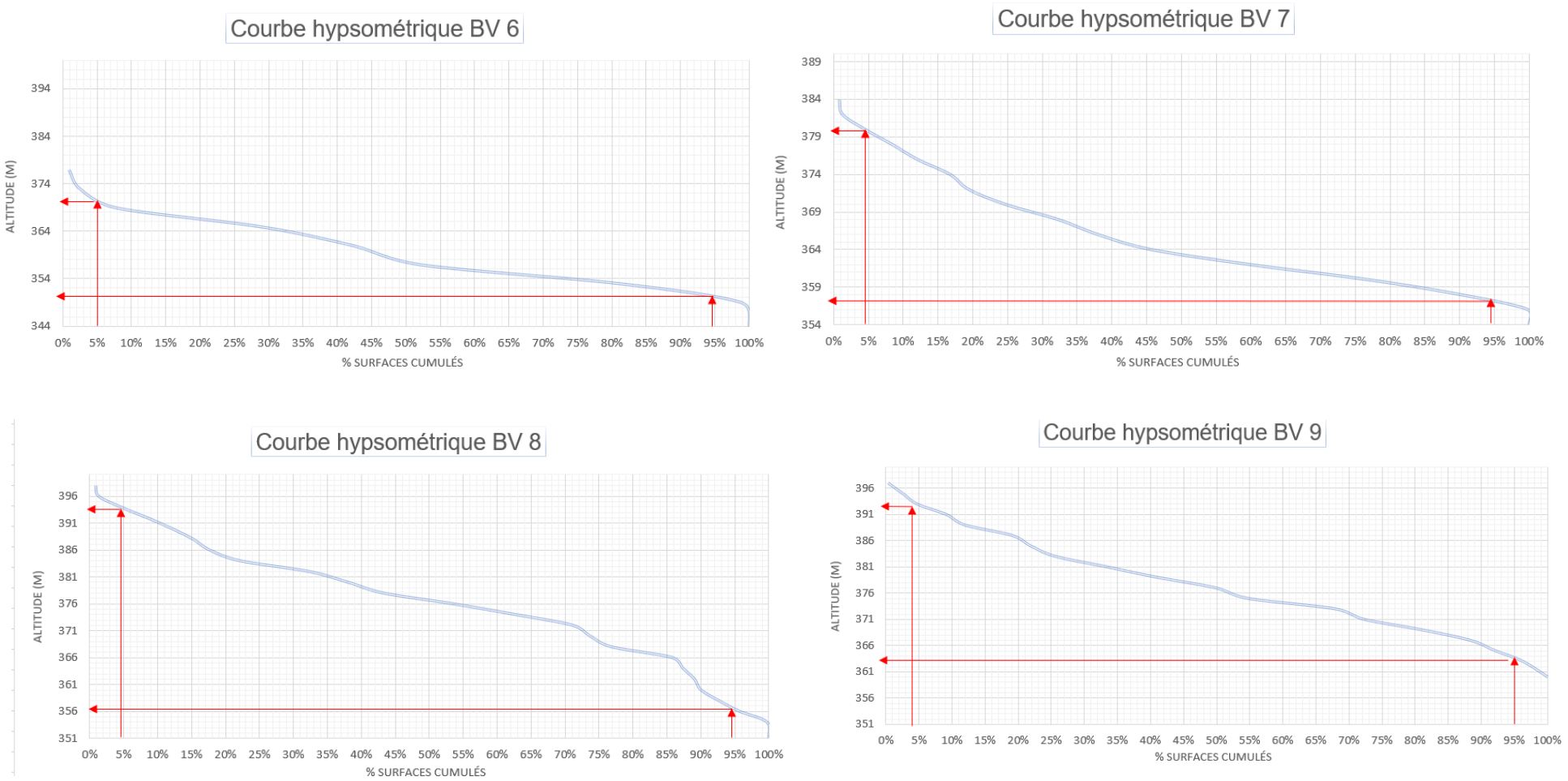


Figure 32 : Courbe hypsométriques des différents bassins versant de la section 01

VII.7.2. Caractéristiques morphométriques des bassins versants

Chaque bassin versant est défini par un ensemble de paramètres géométriques, morphologiques et physiographiques qui conditionnent directement son comportement hydrologique, notamment lors des périodes de crues ou d'étiage. Parmi ces paramètres figurent la superficie, la forme, l'altitude, la pente, l'orientation, la nature du sol ainsi que les caractéristiques du réseau de drainage. Dans le cadre de cette étude, l'exploitation combinée des outils Google Earth, Global Mapper, QGIS et Excel a permis d'extraire efficacement l'ensemble de ces données pour chaque bassin versant identifié.

- **Coefficient de Gravelius (K_G)**:

Le coefficient de Gravelius (K_G) quantifie la compacité d'un bassin versant afin d'évaluer l'impact de sa forme géométrique sur la propagation des débits de crue. Il exprime le rapport entre le périmètre du bassin et celui d'un cercle de surface identique :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi . S}}$$

- Forme circulaire ($K_G \approx 1$) : indique une forme ramassée propice à une concentration rapide des eaux et à des crues potentiellement violentes.
- Forme allongée ($K_G > 1{,}1$) : traduit un étalement du bassin qui favorise l'amortissement des pointes de crue.

- **Longueur du rectangle équivalent (L)**

C'est le rectangle ayant la même surface et le même périmètre que le bassin. On le détermine à l'aide de la formule ci-dessous :

$$L = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16.S}}{4}$$

- **Pente moyenne**

Elle caractérise la topographie du bassin versant. Elle influence directement le temps de concentration du ruissèlement et le débit de pointe lors d'une averse. Elle se calcule par la formule suivante :

$$P_{moy} = \frac{\Delta H}{\sqrt{S}}$$

où ΔH represente la dénivelée totale ($H_{max} - H_{min}$) et S la superficie du bassin.

❖ **Indice global de pente**

L'indice I_g permet de classifier le relief du bassin selon les critères de l'ORSTOM en rapportant la dénivelée utile à la longueur du rectangle équivalent (L). Il est défini après l'analyse de la courbe hypsométrique par :

$$I_g = \frac{\Delta H}{L} = \frac{Alt_{5\%} - Alt_{95\%}}{L}$$

- $\mathbf{I_g < 0{,}002}$: Très faible ;
- $\mathbf{0{,}002 \leq I_g < 0{,}005}$: Faible ;
- $\mathbf{0{,}005 \leq I_g < 0{,}01}$: Assez faible ;
- $\mathbf{0{,}01 \leq I_g < 0{,}02}$: Modéré ;
- $\mathbf{0{,}02 \leq I_g < 0{,}05}$: Assez fort ;
- $\mathbf{0{,}05 \leq I_g < 0{,}1}$: Fort ;
- $\mathbf{I_g \geq 0{,}1}$: Très fort ;

❖ **Indice de pente global corrigée**

Il est utilisé lorsque les pentes transversales (I_t) diffèrent de plus de 20% de la pente longitudinale (I_g). Sa formulation est :

$$I_{g\_corrigée} = \frac{(n-1).I_g + I_t}{n}$$

Le coefficient de n est déterminé selon la longueur L du rectangle équivalent :

- $\mathbf{n = 2}$ pour L < 5km
- $\mathbf{n = 3}$ pour 5km < L < 25km
- $\mathbf{n = 4}$ pour 25km < L < 50km
- $\mathbf{n = 5}$ pour 50km < L

❖ **Relief des bassins versants**

Tableau 32 : Classification des reliefs en fonction de l'indice de pente global et la densité spécifique

Classe de relief	Type de relief	I_g	D_s	Observations
R_1	Relief très faible	$I_g < 2$	$D_s < 2$	-
R_2	Relief faible	$2 < I_g < 5$	$10 < D_s < 25$	Bassin de plaine
R_3	Relief assez faible	$5 < I_g < 10$	$25 < D_s < 50$	Bassins intermédiaires entre la plaine et les zones à ondulations de terrain
R_4	Relief modéré	$10 < I_g < 20$	$50 < D_s < 100$	Zones des ondulations
R_5	Relief assez fort	$20 < I_g < 50$	$100 < D_s < 250$	Régions de collines
R_6	Relief fort	$50 < I_g < 2$	$250 < D_s < 2$	Régions de montagnes
R_7	Relief très fort	$I_g < 100$	$D_s < 2$	-

❖ **Perméabilité du sol**

La perméabilité, bien que complexe à évaluer en raison de l'hétérogénéité du bassin, est essentielle pour fixer le coefficient de ruissellement. L'infiltration dépend principalement du couvert végétal, de la surface du sol et des caractéristiques pédologiques. La méthode qualitative de RODIER classe cette perméabilité en six catégories :

- TI (P1) : Strictement imperméable.
- PI : Très fortement imperméable (transition entre T1 et I).
- I (P2) :Imperméable avec de rares zones perméables.
- RI (P3) : Relativement imperméable.
- P (P4) : Assez perméable.
- TP (P5) : Très perméable.

L'association de la classe du relief et la classe de perméabilité d'un bassin versant vous permettra de déterminer son coefficient de ruissellement.

Tableau 33 : Caractéristiques physiques ou morphométriques des bassins versants

Paramètres et valeurs	BV 1	BV 2	BV 3	BV 4	BV 5	BV 6	BV 7	BV 8	BV 9
Superficie (km^2)	4,115	8,919	3,311	3,599	2,88	17,032	1,403	8,502	2,363
Périmètre (km)	12,687	15,748	10,831	11,136	9,59	24,463	7,819	18,362	10,394
Longueur hydraulique (km)	3,371	4,050	2,850	2,922	2,498	6,431	2,101	4,886	2,807
Longueur du rectangle équivalent (km)	5,920	5,382	5,154	5,140	4,558	7,707	4,960	7,181	5,887
Pente moyenne (m/km)	2,8	2,67	2,71	2,53	2,56	2,77	2,59	2,36	2,46
Altitude maximale (m)	336	346	342	337	336	390	336	342	358
Altitude minimale (m)	282	288	290	291	292	306	294	297	313
I_{comp}	1,764	1,487	1,679	1,655	1,594	1,672	1,862	1,776	1,907
Coefficient de Gravelius	1,75	1,48	1,67	1,64	1,58	1,66	1,85	1,76	1,89
Coefficient d'Abattement	0,923	0,881	0,935	0,931	0,943	0,846	0,982	0,884	0,953
Dénivelée (m)	54	58	52	46	44	84	42	45	45
Dénivelée spécifique (m)	5,81	30,10	16,28	18,31	7,31	34,94	7,04	22,29	11,75
Indice global de pente (m/km)	12,746	2,863	10,08	8,949	9,653	4,307	8,467	5,940	7,644
Indice global de pente corrigé (m/km)	17,843	10,808	9,256	6,784	8,456	10,105	7,300	7,098	5,998
Perméabilité	RI	RI	RI	RI	RI	RI	RI	RI	RI
Relief	R4	R4	R3	R3	R3	R2	R3	R3	R2
Type de relief	Relief faible	Relief faible	Relief faible	Relief faible	Relief faible	Relief modéré	Relief faible	Relief faible	Relief modéré

Annexe 8 : Débits de crues des bassins versants

La fréquence décennale Q_{10} désigne la valeur de débit susceptible de se manifester statistiquement une fois par décennie dans un bassin versant donné. Son estimation tient compte non seulement des conditions d'écoulement naturelles, mais également de certains facteurs et capacités hydrauliques souvent sous-dimensionnés, qui viennent amplifier ce débit de référence. Sa quantification nécessite l'identification et le calcul d'une série de paramètres hydrologiques, organisés selon une démarche structurée et proportionnée à l'étendue de chaque unité hydrographique. Cette approche se révèle particulièrement bien adaptée à l'analyse des unités de drainage dont les flux hydrologiques sont susceptibles d'interagir avec les aménagements routiers.

- La méthode rationnelle, décrite dans le guide d'hydraulique routière [11,p. 110]
- La méthode de CAQUOT, décrite dans l'assainissement des eaux pluviales [12,p. 65]
- La méthode ORSTOM, décrite dans la FAO 54 [3, Chap. 3]
- La méthode CIEH, décrite dans la FAO 54 [3, Chap. 4]

Pour une période de retour de T=10ans, toutes ces méthodes permettent de calculer le débit de crue décennale en fonction de la superficie du bassin versant.

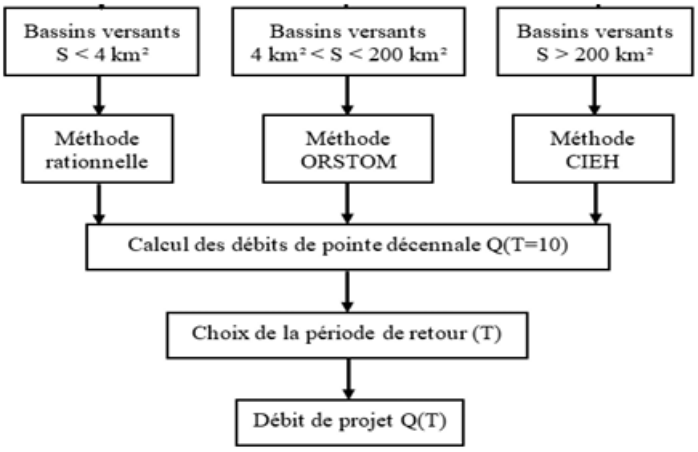


Figure 33 : Procédés de détermination des débits de crue

VIII.8.1. Méthode rationnelle

Cette méthode est applicable aux bassins versants dont la superficie n'excède pas 4 km^2. Elle repose sur l'hypothèse que le débit de pointe est atteint lorsque la durée de la précipitation est au moins égale au temps de concentration du bassin.

L'expression du débit maximal s'énonce ainsi :

$$\boldsymbol{Q_{max} = K.C.i.A}$$

- *Q_{max} : Débit de pointe à l'exutoire (m^3/s) ;*
- *K : Coefficient de conversion d'unités (K= 1/360 ≈ 0,00278) ;*
- *C : Coefficient de ruissellement (0 < C < 1)*
- *I : intensité moyenne maximale sur la durée t_c (mm/h)*
- *A : Superficie du bassin versant (ha).*

❖ **Intensité de pluie**

L'intensité de pluie i (t_c , T), fonction de la durée de l'averse et de la période de retour choisie, est déterminée par le modèle de Montana :

$$\boldsymbol{i = a.t_c^{-b}}$$

- a,b : Paramètres locaux d'ajustement de Montana, dépendants de la période de retour T ;
- t_c : Temps de concentration (min).

❖ **Temps de concentration**

Le temps de concentration correspond à la durée requise pour qu'une goutte d'eau provenant du point le plus hydrauliquement éloigné atteigne l'exutoire, déclenchant ainsi le débit maximal.

Pour cette étude, il est évalué par la moyenne de trois approches empiriques :

- Formule de Ventura :

$$\boldsymbol{t_c = 76,3.\frac{\sqrt{A}}{\sqrt{I^3}}}$$

- Formule de Passini :

$$\boldsymbol{t_c = 64,8.\frac{\sqrt[3]{L.A}}{\sqrt{I}}}$$

- Formule de Turazza :

$$\boldsymbol{t_c = 65,1.\sqrt{S}}$$

Où t_c est en minutes, I représente la pente (m/km ou %), L la longueur hydraulique (km), A et S la superficie du bassin (km^2)

❖ Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement (C) présente une forte variabilité car sa valeur est directement conditionnée par les caractéristiques physiques du bassin versant, notamment sa morphologie, l'occupation de son sol, la topographie du relief et la perméabilité des terrains. Les valeurs de références retenues pour ce paramètre sont issues des abaques du BCEOM (1975), telles que répertoriées dans le manuel d'hydraulique routière.

Tableau 34 : Coefficient de ruissellement

Nature de la couverture végétale	**Valeur de C**							
	Petits bassins de 0 à 10 km^2 présentant une pente de				**Petits bassins de 0,10 à 4 km^2 présentant une pente de**			
	Moins de 5%	**De 5 à 10%**	**De 10 à 30%**	**Plus de 30%**	**Moins de 5%**	**De 5 à 10%**	**De 10 à 30%**	**Plus de 30%**
Plates-formes et chaussées de route : cours	0,95	-	-	-	-	-	-	-
Terrains dénudés, ou à végétation non courante. Terrain déjà attaquées par l'érosion	0,8	0,85	0,9	0,95	0,7	0,75	0,8	0,85
Culture couvrante, céréales. Petite brousse	0,75	0,8	0,85	0,9	0,52	0,6	0,72	0,8
Prairies, brousse dense, savane	0,7	0,75	0,8	0,85	0,3	0,36	0,12	0,5
Foret ordinaire en futaie	0,3	0,5	0,6	0,7	0,13	0,2	0,25	0,3
Grande forêt primaire	0,2	0,25	0,3	0,4	0,15	0,18	0,22	0,25

VIII.8.2. Méthode de CAQUOT

Elle est privilégiée pour le calcul des débits de dimensionnement des ouvrages longitudinaux (fosses, caniveaux, collecteurs) en zone urbaine ou traversée d'agglomération. Conçue comme une évolution de la méthode rationnelle, elle intègre de manière plus réaliste deux phénomènes majeurs du ruissellement urbain :

- L'effet d'amortissement : Le stockage temporaire d'une partie des volumes d'eau au sein du réseau de drainage.
- La variabilité du temps de concentration : Le fait que le temps de réponse du bassin versant dépend directement de l'intensité du débit calculé.

$$\boldsymbol{Q_{max} = k(M,T)^{\frac{1}{u(T)}} \times C^{\frac{v(T)}{u(T)}} \times I^{\frac{1}{u(T)}} \times A^{\frac{w(T)}{u(T)}}}$$

Avec les définitions et variables suivantes :

- K(M,T), u(T), v(T), w(T) : fonctions de Caquot dépendant des coefficients de Montana (à et b)
- Q : Débit maximal de pointe à l'exutoire (m^3/s) ;
- I : Pente moyenne du bassin versant (m/m) ;
- C : Coefficient de ruissellement ;
- A : Superficie du bassin versant (ha) ;

❖ Fonction de Caquot

Pour prendre en compte la variabilité climatique du milieu d'étude, les équations de la méthode de Caquot intègrent directement en leur sein les coefficients de Montana.

Tableau 35 : Fonction de Caquot

Fonctions de Caquot			
k(T,M)	u(T)	v(T)	w(T)
$\frac{\alpha(T) \times \mu(M)^{b(T)}}{6 \times (\beta + \alpha)}$	$1 - b(T) \times f$	$c \times b(T)$	$1 - \varepsilon + d \times b(T)$

Paramètres des fonctions de Caquot					
$\beta + \alpha$	$\mu(M)$	f	c	ε	d
1,4	$0{,}19 \times M^{0{,}84}$	$-0{,}287$	$-0{,}41$	0,03	0,507

❖ **Coefficient de l'allongement moyen du bassin versant**

Elle caractérise la forme géométrique du bassin versant. Il est défini par le rapport entre la longueur du plus long chemin hydraulique (L en hectomètres) et la racine carrée de sa superficie (A, en hectares) :

$$\boldsymbol{M = \frac{L}{\sqrt{A}}}$$

- Condition de validité : La valeur minimale admise est M = 0,8. Si le calcul donne $M<0,8$, On retient d'office M = 0,8.
- Coefficient de correction morphologique m : La formule de Caquot de base est établie pour un bassin standard de forme allongée correspondant à $M = 2$. Si la morphologie réelle du bassin diffère $M \neq 2$ alors le débit maximal (Q_{max}) doit être corrigé par un coefficient correcteur (m) donnée par :

$$\boldsymbol{m = (\frac{M}{2})^{0,7 \times b(T)}}$$

Ainsi :

- Si $M = 2$ alors

$$\boldsymbol{Q_{max} = k(M,T)^{\frac{1}{u(T)}} \times C^{\frac{v(T)}{u(T)}} \times I^{\frac{1}{u(T)}} \times A^{\frac{w(T)}{u(T)}}}$$

- Si $M \neq 2$ alors

$$\boldsymbol{Q_{max} = m[k(M,T)^{\frac{1}{u(T)}} \times C^{\frac{v(T)}{u(T)}} \times I^{\frac{1}{u(T)}} \times A^{\frac{w(T)}{u(T)}}]}$$

❖ **Coefficient de Montana :**

Les paramètres de Montana, a(T) et b(T), proviennent d'un ajustement statistique reliant les durées de pluie (de 6min à 1h) aux hauteurs de précipitations pour une période de retour donnée. Calculés par la station synoptique de Korhogo (SODEXAM) pour des récurrences de

2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans, ces coefficients actualisés sont rigoureusement adaptés au contexte climatique du projet.

Tableau 36 : Coefficient de Montana de la zone du projet (Source : SODEXAM_Korhogo)

Périodes de retour (ans)	a(T) (mm/h)	b(T)
2	613	0,62
5	664	0,56
10	656	0,54
20	670	0,51
50	685	0,49
100	702	0,47

VIII.8.3. Méthode ORSTOM (Rodier Auvray)

Dans cette méthode le débit de pointe correspondant au ruissellement superficiel de la crue décennale est défini par la relation :

❖ **Débit de ruissellement décennale :**

$$\boldsymbol{Q_{r_{10}} = \frac{A \times P_{10} \times K_{r_{10}} \times \alpha_{10} \times S}{T_{b_{10}}}}$$

- A : coefficient d'abattement ;
- P_{10} : hauteur de pluie journalière décennale ;
- $K_{r_{10}}$: coefficient de ruissellement correspondant à la crue décennale ;
- α_{10} : coefficient de pointe correspondant à la crue décennale ;
- $T_{b_{10}}$: temps de base correspondant à la crue décennale (seconde) ;
- S : superficie du bassin versant (km^2)

Ces paramètres sont obtenus à travers des abaques et des formules.

❖ **Débit de crue décennale :**

La formule générale de cette méthode est :

$$\boldsymbol{Q_{10} = Q_{r_{10}} + Q_{ret_{10}}}$$

- $Q_{r_{10}}$: débit de ruissellement décennale (m^3/s)
- $Q_{ret_{10}}$: débit du a l'écoulement retardé (m^3/s)

❖ **Le coefficient d'Abattement :**

Il traduit la distribution spatiale non homogène sur le bassin versant. Il est établi à partir de l'expression simplifiée de G.Villaume (ORSTOM,1996) :

$$\boldsymbol{A = 1 - \left[\left(\frac{161 - 0,042 \times P_{an}}{1000} \times \log(S)\right)\right]}$$

Avec :

- P_{an} : précipitation moyenne annuelle (mm) ;
- S : superficie du bassin versant (km^2)

Elle peut être lu sur l'abaque de la figure 5 disponible dans le bulletin du FAO partie I, chapitre 1.

❖ **Le coefficient de pointe** :

C'est le rapport du débit maximum ruisselée sur le débit moyen. Il est défini par la formule suivante :

$$\boldsymbol{\alpha_{10} = \frac{Q_{r_{10}}}{Q_{mr_{10}}}}$$

A défaut de la formule du coefficient de pointe , souvent elle peut être assimilée à une constante. Pour notre part, nous allons maintenir la constante $\boldsymbol{\alpha_{10}}$ **= 2,6**.

❖ **Temps de base :**

Tableau 37 : Coefficients de détermination du temps de base (Source : Bulletin FAO)

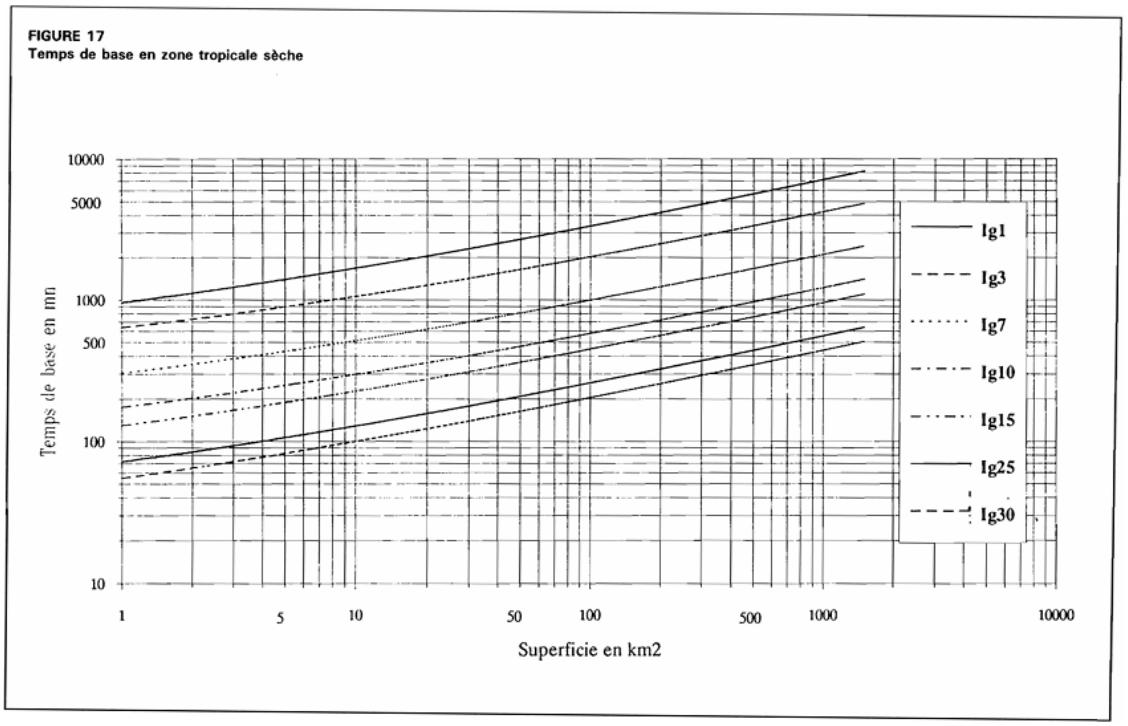
Indice global corrigé de la pente	a	b
Ig = 1	560	400
Ig = 3	325	315
Ig = 7	163	142
Ig = 10	95	80
Ig =15	75	55
Ig = 25	44	28
Ig = 30	35	20

Il est déterminé à partir d'abaques dépendant des caractéristiques géomorphologiques (la superficie et l'indice global de pente) de chaque bassin conformément au BULLETIN FAO d'irrigation et de drainage 54, Partie II [chap3,p45]. La formule suivante aux zones tropicales sèches :

$$T_{b_{10}} = a \times S^{0,36} + b$$

- a et b : Coefficients variant en fonction de l'indice globale de pente ;
- S : superficie du bassin versant (km^2)

Le temps de base est calculé également par interpolations.



Abaque 1 : Temps de base en zone tropical sèche (Source : Bulletin FAO 54)

❖ **Le coefficient de ruissellement correspondant à la crue décennale**

Le coefficient de ruissellement correspondant au rapport entre le volume de ruissellement rapide à l'exutoire du bassin et le volume précipité à l'ensemble du bassin versant.

Elle correspond aussi à la précipitation ponctuelle P_{10} qui est calculé par interpolation entre les deux valeurs $K_{r_{10.3}}$ obtenues pour $P_{10} = 70\ mm$ et $P_{10} = 100\ mm$.

$$\boldsymbol{K_{r_{70}}\ ou\ K_{r_{100}} = \frac{a}{S+b} + c}$$

Ce coefficient intervient dans le calcul des débits pour les bassins versant dont la superficie a 10 km^2

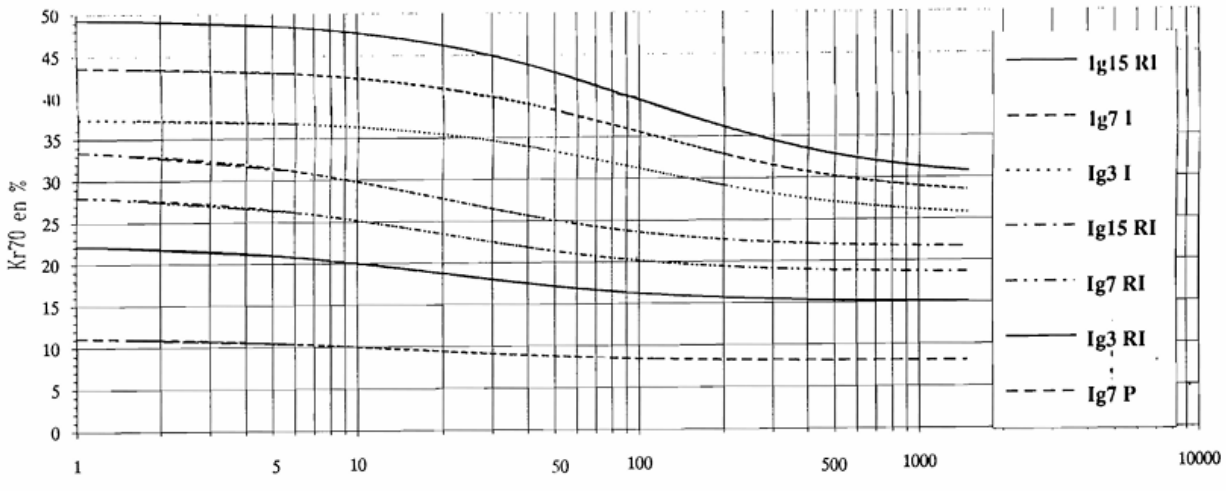
- a et b : Coefficients variant en fonction de la classe de perméabilité et de l'indice globale de pente ;
- S : superficie du bassin versant (km^2)

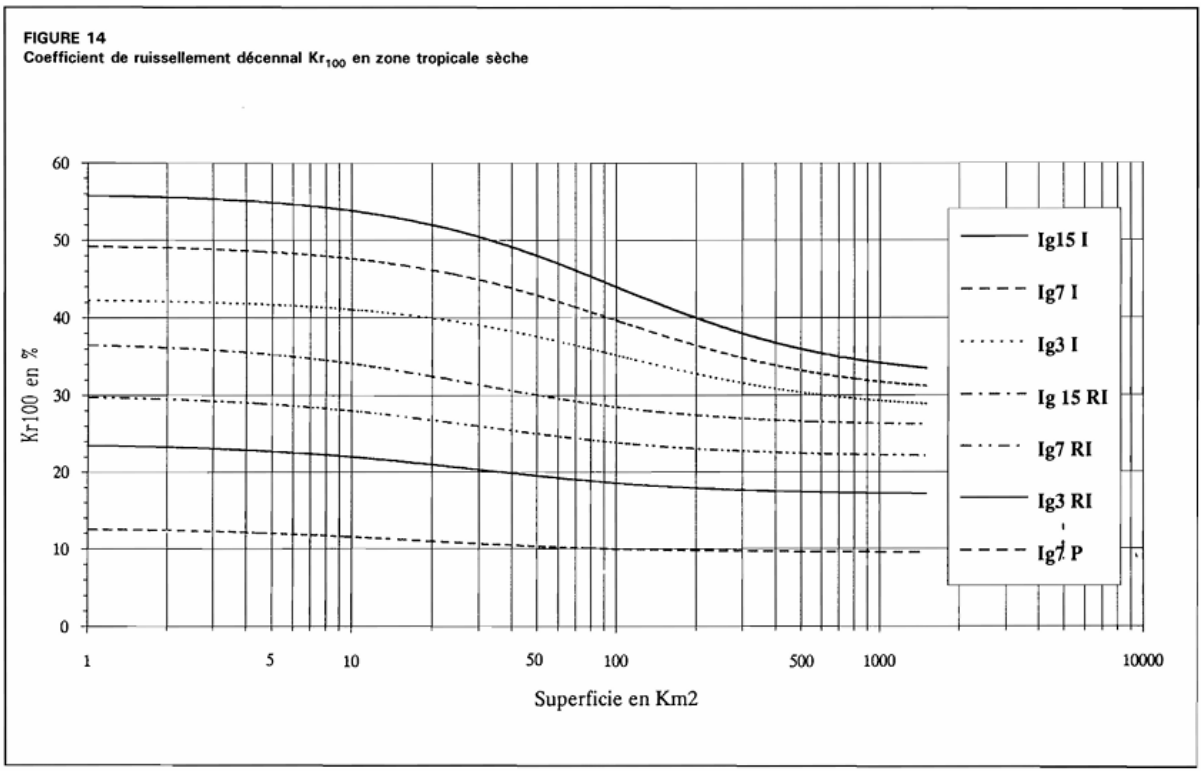
Tableau 38 : Paramètres de détermination de Kr70 et Kr100 (Source : Bulletin FAO 54)

Paramètres de l'équation de détermination de $K_{r_{70}}$ pour la zone tropicale sèche				
Caractéristiques		a'	b'	c'
Infiltrabilité	Pente			
I	15	2000	100	29,5
	7	1620	100	27,5
	3	1250	100	25
RI	15	250	20	21,7
	7	200	20	18,5
	3	150	20	15
P	7	50	15	8
Pour les bassins très perméables, TP, on pourra prendre la valeur médiane $K_{r_{70}} = 2\%$, quelle que soit la pente.				

Paramètres de l'équation de détermination de $K_{r_{100}}$ pour la zone tropicale sèche				
Caractéristiques		a'	b'	c'
Infiltrabilité	Pente			
I	15	2400	100	32
	7	1940	100	30
	3	1440	100	28
RI	15	325	30	26
	7	240	30	22
	3	200	30	17
P	7	55	17	9,5
Pour les bassins très perméables dont la classe d'infiltrabilité est TP, on pourra prendre la valeur médiane $K_{r_{100}} = 3\%$, quelle que soit la pente.				

FIGURE 13
Coefficient de ruissellement décennal Kr_{70} en zone tropicale sèche





Abaque 2 :Coefficient de ruissellement Kr70 et Kr100 selon le bulletin d'irrigation FAO

VIII.8.4. Méthode CIEH

Cette méthode est basée sur 162 bassins versants dont l'origine vient essentiellement du recueil de Dubreuil (1972) sur les bassins expérimentaux.

La formulation retenue pour retrouver l'expression du débit de pointe Q_{10} est basée sur un schéma de régression multiple et se présente sous la forme :

$$\boldsymbol{Q_{10} = a \times S^s \times P_{an}^p \times P_{m_{10}}^j \times I_g^i \times K_{r_{10}}^k \times D_d^d} \ldots.$$

Où :

- a, s, p, i, k, d … : sont des coefficients issus d'une régression linéaire multiple après transformation logarithmique ;
- S : la surface du bassin (km^2)
- Ig : L'indice global de pente (m/km)
- P_{an} : pluie moyenne annuelle (mm)
- $P_{m_{10}}$: précipitation décennale annuelle (mm)
- Kr_{10} : coefficient de ruissellement correspondant à la crue décennale
- D_d : densité de drainage (km^{-1})

La détermination de ces coefficients est effectuée par une méthode de régression linéaire multiple, travaillant sur l'expression de la formule de Q10 linéarisée par transformation logarithmique. En effet, si l'on prend le logarithme décimal de l'expression, on obtient la formule suivante :

$$Log(Q_{10}) = Log(a) + s \times Log(S) + p \times Log(P_{an}) + j \times Log(P_{m_{10}}) + i \times Log(I_g) + ..$$

Le tableau II du Manuel du FAO 54 propose les régressions qui ont donné les meilleurs résultats. Celles-ci sont présentées en fonction des découpages climatiques par régions ou par groupes de pays.

Tableau 39 : Paramètres de régression utilises dans la formule du CIEH, adaptes aux régions de la Cote d'Ivoire d'après le guide hydraulique de la FAO

			Côte d'Ivoire					
			Exposants des paramètres de l'équation					
N° Equation	**Description**	**a**	***s***	***i***	***p***	***j***	***k***	***d***
			S	I_g	P_{an}	$P_{m_{10}}$	$K_{r_{10}}$	D_d
Equation 34	*S*	4,83	0,562	-	-	-	-	-
Equation 35	*S, Ig*	2,29	0,651	0,216	-	-	-	-
Equation 36	*S, Pm 10*	0,000174	0,645	-	-	2,149	-	-
Equation 37	*S, Kr 10*	0,38	0,586	-	-	-	0,805	-
Equation 38	*S, Kr 10, Ig*	0,275	0,618	0,099	-	-	0,789	-

❖ Précipitation décennale moyenne

La précipitation moyenne sur le bassin Pm_{10} est obtenue en multipliant la hauteur de précipitation annuelle P_{10} par le coefficient d'abattement A, déterminé par l'équation simplifiée de Vuillaume (1974) :

$$\boldsymbol{P_{m_{10}} = A.P_{10}}$$

Avec :

- A : coefficient d'abattement ;
- P_{10} : hauteur de pluie journalière décennale (mm).

VIII.8.5. Estimation des débits de crue décennal et vingtennale

Après la manipulation de ces méthodes, nous avons obtenu les débits consignés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 40 : Récapitulatif des débits de crues des bassins versants

Bassin versant	Superficie (km^2)	Méthode de calcul du débit			Débit de crue retenus (m^3)
		Rationnelle	ORSTOM	CIEH	
BV1	4,115	/	16,820	10,549	**13,685**
BV2	8,919	16,126	/	/	**16,126**
BV3	3,311	17,125	/	/	**17,125**
BV4	3,599	14,208	/	/	**14,208**
BV5	2,88	/	20,984	16,062	**18,523**
BV6	17,032	/	30,764	9,985	**20,375**
BV7	1,403	7,746	/	/	**7,746**
BV8	8,502	/	26,059	16,889	**21,474**
BV9	2,363	11,945	/	/	**11,945**

Annexe 9 : Dimensionnement et étude hydraulique des ouvrages de franchissement

La sélection des ouvrages hydrauliques dépend de la catégorie de la voie, de la topographie et des débits à évacuer. Pour ce projet, les dalots cadres ont été exclusivement retenus en raison de leur simplicité de mise en œuvre. L'étude est donc centrée sur leur dimensionnement hydraulique et structurel, visant à définir leurs caractéristiques géométriques, l'épaisseur des éléments porteurs et les charges sollicitantes.

IX.9.1. Dimensionnement hydraulique de l'ouvrage de franchissement

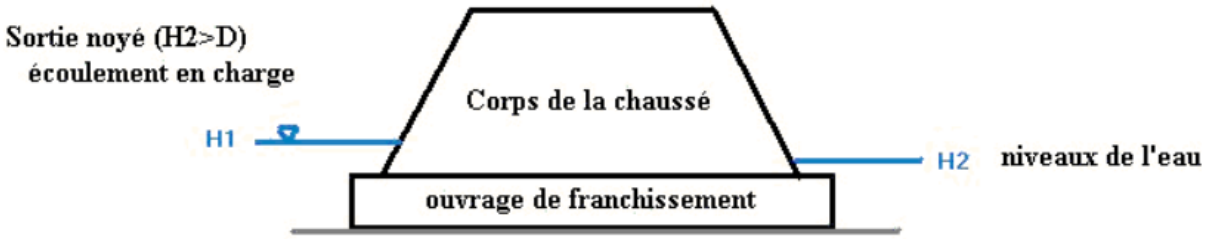
Le dimensionnement d'un dalot requiert la prise en compte de plusieurs paramètres essentiels au bon fonctionnement de l'ouvrage, notamment :

- La hauteur d'eau en amont et en aval ;
- La vitesse de l'écoulement dans l'ouvrage ;
- La pente critique.

IX.9.2. Mode de fonctionnement des ouvrages de drainage transversaux

Deux modes de fonctionnement existent dans le cas d'un dalot :

- **Ouvrage en sortie noyée** : Lorsque la hauteur d'eau à l'entrée de l'ouvrage dépasse le bord supérieur du dalot, l'écoulement s'établit en charge à l'intérieur de la structure.



- **Ouvrage en sortie dénoyée** : Lorsque le niveau d'eau à l'entrée demeure en deçà du bord supérieur de l'ouvrage, deux conditions d'écoulement sont à examiner :
  - Si $\boldsymbol{H_1 \leq 1,25 \times D}$, l'écoulement s'effectue à surface libre à l'intérieur du dalot.



- Si $\boldsymbol{H_1 > 1,25 \times D}$, la section de l'ouvrage est intégralement sollicitée, l'écoulement s'établissant alors en charge a pleine section.

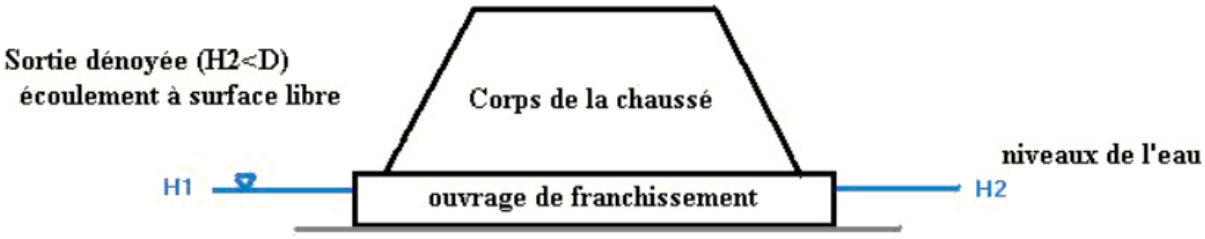


Figure 34 : Les conditions de fonctionnement selon le type d'écoulement

❖ **Hypothèse pour le dimensionnement**

- L'ouvrage fonctionne en régime de sortie dénoyée avec un écoulement à surface libre ;
- La vitesse maximale d'écoulement est limitée à 4m/s, conformément aux prescriptions du SETRA (Octobre 2006), afin de prévenir tout risque d'affouillement à l'entrée et à la sortie de l'ouvrage ainsi que l'érosion du revêtement en béton ;
- L'accélération de la pesanteur est prise égale à g = 9,81 N/kg ;
- Le coefficient de rugosité du béton selon la formule de Manning-Strickler ;
- Le calcul est conduit pour une seule ouverture, chaque cellule étant dimensionnée pour un débit unitaire supérieur à 10 m^3/s.

IX.9.3. Ouvrages de drainage transversal (dalot)

La procédure de dimensionnement retenue s'appuie sur les recommandations du guide « Hydraulique Routière » publié par le BCEOM. La démarche suivie est illustrée par l'organigramme ci-après, qui synthétise les différentes étapes du calcul. Le régime d'écoulement pris en compte est celui à sortie dénoyée, où la hauteur d'eau en amont ne dépasse pas 1,25 × la hauteur du dalot.

❖ **Paramètres intervenants dans la détermination de la section d'un ouvrage**

Tableau 41 : Paramètres de détermination de la section du dalot

Désignation	Formules
Section minimale théorique	$S_{th} = \frac{Q_{crue}}{V_{max}}\ (m^2)$
Hauteur minimale théorique	$D_{th} = Z_{projet} - Z_{TN}\ (m)$
Base minimale	$B_{th} = \frac{S_{th}}{D_{th}}\ (m)$

Evaluation de la capacite réelle de l'ouvrage	
Surface mouillée	$S_m = B \times H\ (m^2)$
Périmètre mouillée	$P_m = B + 2 \times H\ (m)$
Rayon hydraulique	$R_h = \frac{S_m}{P_m}\ (m)$
Revanche	$R = 0{,}2 + 0{,}15 \times Q_{cellule}^{\frac{1}{3}}\ (m)$
Débit de crue réel (Manning Strickler)	$Q_{crue_r} = Nbr_{cellule} \times (K_s \times S_m \times R_h^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{I_c})\ (m^3/s)$

Une combinaison de paramètres est effectuée via un tableur Excel afin de déterminer la section pratique retenue, laquelle doit impérativement être supérieure à la section minimale théorique calculée.

❖ **Vérification du fonctionnement hydraulique de l'ouvrage**

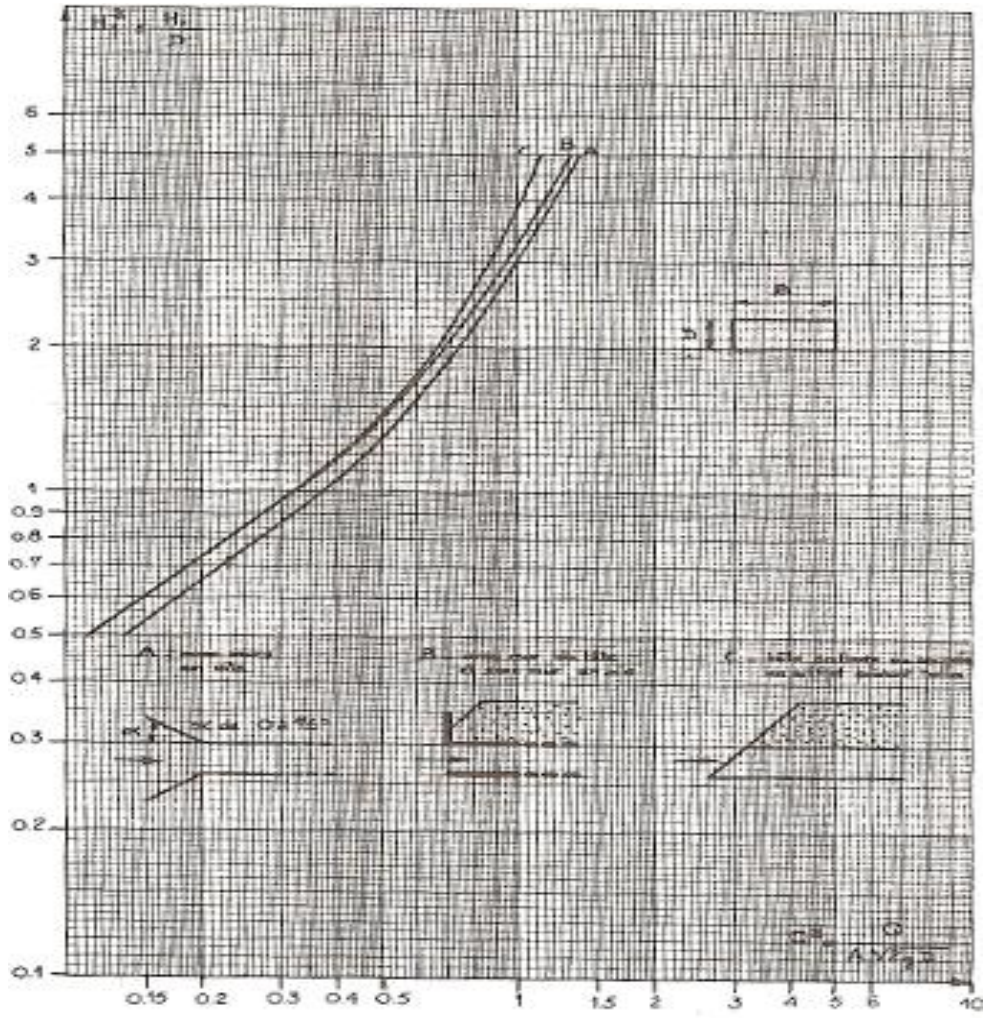
- Débit réduit : Il est calculé par la relation $Q^* = \frac{\frac{Q_{crue}}{Nbre_{cellules}}}{B \times D \times \sqrt{2 \times g \times D}}\ (m^3/s)$
- Hauteur réduite H^* : Elle est déterminée par lecture de l'abaque 77 du BCEOM, applicable aux dalots rectangulaires a sortie libre avec un angle de mur en aile de 30° (courbe A)
- Hauteur d'eau à l'amont : Elle est obtenue par la relation $H_1 = H \times D^*(m)$;
- Vérification de l'écoulement a surface libre : la condition $H < 1{,}25 \times D^*$ doit etre satisfaite ; dans le cas contraire, la section pratique est redéfinie ;
- Revanche : Pour les dalots de hauteur inférieure à 2 m , une hauteur de revanche est déterminée en fonction du débit transitant dans l'ouvrage.

$$R = 0{,}2 + 0{,}15 \times Q_{cellule}^{\frac{1}{3}}\ (m^3)$$

Tableau 42 : Revanche à adopter en fonction du débit de crue

Q(m^3/s)	**< 1**	**1-5**	**5-10**	**10-20**	**20-30**	**30-40**	**40-50**	**> 50**
Revanche (m)	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1

L'abaque pour la vérification de la profondeur amont d'un dalot

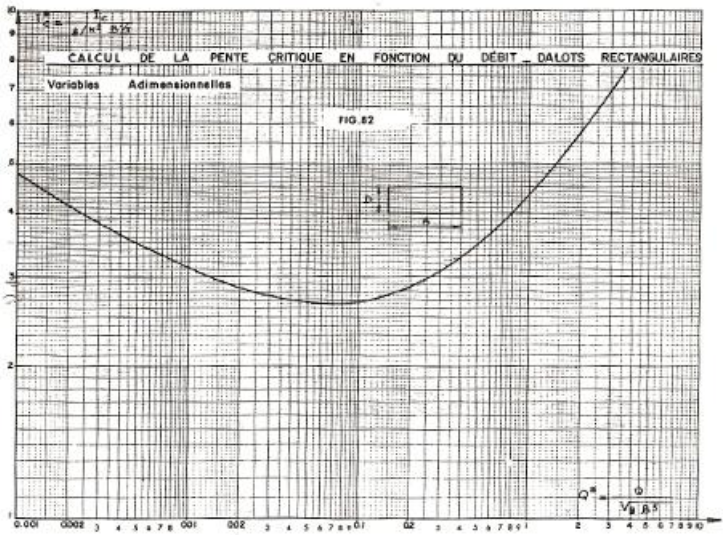


Abaque 3 : Profondeur amont d'un dalot

❖ **Pente critique réduit et pente critique réelle** :

- Le débit réduit : $Q^* = \frac{\frac{Q_{crue}}{Nbre_{cellules}}}{\sqrt{g \times B^5}}$ (m^3/s)
- Pente critique réduite IC* : déterminée à partir de l'abaque 82 du BCEOM, relatif aux dalots rectangulaires a sortie libre ;

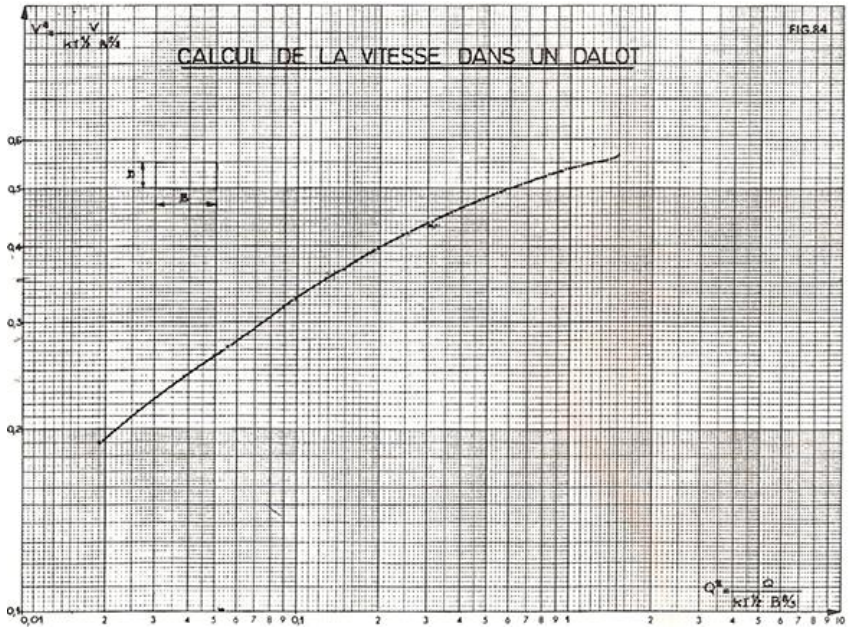
- La pente critique réelle est donnée par la relation : $I_C = \frac{g \times I_C^*}{K_S^2 \times \sqrt[3]{D}}(\%)$



Abaque 4 : Pente critique réduit

❖ **Vitesse critique réduit et vitesse critique réelle :**

- Débit réduit : $\boldsymbol{Q^{***} = \frac{\frac{Q_{crue}}{Nbre\ cellule}}{K_s \times \sqrt{I_C} \times \sqrt[3]{B^8}}}(m^3/s)$
- Vitesse critique réduit V_C^* : lu sur l'abaque 84 selon le BCEOM des dalots rectangulaires a sortie libre ;
- Calcul de la vitesse critique réelle : $\boldsymbol{V_C^* = V_C^* \times K_s \times \sqrt{I_C} \times \sqrt[3]{B^3}(m/s)}$
- Vérification de la condition de vitesse de l'écoulement $V_c < V_{max}$ alors la condition est vérifiée.



Abaque 5: Vitesse critique réduit

❖ **Evaluation de la capacité réelle de l'ouvrage** :

Données connues : K_S, I_C, H et B

- Surface mouillée : $S_m = B \times H(m^2)$
- Périmètre mouille : $P_m = B + 2 \times H(m)$
- Rayon hydraulique : $R_h = \frac{S_m}{P_m}$
- Débit de crue réel avec la formule de *Manning Strickler*

$$Q_{crue_r} = Nbr_{cellule} \times (K_s \times S_m \times R_h^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{I_c})\ (m^3/s)$$

Tableau 43 : Résultats synthétiques du dimensionnement de l'ouvrage

Ouvrage de Franchissement: Dalots										
Bassin Versant	**PK0+091**	**PK0+416**	**PK0+754**	**PK0+975**	**PK1+890**	**PK2+465**	**PK4+190**	**PK6+430**	**PK8+556**	**PK 9+847**
	BV1	BV2	BV3	BV4	BV5	BV6		BV7	BV8	BV9
	OH1	OH2	OH3	OH4	OH5	0H6	OH7	0H8	0H9	0H10
Debit à évacuer Q10 (m3/s)	13,685	16,126	17,125	14,208	18,525	9,384	9,384	7,746	20,692	11,945
Pesanteur g(m²/s)	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
Vitesse admissible Vadm(m/s)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Nombre de Cellule n	2	2	2	2	3	1	1	2	2	1
Debit par cellule Q10/n (m3/s)	6,842	8,063	8,562	7,104	6,175	9,384	9,384	3,873	10,346	11,945
Hauteur du dalot D(m)	1	1	1	1	1,5	0,8	1,5	2	3	2
Largeur d'une cellule B(m)	1	1	1	1	2	0,8	1,5	3	3	3
Débit réduit Q*(m3/s)	1,545	1,820	1,933	1,604	0,379	3,701	0,769	0,103	0,150	0,318
Hauteur réduite H* (abaque 77 du BCEOM) (m)	0,62	0,661	0,82	0,58	0,82	0,77	0,77	0,84	0,84	0,758
Hauteur d'eau en amont H1(m)	0,62	0,661	0,82	0,58	1,23	0,616	1,155	1,68	2,52	1,516
Vérification (H1/D≤1,25)	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Revanche r(≥ 0,5)=(D - H1) (m)	0,38	0,339	0,18	0,42	0,27	0,184	0,345	0,32	0,48	0,484
Détermination de la pente longitudinale critique Ic (I du projet ≥ Ic trouvée)										
Débit réduit Q*(m3/s)	2,185	2,574	2,734	2,268	0,349	5,234	1,087	0,079	0,212	0,245
Pente critique réduite Ic* (abaque 82 du BCEOM)(n	2,7	2,75	3,25	2,7	2,75	2,8	2,8	2,9	2,7	2,78
Coefficient de rugosité Ks	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
Pente critique Ic	0,006	0,006	0,007	0,006	0,005	0,007	0,005	0,004	0,004	0,004
Détermination de la vitesse d'écoulement Vmax										
Débit réduit Q*(m3/s)	1,329	1,552	1,516	1,380	0,210	3,128	0,650	0,047	0,129	0,147
Vitesse réduite V* (abaque 84 du BCEOM)(m/s)	0,294	0,305	0,405	0,294	0,317	0,328	0,328	0,405	0,294	0,328
Vitesse de sortie V (m/s)	1,513	1,584	2,287	1,513	2,328	1,538	2,105	3,742	2,621	2,967
Verification de la vitesse	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui
Section retenue	**2 x 1 x 1**	**2 x 1 x 1**	**2 x 1 x 1**	**2 x 1 x 1**	**3 x 2 x 1,5**	**1 x 0,8 x 0,8**	**1 x 1,5 x 1,5**	**2 x 3 x 2**	**2 x 3 x 3**	**1 x 3 x 2**

Annexe 10 : Dimensionnement structurel analytique des ouvrages hydrauliques

X.10.1. Ouvrages de drainage longitudinal

Les ouvrages de drainage longitudinaux, tels que les caniveaux, fossés bétonnés, dalots de raccordement et bordures, ne feront pas l'objet d'une analyse approfondie dans cette étude. Leur mise en place sera néanmoins assurée à l'aide d'éléments préfabriqués, dont les sections seront adaptées en fonction des caractéristiques de chaque bassin versant traversé.

X.10.2. Etude structurale de l'ouvrage de drainage transversal

Cette section est consacrée au dimensionnement en béton armé d'un dalot à double ouverture, réalise selon une approche analytique et vérifiée à l'aide du logiciel Robot Structural Analysis. L'ouvrage concerné est l'OH 9, de section hydraulique 2x3,00x3,00m rattaché au bassin versant 8 et localisé au PK8+556. L'étude vise à produire un plan de ferraillage adaptée à une hauteur de remblai routier inférieure ou égale à 2m, en recherchant un équilibre optimal entre le coût de réalisation, la sécurité structurelle et la qualité esthétique de l'ouvrage.

X.10.3. Hypothèse et cadre règlementaire

La présente analyse s'appuie sur les exigences et recommandations définies par les normes ci-après :

- Guide de conception des ponts cadres et portiques (SETRA) ;
- Fascicule 62 titre V techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de Génie Civil ;
- BAEL 91 révisé 99 ;
- Fascicule 61 titre II concernant les charges d'exploitations ;
- Fascicule 65 du CCTG qualité d'exécution des ouvrages de Génie civil en béton armé.

X.10.4. Caractéristiques des matériaux

Chaque matériau mis en œuvre présente des caractéristiques intrinsèques qui lui sont propres. Ces propriétés physiques et mécanique conditionnent directement le niveau de performance et la durabilité de l'ouvrage projeté.

X.10.5. Définition géométrique de l'ouvrage de franchissement

La conception géométrique du dalot repose sur un ensemble de paramètres dimensionnels indispensables à son bon fonctionnement. Ces paramètres, consignes dans les plans de coffrage,

englobent les sections transversales et longitudinales de chacun des éléments structuraux composant le corps de l'ouvrage.

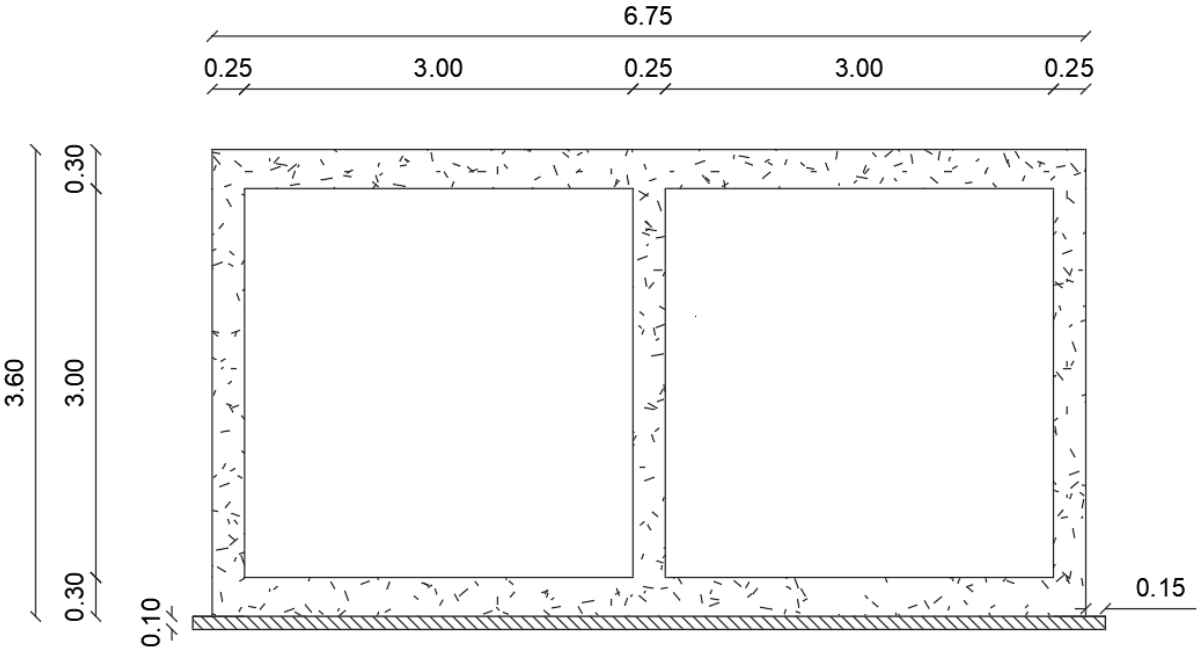


Figure 35: Caractéristique géométrique de l'ouvrage de franchissement

X.10.6. Dimensionnement analytique de l'ouvrage de drainage transversal (dalot)

L'analyse structurelle du dalot a été une tranche unitaire d'un mètre linéaire (B = 1,00 m). La méthode des trois moments a été adoptée comme outil de résolution afin d'évaluer la distribution des efforts internes et des moments fléchissant sollicitant l'ouvrage. Les murs en aile, quant à eux, ont fait l'objet d'une modélisation en tant qu'ouvrages de soutènement et ont été dimensionnés en conséquence. Afin de prendre en compte simultanément la symétrie géométrie de la structure et l'asymétrie des cas de chargement, les piédroits intermédiaires ont été considérés comme travaillant en compression simple. Cette hypothèse permet de réduire à zéro le moment fléchissant au droit de ces éléments, offrant ainsi la possibilité de recourir à la méthode des rotations pour l'analyse de l'équilibre nodal du schéma statique.

- ✓ **Le théorème des trois (03) moments :**

$$b_i M_{i-1} + (a_{i+1} + C_i) M_i + b_{i+1} M_{i+1} = \varphi'_{io} - \varphi''_{io}$$

✓ **Les coefficients de souplesse :**

En considérant la rigidité EI constante.

$$a_i = \frac{l_i}{3EI} \Longrightarrow a_{i+1} = \frac{l_{i+1}}{3EI} \; ; \; b_i = \frac{l_i}{6EI} \; ; \; c_i = \frac{l_i}{3EI}$$

✓ **Rotations autour des appuis :**

$$\varphi'_{io} = \int_0^{l_i} (\frac{x}{l_i} * \frac{M_{iso}(x)}{EI}) dx \; et \; \varphi''_{io} = \int_0^{l_i} ((1 - \frac{x}{l_i}) * \frac{M_{iso}(x)}{EI}) dx$$

Pour une poutre isostatique sur deux appuis sont :

$$\varphi'_{io} = -\frac{q * l^3}{24EI} \; et \; \varphi''_{io} = \frac{q * l^3}{24EI}$$

✓ **Le moment et l'effort tranchant en travée :**

$$M(x) = M_{iso}(x) + M_A + \frac{M_{A+1} - M_A}{L_i} x \; et \; V(x) = V_o(x) + \frac{M_{A+1} - M_A}{L_i}$$

Avec $V_o(x) = -\frac{d(M_{iso}(x))}{dx}$

X.10.6.1. Principe de calcul des efforts et sollicitations

L'analyse structurelle du dalot repose sur le modèle d'un cadre fermé, au sein duquel les charges appliquées tant verticales qu'horizontales sont redistribuées entre les différents éléments constitutifs de la structure proportionnellement à leurs rigidités respectives. Seules les déformations induites par les actions permanentes et les charges d'exploitation sont prises en compte dans cette analyse.

- Charges permanentes

Pour ce type de chargement, la déformation des efforts internes et des moments de flexion est conduite par application de la méthode des trois moments, qui permet d'établir les équations de comptabilité aux nœuds du système hyperstatique.

- Charges d'exploitation

S'agissant des charges variables liées au trafic routier, les sollicitations sont évaluées au moyen de la méthode des lignes d'influence. Cette approche consiste à faire parcourir la charge mobile le long des traverses, assimilées à des poutres hyperstatiques, afin d'identifier la position la

plus défavorable induisant l'effet maximal sur la structure. L'analyse intègre également les surfaces d'impact correspondantes, conformément aux prescriptions règlementaires en vigueur.

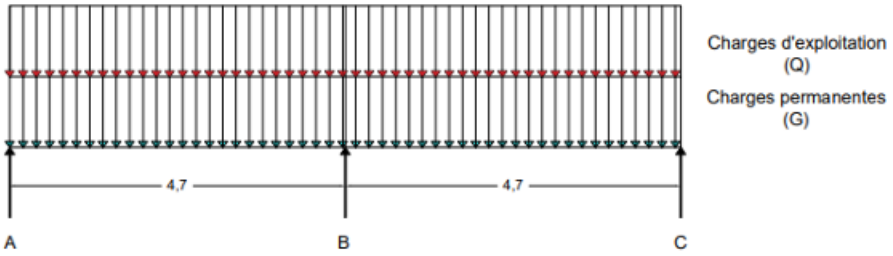


Figure 36 : Mode de chargement de l'ouvrage

X.10.6.2. Evaluation des charges permanentes dues au trafic routier

Les charges permanentes englobent le poids propre des éléments structuraux ainsi que celui des équipements et finitions définitivement intégrés à l'ouvrage. Leur intensité et leur position demeurent invariables durant toute la vie de la structure.

Dans cette étude, elles sont modélisées en charges uniformément reparties sur l'ensemble des travées, et combinées selon les dispositions de l'Etat Limite de Service (ELS) pour le dimensionnement.

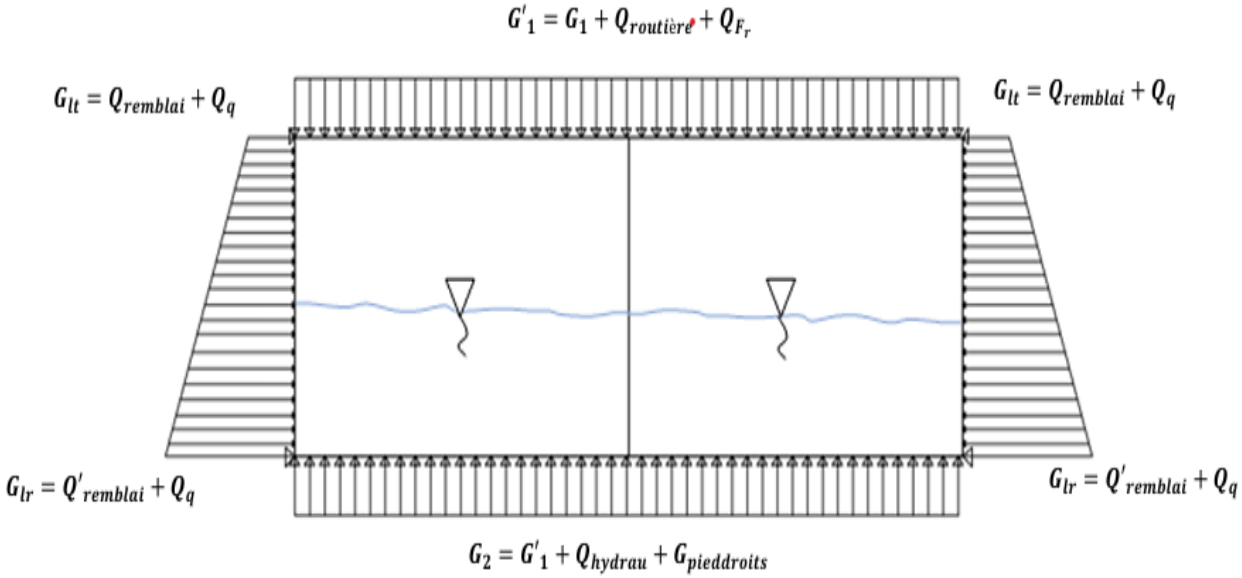


Figure 37 : Schéma mécanique du chargement permanent appliques à l'ouvrage.

❖ **Descente de charge**

Tableau 44 : Descente de charge sur le dalot sur le dalot 2×3×3

Eléments constitutifs du dalot	Formules	Application numérique	Résultat (kN/m²)	Total (kN/m²)
Au niveau du tablier du dalot				
Poids propre du tablier	$\gamma_b \times ep$	$25 \times 0{,}30$	7,5	28,1
Poids propre des guides roues	$Nbr \times \gamma_b \times ep$	$2 \times 25 \times 0{,}20$	10	
Poids du remblai	$\gamma_f \times ep + \gamma_{ba} \times ep$	$20 \times 0{,}25 + 22 \times 0{,}20$	9,4	
Poids du revêtement (BB)	$\gamma_r \times ep$	$24 \times 0{,}05$	1,2	
Au niveau du radier du dalot				
Poids propre du radier 1	$\gamma_b \times ep$	$25 \times 0{,}3$	7,5	54,35
Poids propre des piédroits (voiles)	$Nbr \times \gamma_b \times ep$	$3 \times 25 \times 0{,}25$	18,75	
Poids G1	28,1			
Au niveau des têtes du dalot				
Poids propre du radier 2	$Nbr \times \gamma_b \times ep$	$2 \times 25 \times 0{,}20$	10	52,5
Poids propre de la bêche	$Nbr \times \gamma_b \times ep$	$2 \times 25 \times 0{,}25$	12,5	
Murs en ailes	$Nbr \times \gamma_b \times ep$	$4 \times 25 \times 0{,}3$	30	
Poussées de terres				
Poussée latérale du remblai sur le tablier (h_1 = 20 cm et h_2 = 45 cm) avec une surcharge q = 10 kN/m² sur les remblais d'accès à l'ouvrage	$k_a \times (\gamma_{ba} \times h_1) + (\gamma_d \times h_2 + q)$	$0{,}33 \times (22 \times 0{,}20 + 20 \times 0{,}45 + 10)$	7,72	44,48
Poussée latérale du remblai sur le tablier (h_1 =5,05 cm et h_2 = 4,85)	$k_a \times (\gamma_{ba} \times h_1) + (\gamma_d \times h_2 + q)$	$0{,}33 \times (22 \times 0{,}20 + 20 \times 4{,}85 + 10)$	36,76	
Charge hydraulique				
Charge d'eau qui transite	$Nbr \times \gamma_w \times h_w$	$2 \times 10 \times 0{,}84$	16,8	

X.10.6.3. Evaluation des charges d'exploitations dues au trafic routier

Les actions liées à la circulation routière sont par nature mobiles et variables dans le temps. Les charges normales de trafic sont organisées en plusieurs systèmes réglementaires : le système A, le système B (B_C, B_{CN} et B_r) et le système militaire (M_{C80}, M_{C120} et *convois exceptionnels*), transmettant à la structure des charges linéaires uniformément reparties dont les effets sont examinés séparément pour chaque élément du dalot. Conformément au Fascicule 61du titre II, le nombre de files de chargement retenu doit rester inférieur ou égal au nombre de voies réelles, même si la géométrie le permettrait autrement. La démarche

consiste alors à identifier le système le plus sollicitant, puis à déterminer la position la plus défavorable du convoi ou de la file considérée.

❖ **Système de charge A**

Ce système modélise l'effet global des surcharges routières en situation de trafic dense, de ralentissement ou de stationnement. Son intensité A(l), fonction de la longueur chargée, s'applique aux ouvrages de première classe a une ou deux voies, ainsi qu'aux ouvrages de deuxième classe a deux voies lorsqu'une seule voie est chargée.

La valeur de ce chargement est donnée par la relation : $Q_{A(l)} = \gamma_q \times a_2 \times q(l)\ (kN/m^2)$

$$q(l) = \max\begin{cases} a_1 \times A(l) \\ 4 - 0{,}002 \times l \end{cases}, A(l) = 2{,}3 + \frac{360}{l+12}\ et\ a_2 = \frac{V_O}{V}$$

Avec :

- γ_q : Coefficient de pondération des charges d'exploitation, égal à 1,2 a l'ELS et 1,15 a l'ELU ;
- a_1 : Coefficient de dégression transversal lu en fonction de la classe du pont et du nombre de voie ;
- a_2 : Coefficient calculé ;
- $A(l)$: Charge en fonction de largeur de voie chargée (kN/m^2) ;
- l : Largeur d'une voie (m) ;
- V_O : Largeur dépendant de la classe du pont (m) ;
- V : Largeur d'une voie (m).

Tableau 45 : Choix de la classe de pont à projeter

Classe du pont	**Largeur roulable**	**V_O**	**Nombre de voies chargées (a_1)**				
			1	2	3	4	5
I	≥ 7m	3,5 m	1	1	0,9	0,75	0,75
II	5,5 m <L_r< 7m	3,0 m	1	0,9	-	-	-
III	≤ 5,5 m	2,75 m	0,9	0,8	-	-	-

Les caractéristiques du profil en travers adoptés sont :

- Rase campagne :
  - Chaussée de 2 × 3,50 m ;
  - Accotement de 2 × 1,50 m.
- Traversées en agglomération :
  - Chaussée de 2 × 3,50 m ;
  - Accotement de 2 × 2,00 m.

L'ouvrage OH 9 étant implanté en zone de rase de rase campagne, le profil en travers retenu est celui correspondant à ce type d'environnement routier, conformément aux prescriptions réglementaires en vigueur.

- Largeur roulable est $l_r = l_C = 2 \times 3{,}50 + 2 \times 1{,}50 = 10$ m
- Le nombre de voies chargées (N_v) = Entier ($\frac{l_c}{3}$) = Entier ($\frac{10}{3}$) = Entier (3,33)

$$\text{Alors} \quad N_v = 3 \text{ voies}$$

- Largeur d'une voie chargée : $V = \frac{l_c}{N_v} = \frac{10}{3}$

$$V = 3{,}33 \text{ m}$$

- $V_O = 3{,}5\ m$ pour un pont de classe I
- $a_1 = 0{,}9$ car $\begin{cases} N_v = 3 \text{ voies} \\ \text{pont de classe I} \end{cases}$ et $a_2 = \frac{3{,}5}{3{,}33} = 1{,}05$
- $A(l) = 2{,}3 + \frac{360}{l+12} \Rightarrow A(l) = 2{,}3 + \frac{360}{10+12} = \mathbf{18{,}66\ kN/m^2}$

$$q(l) = \max\begin{cases} 0{,}9 \times 18{,}66 \\ 4 - 0{,}002 \times 10 \end{cases} \Rightarrow \quad q(l) = \max\begin{cases} \mathbf{16{,}79\ kN/m^2} \\ 3{,}98\ kN/m^2 \end{cases}$$

- $Q_{A(l)} = 1{,}2 \times 1{,}05 \times 16{,}79 \Rightarrow Q_{A(l)} = \mathbf{21{,}16\ kN/m^2}$

❖ **Le système de charge B :**

Le système B se décline en quatre sous-systèmes distincts : B_C, B_{CN}, B_r et B_r. Leur application sur la structure nécessite l'introduction de deux types de coefficients correcteurs. Le premier traduit la réduction progressive des charges selon la direction transversale de l'ouvrage, tandis que le second amplifie les sollicitations pour tenir compte des effets dynamiques générés par la vitesse et le caractère instantané des impacts de trafic. Par ailleurs, la diffusion des charges à travers les matériaux est prise en compte selon deux angles distincts : un angle de diffusion

de $\alpha = 30°$ dans le remblai et de $\theta = 45°$ dans le béton. Cette diffusion élargit progressivement la surface d'impact initiale jusqu'à une surface enveloppe atteignant la fibre neutre du tablier, au niveau de laquelle les charges sont supposées uniformément réparties.

Tableau 46 : Coefficient de pondération dû à la dégressivité transversale

Classe du pont		**Nombre de voies chargées**				
		1	2	3	4	5
b_C et b_{CN}	I	1,2	1,1	0,95	0,8	0,7
	II	1	1	-	-	-
	III	0,9	0,8	-	-	-
Classe du pont		b_t et b_r				
I		1				
II		0,9				
III		-				

Dans le cadre du dimensionnement des éléments structuraux du dalot, les surcharges d'exploitation retenues sont issues du système B. Selon le sous-système considéré, les charges normales de trafic prises en compte pour l'évaluation des sollicitations internes se présentent comme suit :

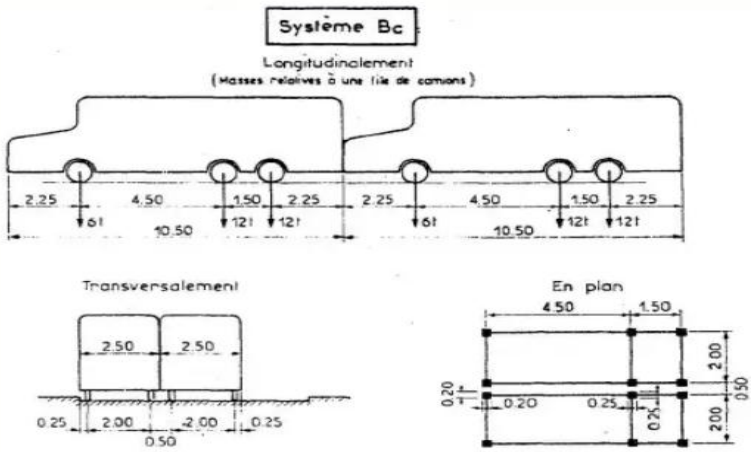
$$\boldsymbol{Q_{B_i}} = \boldsymbol{\gamma_q} \times \boldsymbol{\delta_i} \times \boldsymbol{b_i} \times \boldsymbol{B_i} \text{ avec } \delta_i = 1 + \frac{0,4}{1+0,2\times L} + \frac{0,6}{1+4\times\frac{G}{S}}$$

Avec :

- γ_q : Coefficient de pondération des charges d'exploitation, égal à 1,2 à l'ELS et 1,15 à l'ELU ;
- δ_i : Coefficient de majoration dynamique ;
- b_i : Coefficient de pondération dû à la dégressivité transversale ;
- B_i : densité de charge effective du système résultant de la surface d'impact du convoi ;
- G : Poids total des charges permanentes que supporte le tablier ;
- S : Poids total des charges des essieux du système ;
- t_x et t_y : Surface d'impact du convoi.

❖ **Sous-système de charge B_C**

La sollicitation associée à ce sous-système est évaluée à partir de l'expression analytique suivante : $\mathbf{Q_{Bc}} = \boldsymbol{\gamma_q} \times \boldsymbol{\delta_{Bc}} \times \boldsymbol{b_c} \times \boldsymbol{B_c}$



La disposition la plus défavorable conduit à placer sur une même travée 3× 2 essieux de 12 tonnes, soit 12 roues de 6 tonnes, sur une surface d'encombrement équivalente retenue pour le calcul.

$$B_C = \frac{F}{(t_x + u) \times (t_y + v)} = \frac{12 \times 6}{(12 \times 0{,}25 + 0{,}82) \times (12 \times 0{,}25 + 0{,}82)}$$

$$B_C = 4{,}93\ t/m^2 \Rightarrow \boldsymbol{B_C = 49{,}30\ kN/m^2}$$

On a L= max$\begin{cases} largeur\ roulable = 10\ m \\ portee\ de\ la\ travee = 3\ m \\ G = G_1 \times l_r \times l_{hydrau} \end{cases}$ .Avec $G = 28{,}1 \times 10 \times 3 \Rightarrow G = 843$ kN

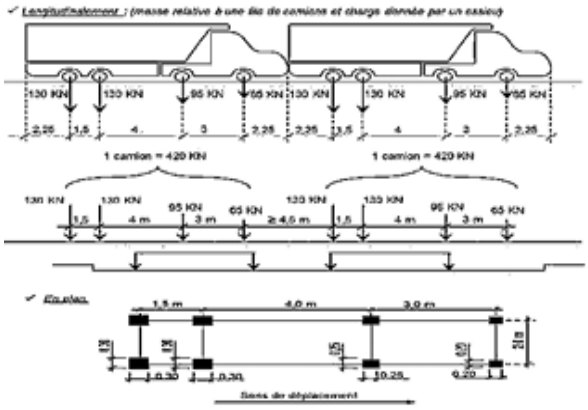
Et $S_{Bc} = 3 \times 2 \times 120 \Rightarrow S_{Bc} = 720$ kN

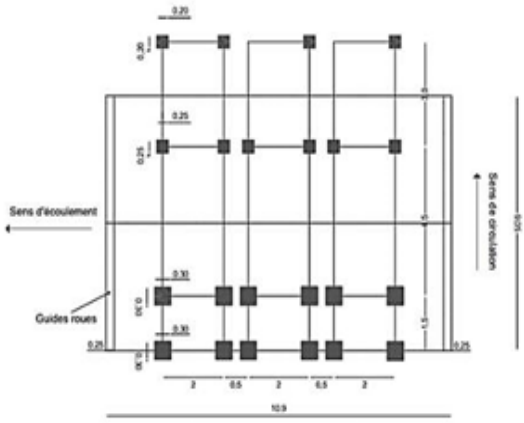
$$\delta_{Bc} = 1 + \frac{0{,}4}{1+0{,}2\times 10} + \frac{0{,}6}{1+4\times\frac{843}{720}} \Rightarrow \boldsymbol{\delta_{Bc} = 1{,}24}$$

❖ **Sous-système de charge B_{CN} *(UEMOA)***

Ce sous-système s'applique aux pays membres de l'UEMOA dont le réseau routier supporte un trafic de poids lourds a plus de 4 essieux (80 tonnes).

$$\mathbf{Q_{B_{CN}} = \gamma_q \times \delta_{B_{CN}} \times b_{CN} \times B_{CN}}$$





On constate qu'on peut disposer sur une travée 3×2 essieux de 13 tonnes du système soit 12 roues de 6,5 tonnes (cas défavorable) avec une surface d'encombrement équivalente

$$B_{CN} = \frac{F}{(t_x + u) \times (t_y + v)} = \frac{12 \times 6{,}5}{(12 \times 0{,}30 + 0{,}82) \times (12 \times 0{,}30 + 0{,}82)}$$

$$B_{CN} = 3{,}99\ t/m^2 \Rightarrow \mathbf{B_{CN} = 39{,}90\ kN/m^2}$$

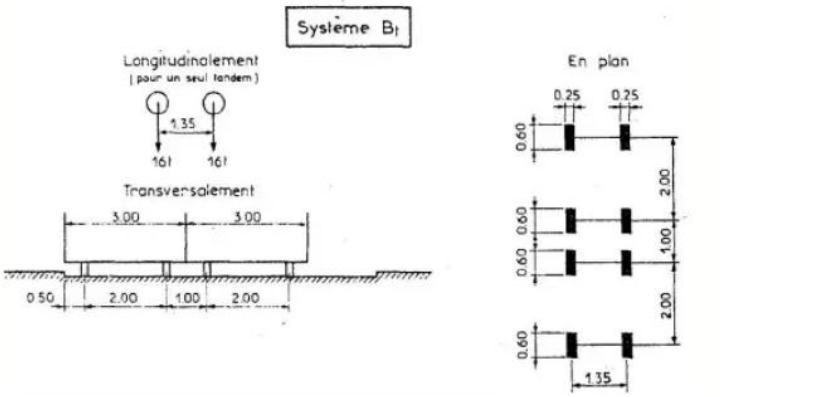
On a L= max$\begin{cases} largeur\ roulable = 10\ m \\ portee\ de\ la\ travee = 3\ m \\ G = G_1 \times l_r \times l_{hydrau} \end{cases}$ .Avec $G = 28{,}1 \times 10 \times 3 \Rightarrow G = 843$ kN

Et $S_{B_{CN}} = 3 \times 2 \times 130 \Rightarrow S_{Bc} = 780$ kN

$$\delta_{B_{CN}} = 1 + \frac{0{,}4}{1+0{,}2\times 10} + \frac{0{,}6}{1+4\times\frac{843}{780}} \Rightarrow \mathbf{\delta_{B_{CN}} = 1{,}24}$$

❖ **Sous-système de charge B_t**

Le système B_t est composé de tandems à deux (2) essieux de 16 tonnes chacun. Il ne s'applique qu'aux ponts de la 1 ère et 2 ème classe.



$$B_t = \frac{F}{(t_x + u) \times (t_y + v)} = \frac{8 \times 8}{(8 \times 0{,}25 + 0{,}82) \times (8 \times 0{,}25 + 0{,}82)}$$

$$B_t = 8{,}04\ t/m^2 \Rightarrow \boldsymbol{B_{CN} = 80{,}40\ kN/m^2}$$

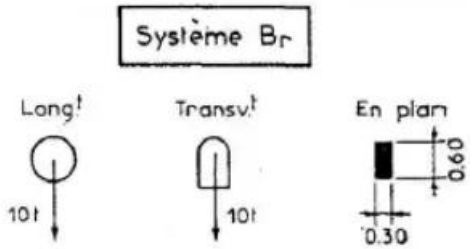
On a L= max$\begin{cases} largeur\ roulable = 10\ m \\ portee\ de\ la\ travee = 3\ m \\ G = G_1 \times l_r \times l_{hydrau} \end{cases}$ .Avec $G = 28{,}1 \times 10 \times 3 \Rightarrow G = 843$ kN

Et $S_{B_t} = 2 \times 2 \times 160 \Rightarrow S_{Bc} = 640$ kN

$$\delta_{B_t} = 1 + \frac{0{,}4}{1+0{,}2\times 10} + \frac{0{,}6}{1+4\times\frac{843}{640}} \Rightarrow \boldsymbol{\delta_{B_t} = 1{,}23}$$

❖ **Sous-système de charge B_r**

C'est une roue isolée disposée normalement à l'axe longitudinal de la chaussée. Dans l'étude de la stabilité d'ensemble des pièces maîtresses du pont, la roue n'est jamais défavorable. Par contre, elle peut l'être dans les études locales (problème de poinçonnement).



$$B_r = \frac{F}{(t_x + u) \times (t_y + v)} = \frac{100}{(0{,}6 + 0{,}82) \times (0{,}3 + 0{,}82)} \Rightarrow \boldsymbol{B_r = 62{,}87\ kN/m^2}$$

On a L= max$\begin{cases} largeur\ roulable = 10\ m \\ portee\ de\ la\ travee = 3\ m \\ G = G_1 \times l_r \times l_{hydrau} \end{cases}$ .Avec $G =$ 28,1 ×10 × 3 ⇒ G = 843 kN

Et S_{B_r} = 100 kN

$$\delta_{B_r} = 1 + \frac{0,4}{1+0,2\times 10} + \frac{0,6}{1+4\times\frac{843}{100}} \Rightarrow \boldsymbol{\delta_{B_r} = 1,15}$$

Récapitulatif :

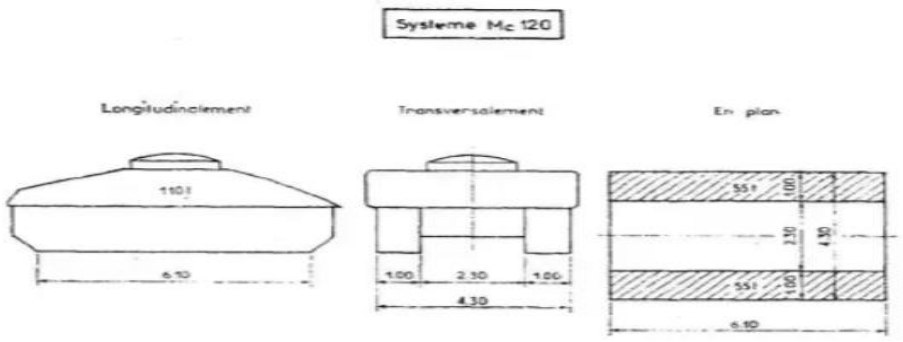
$$\begin{cases} \delta_{B_C} = 1,24 \\ \delta_{B_{CN}} = 1,24 \\ \delta_{B_t} = 1,23 \\ \delta_{B_r} = 1,15 \end{cases}$$

$$Q_B = max \begin{cases} Q_{B_C} = 1,2 \times 1,24 \times 0,95 \times 49,3 = 69,69\ kN/m^2 \\ Q_{B_{CN}} = 1,2 \times 1,24 \times 0,95 \times 39,9 = 56,40\ kN/m^2 \\ Q_{B_t} = 1,2 \times 1,23 \times 1 \times 80,4 = 118,67\ kN/m^2 \\ Q_{B_r} = 1,2 \times 1,15 \times 1 \times 62,87 = 86,76\ kN/m^2 \end{cases} \Rightarrow \boldsymbol{Q_B = Q_{B_t}} = \mathbf{118,67\ kN/m^2}$$

On constate après calcul que le sous-système le plus défavorable est le sous-système B_t .

- Sous-système de charge $\boldsymbol{M_{c120}}$

  Le convoi type M_{c120} est un engin blindé à deux chenilles d'une masse totale de 110 tonnes. Chaque chenille mesure 6,10 m de long sur 1,00 m de large, avec un



  entraxe de 3,30 m. La pression exercée sur le tablier est supposée uniformément repartie sur la surface de contact de chaque chenille.

La charge dû à ce système est donnée par la relation : $Q_{M_{C120}} = Q_{M_{C120}} \times B_{M_{C120}}$

L= max$\begin{cases} largeur\ roulable = 10\ m \\ portee\ de\ la\ travee = 3\ m \\ G = G_1 \times l_r \times l_{hydrau} \end{cases}$ .Avec $G =$ 28,1 ×10 × 3 ⇒ G = 843 kN

Et $S_{M_{C120}} = 2 \times 55 = 110$ tonnes

$$\delta_{M_{C120}} = 1 + \frac{0,4}{1+0,2\times 10} + \frac{0,6}{1+4\times\frac{843}{1100}} \Rightarrow \boldsymbol{\delta_{M_{C120}} = 1,28}$$

$$B_{M_{C120}} = \frac{F}{(t_x + u) \times (t_y + v)} = \frac{2 \times 55}{(4 + 0,82)\times (2 \times 1 + 0,82)}$$

$$B_{M_{C120}} = 8,09\ t/m^2 \Rightarrow \boldsymbol{B_{M_{C120}} = 80,9\ kN/m^2}$$

$$Q_{M_{C120}} = 1,28 \times 80,9 \Rightarrow \boldsymbol{Q_{M_{C120}} = 103,55\ kN/m^2}$$

Tableau 47 : Récapitulatif des charges d'exploitation

Désignations	$A(l)$	B_C	B_{CN}	B_t	B_r	M_{C120}
G (kN)	843	843	843	843	843	843
S (kN)	-	720	780	640	100	1100
Surface d'impact finale (m^2)	-	14,60	19,55	7,96	1,59	13,60
B (kN/m^2)	-	49,3	39,9	80,4	62,87	80,9
δ	-	1,24	1,24	1,23	1,15	1,28
Densité de charge Q (kN/m^2)	21,16	69,69	56,4	118,67	86,76	103,55
Choix	Le système B_t est la plus défavorable avec 118,67 kN/m^2					

X.10.6.4. Vérification de la capacite portante du sol

La vérification de la portance du sol consiste à s'assurer que la charge surfacique totale transmise par l'ouvrage reste inférieure à la capacite admissible du sol, garantissant ainsi l'absence de tout tassement ou déformation. D'après les investigations menées par la mission de contrôle sur le site du projet, la contrainte admissible du sol de fondation compactée est établie à 200 kPa (0,20 Mpa).

- Calcul de la charge finale du corps selon la combinaison d'action à l'ELS :

$$P_{ser} = G + Q$$

G = Σ charges permanentes ⇒ $G = G_2\ et\ Q = Q_{M_{C120}}$

Avec :

- G : charge permanente définitif (kN/m^2) ;
- G_2 : charge au niveau du radier corps (kN/m^2) ;
- Q : charge routière définitif la plus défavorable (kN/m^2) ;
- Q_{Bt} : charge routière défavorable (kN/m^2) ;
- Q_{Fr} : charge de freinage (kN/m^2).

G = 54,35 kN/m² et Q = 118,67 kN/m²

$P_{ser} = 54{,}35 + 118{,}67 \Rightarrow P_{ser} = 173{,}02\ kN/m^2 = 0{,}17$ Mpa

On observe que le P_{ser} (0,17 Mpa) < σ_{sol} (0,20 Mpa), alors le sol supporte bien les charges induites par le corps de l'ouvrage.

X.10.6.5. Calcul des efforts et sollicitations

La pression hydrostatique exercée sur le tablier est jugée négligeable, la résistance intrinsèque du béton étant suffisante pour en contrebalancer les effets.

- A l'ELS : $P_{ser} = G + Q$
- A l'ELU : $P_{ser} = 1{,}35.G + 1{,}50.Q$

NB : Le dimensionnement est conduit à l'Etat Limite de Service (ELS), conformément aux exigences applicables aux ouvrages en contact avec l'eau soumis à une fissuration préjudiciable. Cet état limite garantit la durabilité de la structure, sa résistance aux variations environnementales ainsi que sa pérennité à long terme.

Tableau 48 : Charge totale appliquée sur chaque élément constitutif du dalot 2×3×3

Eléments de la structure du corps	Charge permanente (kN/m^2)	Charge routière (kN/m^2)	Total à l'ELU (kN/m^2)	Total à l'ELS (kN/m^2)
Tablier (P_1)	28,1	118,67	215,94	146,77
Piédroits (P_2)	45,38	59,34	150,27	104,715
Piédroits (P'_2)	74,39		189,43	133,725
Corps du radier (P_3)	53,35	118,67	250,03	172,02

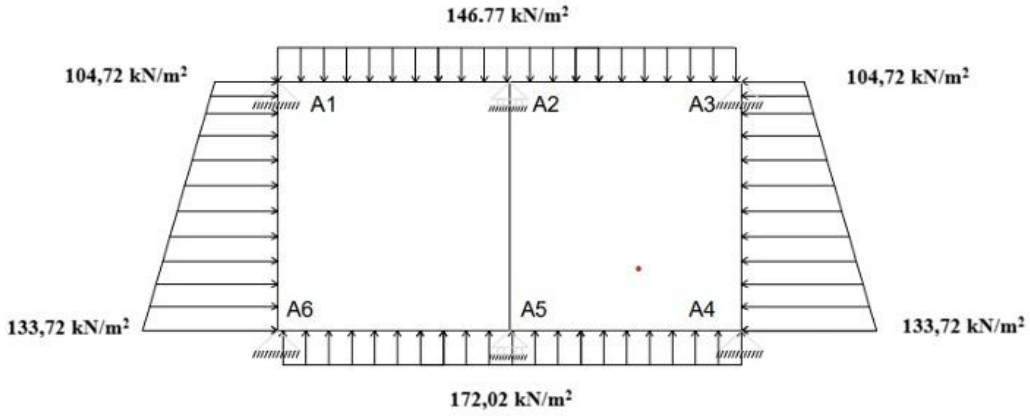


Figure 38 : Modélisation avec Pybar

X.10.6.6. Calcul des moments

Le degré d'hyperstaticité est déterminé par la méthode des contours fermées, indépendamment des charges extérieures, en se basant uniquement sur les conditions d'appui et les efforts internes suivant la fibre moyenne de la structure. Il est donné par la relation suivante : $d = 3c - a - 2s$

Où :

- c : nombre de contours de la structure ;
- a : nombre d'appuis doubles ;
- s : nombre d'appuis simples.

$d = 3 \times 5 - 4 - 2 \times 2 \Rightarrow \mathbf{d = 13} \Rightarrow d > 0$

a. Moments aux appuis

Les moments fléchissant sont évalués par la méthode des trois moments, applicable aux systèmes de poutres continue. Les travées sont assimilées à des poutres continues mesurées d'axe en axe, avec rigidité EI supposée constante sur l'ensemble de la structure, conduisant à la relation suivante aux appuis :

$$M_{i-1}.l_{i-1} + 2 \times (l_{i-1} + l_i).M_i + M_{i+1}.l_i = 6EI.(\varphi_{ig} - \varphi_{id})$$

- Travées $A_6\boldsymbol{A_1}A_2$

$$3{,}3.M_{A_6} + 2 \times (3{,}3 + 3{,}25).M_{A_1} + 3{,}25.M_{A_2} = 6EI(\varphi'_{A_1} - \varphi''_{A_1})$$

Avec : $\varphi'_{A_1} = \frac{l^3}{360EI} \times (8P_2 + 7P'_2)$ et $\varphi''_{A_1} = -\frac{l^3}{24EI} \times P_1$

D'où : $\mathbf{3,33.M_{A_6} + 13,1.M_{A_1} + .3,25.M_{A_3} = 2321,99\ (E1)}$

- Travées $A_1\mathbf{A_2}A_3$

$$3{,}25M_{A_1} + 13M_{A_2} + 3{,}25M_{A_3} = 6EI(\varphi'_{A_2} - \varphi''_{A_2})$$

Avec : $\varphi'_{A_2} = \frac{l^3}{24EI} \times P_1$ et $\varphi''_{A_2} = -\frac{l^3}{24EI} \times P_1$

D'où : $\mathbf{3,25.M_{A_1} + 13M_{A_2} + 3,25.M_{A_3} = 2519,169\ (E2)}$

- Travées $A_2\mathbf{A_3}A_4$

$$3{,}25M_{A_1} + 13{,}1M_{A_2} + 3{,}3M_{A_4} = 6EI(\varphi'_{A_3} - \varphi''_{A_3})$$

Avec : $\varphi'_{A_3} = \frac{l^3}{24EI} \times P_1$ et $\varphi''_{A_3} = \frac{l^3}{360EI} \times (8P_2 + 7P'_2)$

D'où : $\mathbf{3,25.M_{A_2} + 13,1M_{A_3} + 3,3.M_{A_4} = 2321,99\ (E3)}$

- Travées $A_3\mathbf{A_4}A_5$

$$3{,}3.M_{A_3} + 2 \times (3{,}3 + 3{,}25).M_{A_4} + 3{,}25.M_{A_5} = 6EI(\varphi'_{A_4} - \varphi''_{A_4})$$

Avec : $\varphi'_{A_4} = \frac{l^3}{360EI} \times (8P'_2 + 7P_2)$ et $\varphi''_{A_4} = -\frac{l^3}{24EI} \times P_1$

D'où : $\mathbf{3,3.M_{A_3} + 13,1.M_{A_4} + .3,25.M_{A_5} = 2556{,}071\ (E4)}$

- Travées $A_4\mathbf{A_5}A_6$

$$3{,}25M_{A_4} + 13M_{A_5} + 3{,}25M_{A_6} = 6EI(\varphi'_{A_5} - \varphi''_{A_5})$$

Avec : $\varphi'_{A_5} = \frac{l^3}{24EI} \times P_3$ et $\varphi''_{A_5} = -\frac{l^3}{24EI} \times P_3$

D'où : $\mathbf{3,25.M_{A_4} + 13M_{A_5} + 3,25.M_{A_6} = 2952,562\ (E5)}$

- Travées $A_5\mathbf{A_6}A_1$

$$3{,}25M_{A_5} + 13{,}1M_{A_6} + 3{,}3M_{A_1} = 6EI(\varphi'_{A_6} - \varphi''_{A_6})$$

Avec : $\varphi'_{A_6} = \frac{l^3}{24EI} \times P_3$ et $\varphi''_{A_6} = -\frac{l^3}{360EI} \times (8P'_2 + 7P_2)$

D'où : $\mathbf{3,25.M_{A_5} + 13,1M_{A_6} + 3,3.M_{A_1} = 2556,071\ (E6)}$

Le système qui en résulte est :

$$Systeme\ d'equation \begin{cases} \mathbf{3,3M_{A_1} + 13,1M_{A_2} + 0 + 0 + 0 + 3,25M_{A_6} = 2321,99\ (E1)} \\ \mathbf{3,25M_{A_1} + 13M_{A_2} + 3,25M_{A_3} + 0 + 0 + 0 = 2519,169\ (E2)} \\ \mathbf{0 + 3,25M_{A_2} + 13,1M_{A_3} + 3,3M_{A_4} + 0 + 0 = 2321,99\ (E3)} \\ \mathbf{0 + 0 + 3,3M_{A_3} + 13,1M_{A_4} + 3,25M_{A_5} + 0 = 2556,071\ (E4)} \\ \mathbf{0 + 0 + 0 + 3,25M_{A_4} + 13M_{A_5} + 3,25M_{A_6} = 2952,562\ (E5)} \\ \mathbf{3,25M_{A_1} + 0 + 0 + 0 + 13,1M_{A_5} + 3,3M_{A_6} = 2556,071\ (E6)} \end{cases}$$

Les résultats des moments aux appuis de l'ouvrage sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 49 : Moment aux appuis

Equations des moments fléchissants								
Appuis	Travées	1er membre			2nd membre	Angle de déformation		
A1	A6A1A2	**M6**	**M1**	**M2**	=	φ_i'	φ_i''	
		3,3	13,1	3,25	2321,999242	177,0690859	-209,9307878	**(E1)**
A2	A1A2A3	**M1**	**M2**	**M3**	=			
		3,25	13	3,25	2519,169453	209,9307878	-209,9307878	**(E2)**
A3	A2A3A4	**M2**	**M3**	**M4**	=			
		3,25	13,1	3,3	2321,999242	209,9307878	-177,0690859	**(E3)**
A4	A3A4A5	**M3**	**M4**	**M5**	=			
		3,3	13,1	3,25	2556,07107	179,9650091	-246,0468359	**(E4)**
A5	A4A5A6	**M4**	**M5**	**M6**	=			
		3,25	13	3,25	2952,562031	246,0468359	-246,0468359	**(E5)**
A6	A5A6A1	**M5**	**M6**	**M1**	=			
		3,25	13,1	3,3	2556,07107	246,0468359	-179,9650091	**(E6)**

Récapitulatifs du système d'équation							
Equations	**M1 (A)**	**M2 (B)**	**M3 (C)**	**M4 (D)**	**M5 (E)**	**M6 (F)**	**2nd membre**
(E1) : Aa+Bb+cC+dD+Ee+Ff	13,1	3,25	0	0	0	3,3	2321,999242
(E2) : Aa+Bb+cC+dD+Ee+Ff	3,25	13	3,25	0	0	0	2519,169453
(E3) : Aa+Bb+cC+dD+Ee+Ff	0	3,25	13,1	3,3	0	0	2321,999242
(E4) : Aa+Bb+cC+dD+Ee+Ff	0	0	3,3	13,1	3,25	0	2556,07107
(E5) : Aa+Bb+cC+dD+Ee+Ff	0	0	0	3,25	13	3,25	2952,562031
(E6) : Aa+Bb+cC+dD+Ee+Ff	3,3	0	0	0	3,25	13,1	2556,07107

b. Moments en travées

La détermination des moments en travée repose sur le principe de superposition, appliqué à chaque travée isolement. Ce principe combine le moment isostatique de référence dû au chargement et la contribution des moments d'appuis. La formule générale adoptée est la suivante :

$$M_i(x) = \mu_i(x) + \left(1 - \frac{x}{1}\right).M_g + \frac{x}{1}.M_d = \mu_i(x) + M_g + \frac{M_d - M_g}{1}.x$$

- **Travée A_1A_2 : (tablier)**

$$M_{12}(x) = \mu_{12}(x) + M_{A_1} + \frac{M_{A_2} - M_{A_1}}{1}.x$$

Avec : $\mu_{12}(x) = -R_{A_1}.x + \frac{P_1}{2}.x^2 (RA_1 = \frac{P_1.l}{2})$

D'où : $\boldsymbol{M_{12}(x) = 73,385x^2 - 230,1514x + 111,0968}$ $\boldsymbol{(E1)}$

- **Travée $\boldsymbol{A_2A_3}$: (tablier)**

$$M_{23}(x) = \mu_{23}(x) + M_{A_2} + \frac{M_{A_3} - M_{A_2}}{1}.x$$

Avec : $\mu_{23}(x) = -R_{A_2}.x + \frac{P_1}{2}.x^2 (R_{A_2} = \frac{P_1.l}{2})$

D'où : $\boldsymbol{M_{23}(x) = 73,385x^2 - 246,851x + 138,234}$ $\boldsymbol{(E2)}$

- **Travée $\boldsymbol{A_3A_4}$: (Piédroit rive droite)**

$$M_{34}(x) = \mu_{34}(x) + M_{A_3} + \frac{M_{A_4} - M_{A_3}}{1}.x$$

Avec : $\mu_{34}(x) = -R_{A_3}.x + \frac{P_2}{2}.x^2 + \frac{P'(x)}{2}.\frac{1}{3}.x^2$ $avec\ tg\ (\alpha) = \frac{P'_x}{x} = \frac{P_2 - P'_2}{l} \Rightarrow$

$P'_x = \frac{P_2 - P'_2}{l}.x$

$$R_3 = \frac{Q}{2}.\left(1 - \frac{\psi}{6}\right) et\ R_4 = \frac{Q}{2}.\left(1 + \frac{\psi}{6}\right)\ avec\ \psi = 2 \times \frac{P'_2 - P_2}{P'_2 + P_2} = \frac{P'_2 + P_2}{2}.l$$

Ainsi, $\mu_{34}(x) = 1,465x^3 + 52,358x^2 - 248,459x$

D'où : $\boldsymbol{M_{34}(x) = 1,465x^3 + 52,358x^2 - 243,799x^2 + 111,09685}$ $\boldsymbol{(E3)}$

- **Travée $\boldsymbol{A_4A_5}$: (radier)**

$$M_{45}(x) = \mu_{45}(x) + M_{A_4} + \frac{M_{A_5} - M_{A_4}}{1}.x$$

Avec : $\mu_{45}(x) = -R_{A_4}.x + \frac{P_3}{2}.x^2 (R_{A_4} = \frac{P_3.l}{2})$

D'où : $\boldsymbol{M_{45}(x) = 86,01x^2 - 268,023x + 126,475899}$ $\boldsymbol{(E4)}$

- **Travée $\boldsymbol{A_5A_6}$: (radier)**

$$M_{56}(x) = \mu_{56}(x) + M_{A_5} + \frac{M_{A_6} - M_{A_5}}{1}.x$$

Avec : $\mu_{56}(x) = -R_{A_5}.x + \frac{P_3}{2}.x^2 (R_{A_5} = \frac{P_3.l}{2})$

D'où : $\boldsymbol{M_{56}(x) = 86,01x^2 - 291,04213x + 163,882207}$ $\boldsymbol{(E5)}$

- **Travée $\boldsymbol{A_1A_6}$: (Piédroit rive gauche)**

$$M_{16}(x) = \mu_{16}(x) + M_{A_1} + \frac{M_{A_6} - M_{A_1}}{1}.x$$

Avec : $\mu_{16}(x) = -R_{A_1}.x + \frac{P_2}{2}.x^2 + \frac{P'(x)}{2}.\frac{1}{3}.x^2$ $avec\ tg\ (\alpha) = \frac{P'_x}{x} = \frac{P_2 - P'_2}{l} \Rightarrow$

$P'_x = \frac{P_2 - P'_2}{l}.x$

$$R_3 = \frac{Q}{2}.\left(1 - \frac{\psi}{6}\right) et\ R_4 = \frac{Q}{2}.\left(1 + \frac{\psi}{6}\right)\ avec\ \psi = 2 \times \frac{P'_2 - P_2}{P'_2 + P_2} = \frac{P'_2 + P_2}{2}.l$$

Ainsi, $\mu_{16}(x) = 1{,}46515x^3 + 52{,}3575x^2 - 248{,}4597x$

D'où : $M_{16}(x) = \mathbf{1,46515x^3 + 52,357x^2 - 243,7994x - 111,096}\ (\boldsymbol{E6})$

- **Travée A_2A_5 : (Piédroit intermédiaire)**

  Le piédroit intermédiaire est entièrement comprimé, donc il n'existe pas de moment de flexion.

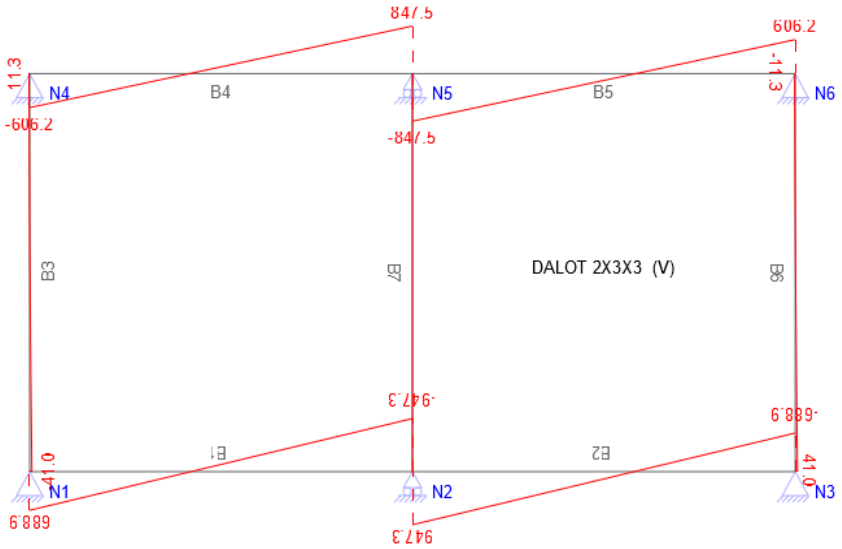
✓ Les équations des moments en travées qui en résulte sont :

$$\begin{cases} \boldsymbol{M_{12}(x) = 73,385x^2 - 230,1514x + 111,0968\ (E1)} \\ \boldsymbol{M_{23}(x) = 73,385x^2 - 246,851x + 138,234\ (E2)} \\ \boldsymbol{M_{34}(x) = 1,465x^3 + 52,358x^2 - 243,799x^2 + 111,09685\ (E3)} \\ \boldsymbol{M_{45}(x) = 86,01x^2 - 268,023x + 126,475899\ (E4)} \\ \boldsymbol{M_{56}(x) = 86,01x^2 - 291,04213x + 163,882207\ (E5)} \\ \boldsymbol{M_{16}(x) = 1,46515x^3 + 52,357x^2 - 243,7994x - 111,096\ (E6)} \end{cases}$$

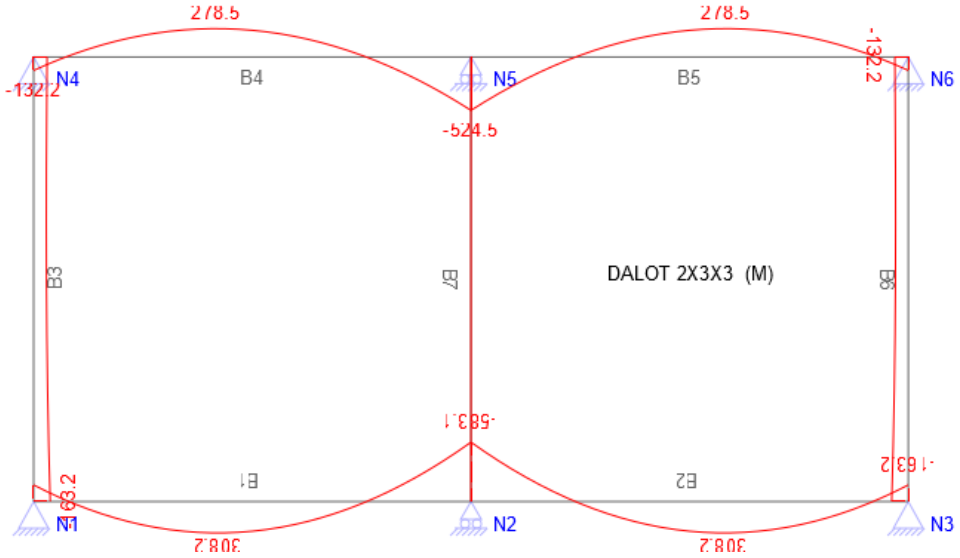
L'effort tranchant est obtenu par dérivation du moment en travée. Une résistance insuffisante du béton au cisaillement sous des charges élevées peut engendrer une rupture fragile, se manifestant par l'apparition de fissures au voisinage des appuis en direction du point d'application de la charge.

Tableau 50 : Moments en travées, efforts tranchants et réactions d'appuis

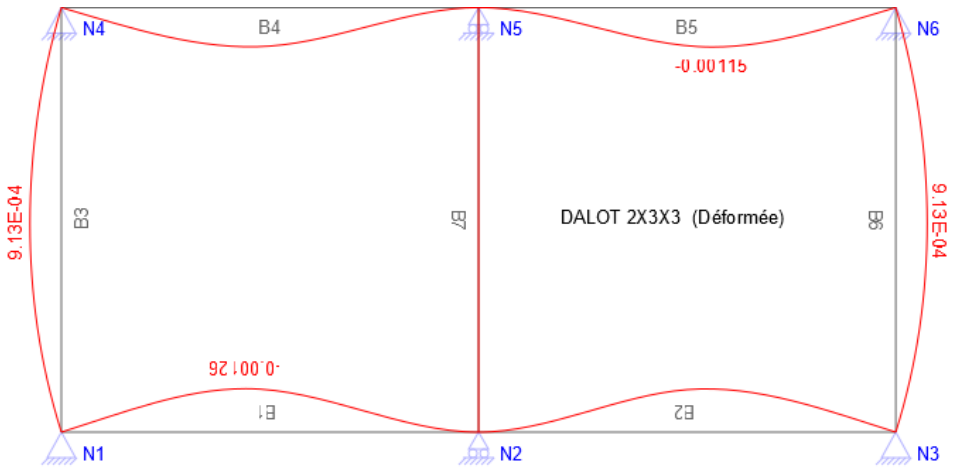
Equations	Travées	Coefficients				Moment flechissant (kN.m)		
		a	b	c	d	Apui Ai (x=0)	Mi-travée (x=l/2)	Appui Ai+1 (x=l)
(E1) : aX^3+bX²+cX+d	A1-A2	0,000	73,385	-230,1514091	111,097	111,097	-42,326	498,566
(E2) : aX^3+bX²+cX+d	A2-A3	0,000	73,385	-246,8510909	138,234	138,234	-51,510	453,059
(E3) : aX^3+bX²+cX+d	A3-A4	1,465	52,358	-243,7994083	111,097	111,097	-156,251	176,828
(E4) : aX^3+bX²+cX+d	A4-A5	0,000	86,010	-268,0228668	126,476	126,476	-49,593	588,101
(E5) : aX^3+bX²+cX+d	A5-A6	0,000	86,010	-291,0421332	163,882	163,882	-62,253	525,373
(E6) : aX^3+bX²+cX+d	A1-A6	1,465	52,358	-243,7994083	111,097	111,097	-156,251	176,828
Equations	**Travées**	**Coefficients**			**Effort tranchant (kN)**			
		a	b	c	Apui Ai (x=0)	Mi-travée (x=l/2)	Appui Ai+1 (x=l)	
(E1) : aX²+bX+c	A1-A2	0,000	146,770	-230,151	-230,151	85,404	408,298	
(E2) : aX²+bX+c	A2-A3	0,000	146,770	-246,851	-246,851	68,704	391,598	
(E3) : aX²+bX+c	A3-A4	4,395	104,715	-243,799	-243,799	7,848	302,043	
(E4) : aX²+bX+c	A4-A5	0,000	172,020	-268,023	-268,023	106,121	480,264	
(E5) : aX²+bX+c	A5-A6	0,000	172,020	-291,042	-291,042	83,101	457,245	
(E6) : aX²+bX+c	A1-A6	4,395	104,715	-243,799	-243,799	7,848	302,043	
Réactions aux appuis (kN)								
	A1-A2	A2-A3	A3-A4	A4-A5	A5-A6	A1-A6		
R1	238,501	-	-	-	-	248,4597246		
R2	238,501	238,501	-	-	-	-		
R3	-	238,501	248,4597	-	-	-		
R4			269,4643	279,5325	-	-		
R5	-	-	-	279,5325	279,5325	-		
R6	-	-	-	-	279,5325	269,4642754		



Moment fléchissant



Effort tranchant



Déformée

Figure 39 : Diagramme des sollicitations du dalot avec le logiciel Pybar

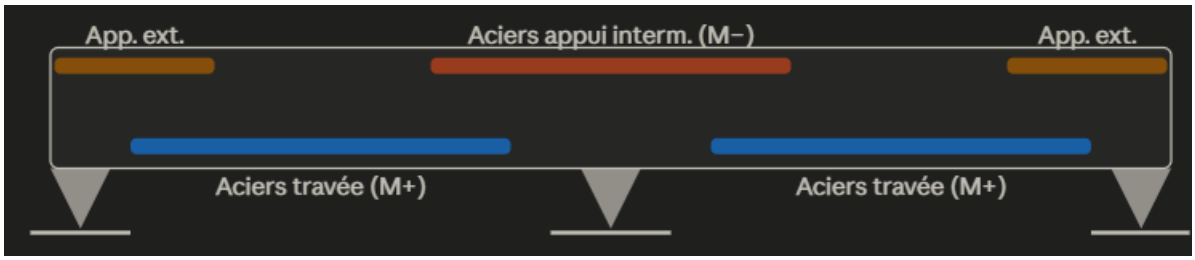
c. Calcul des ferraillages du corps du dalot

Le ferraillage de l'ouvrage est calculé à l'ELS.

Données du dalot 2x3x3 :

- Epaisseur tablier et radier : 30 cm ;
- Epaisseur piédroit : 25 cm ;
- Enrobage : 3 cm ;
- Nuance d'acier : FeE500 ;
- Poids volumique du béton armé : 25 kN/m^3
- Resistance caractéristique en compression du béton a 28 jours d'âge : $f_{c_{28}} = 25\ Mpa$
- Resistance caractéristique en compression du béton a 28 jours d'âge : $f_{t_{28}} = 2{,}1\ Mpa$
- Contrainte admissible du béton à l'ELS : $\bar{\sigma}_{st} = 0{,}6 \times f_{c_{28}} = 0{,}6 \times 25 \Rightarrow 15\ Mpa$;
- Contrainte limite de l'acier $\bar{\sigma}_{st} = \xi = \min \begin{cases} \frac{2.fe}{3} \\ max \begin{cases} 0{,}5.fe \\ 110\sqrt{\eta.f_{t_{28}}} \end{cases} \end{cases} \Rightarrow \bar{\sigma}_{st} = 250\ Mpa$
- Mode de calcul des armatures : (flexion simple)

❖ **Armatures du tablier** : (flexion simple)



$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{\bar{\sigma}_{st}.Z_{ser}} \times 10$$

Le bras de levier entre $\bar{\sigma}_{st}$ et $\bar{\sigma}_{bc}$ est $\bar{Z}_{ser} = d - \frac{\bar{y}_{ser}}{3}$ avec $\bar{y}_{ser} = d \times \bar{\sigma}_{ser}$ et $\bar{\sigma}_{ser} = \frac{n.\bar{\sigma}_{bc}}{n.\bar{\sigma}_{bc}+\bar{\sigma}_{st}}$

$\eta = 1{,}6$ pour les barres HA de $\emptyset_{HA} \geq 6\ mm \Rightarrow \bar{\sigma}_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 250} \Rightarrow \bar{\sigma}_{ser} = 0{,}474$

$\bar{y}_{ser} = 0{,}36 \times 0{,}474 = 0{,}171\ m$ avec $d = 0{,}9 \times ep_{tablier} = 0{,}9 \times 0{,}3 = 0{,}27\ m$

$\bar{Z}_{ser} = 0{,}27 - \frac{0{,}171}{3} \Rightarrow \bar{Z}_{ser} = 0{,}213\ m$

Il convient de vérifier la nécessité de prévoir des armatures pour reprendre les efforts de compression et de cisaillement :

$$M_{serb} = \frac{1}{2}.b_o.d^2.\bar{\sigma}_{bc}.\bar{\sigma}_{ser}\left(1 - \frac{1}{3}\bar{\sigma}_{ser}\right) = M_{serb} = \frac{1}{2} \times 1 \times 0{,}27^2 \times 15 \times 0{,}474 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times 0{,}474\right)$$

$M_{serb} = 0{,}21821\ MN.m \Rightarrow M_{serb} = 218{,}21\ kN.m$

L'ensemble des moments sollicitants développés dans le tablier, tant aux appuis qu'en travée, demeurent inferieurs au moment résistant du béton $M_{ser} < M_{r_{serb}}$, ce qui confirme que la section n'est pas comprimée.

- Aciers principaux en travée : $M_{ser_{max}} = 51{,}510$ kN.m

  $A_{st} = \frac{63{,}253}{250 \times 0{,}213} \times 10 = 9{,}67$ cm²/ml $\Rightarrow A_{st/nappe}$ **= 4,83 cm²/ml**
- Aciers principaux en appui d'extrémité : $M_{ser_{max}} = 138{,}234$ kN.m

  $A_{st} = \frac{138{,}234}{250 \times 0{,}213} \times 10 = 25{,}96$ cm²/ml $\Rightarrow A_{st/nappe}$ **= 12,98 cm²/ml**
- Aciers principaux en appui intermédiaire : $M_{ser_{max}} = 498{,}566$ kN.m

  $A_{st} = \frac{176828}{250 \times 0{,}213} \times 10 = 33{,}21$ cm²/ml $\Rightarrow A_{st/nappe}$ **= 16,60 cm²/ml**

- Aciers de répartition :

$$A_r = \frac{A_{st_{max}}}{3} = \frac{29{,}48}{3} \Rightarrow \boldsymbol{A_r = 9{,}82\ cm^2/ml}$$

- Condition de non fragilité (CNF) :

$$A_{st_{min}} = 0{,}23 \times b_o \times d \times \frac{f_{t_{28}}}{f_e} \Rightarrow A_{st_{min}} = 0{,}23 \times 1 \times 0{,}27 \times \frac{2{,}1}{500} = \boldsymbol{2{,}61 cm^2/ml}$$

Les sections d'acier calculées satisfont toutes au critère de section minimale règlementaire.

Choix : Le choix final des armatures intègre également les contraintes pratiques liées à leur mise en œuvre sur chantier.

- ✓ Travée : 6HA12 (6,78 cm^2/ml) espacé de 15 cm ;
- ✓ Appui intermédiaire : 6HA20 (18,84 cm^2/ml) espacé de 15 cm;
- ✓ Appui d'extrémité : 7HA20 (21,99 cm^2/ml) espacé de 15 cm;
- ✓ Filant : 7HA12 (7,92 cm^2/ml) espacé de 15 cm;
- ✓ Cavalier : HA10 (3 par m^2).

❖ **Armatures du radier** : (flexion simple)

$\bar{\sigma}_{ser} = 0{,}474\ ; d = 0{,}27\ m\ ;\ \bar{y}_{ser} = 0{,}171\ m\ ;\ \bar{Z}_{ser} = 0{,}213\ m\ ;\ M_{serb} = 218{,}21\ kN/m^2$

L'ensemble des moments sollicitants développés dans le radier, tant aux appuis qu'en travée, demeurent inferieurs au moment résistant du béton. Cette condition ($M_{serb} < M_{rserb}$) implique une section d'acier comprimé nulle ($A_{sc} = 0$), confirmant ainsi que l'épaisseur du radier est suffisante pour reprendre les sollicitations.

- Aciers principaux en travée : $M_{ser_{max}} = 156{,}251$ kN.m

$$A_{st} = \frac{156{,}251}{250 \times 0{,}213} \times 10 = 29{,}34\ cm^2/ml \Rightarrow A_{st/nappe} = \boldsymbol{14{,}67\ cm^2/ml}$$

- Aciers principaux en appui d'extrémité : $M_{ser_{max}} = 126{,}476$ kN.m

$$A_{st} = \frac{126{,}476}{250 \times 0{,}213} \times 10 = 23{,}75\ cm^2/ml \Rightarrow A_{st/nappe} = \boldsymbol{11{,}875\ cm^2/ml}$$

- Aciers principaux en appui intermédiaire : $M_{ser_{max}} = 176{,}828$ kN.m

$$A_{st} = \frac{176{,}828}{250 \times 0{,}213} \times 10 = 33{,}20\ cm^2/ml \Rightarrow A_{st/nappe} = \boldsymbol{16{,}60\ cm^2/ml}$$

- Aciers de répartition :

$$A_r = \frac{A_{st_{max}}}{3} = \frac{16{,}60}{3} \Rightarrow \boldsymbol{A_r = 5{,}53\ cm^2/ml}$$

- Condition de non fragilité (CNF) :

$$A_{st_{min}} = 0{,}23 \times b_o \times d \times \frac{f_{t_{28}}}{f_e} \Rightarrow A_{st_{min}} = 0{,}23 \times 1 \times 0{,}27 \times \frac{2{,}1}{500} = \mathbf{2{,}61 cm^2/ml}$$

Les sections d'acier calculées satisfont toutes aux critères règlementaires de section minimale.

Choix : Le choix final des armatures intègre également les contraintes pratiques liées à leur mise en œuvre sur chantier.

- ✓ Travée : 7HA20 (21,99 cm^2/l) espacé de 15 cm ;
- ✓ Appui intermédiaire : 9HA16 (18,09 cm^2/ml) espacé de 15 cm;
- ✓ Appui d'extrémité : 9HA16 (18,09 cm^2/ml) espacé de 15 cm;
- ✓ Filant : 7HA12 (7,92 cm^2/ml) espacé de 15 cm;
- ✓ Cavalier : HA10 (3 par m^2).

❖ **Armatures des piédroits d'extrémité :** (Flexion composée au second degré)

- L'excentricité additionnel :

$$e_0 = \max\left(2cm\,;\,\frac{L}{250}\right) = \max\left(2cm\,;\,\frac{330}{250}\right) \Rightarrow e_0 = 2\ cm \Rightarrow e_0 = 0{,}02\ m$$

$$e_{1_{ser}} = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} \text{ avec } M_{ser} = 49{,}593\ kN.m \text{ et } N_{ser} = 269{,}46\ kN.m$$

$$e_{1_{ser}} = \frac{49{,}593}{269{,}46} \Rightarrow e_{1_{ser}} = 0{,}184\ m$$

$$e_2 = \frac{2.{l_f}^2}{10000 \times h} \times (2 + \alpha \times \emptyset)\ avec\ \alpha = 10 \times \left(1 - \frac{M_u}{1{,}5 \times M_{ser}}\right);$$

$$l_f = 0{,}7 \times h\ et\ \emptyset = 2\ (cas\ courant)$$

$$M_u = 111{,}3\ kN.m \Rightarrow \alpha = 10 \times \left(1 - \frac{1113}{1{,}5 \times 49{,}593}\right) = 0{,}68$$

$$e_2 = \frac{2 \times (0{,}7 \times 330)^2}{10000 \times 25} \times (2 + 0{,}68 \times 2) \Rightarrow e_2 = 1{,}43\ cm \Rightarrow e_2 = 0{,}0143\ m$$

$$e = e_0 + e_{1_{ser}} + e_2 = 2 + 18{,}4 + 1{,}43 \Rightarrow e = 21{,}83\ cm$$

- Vérification de l'état de travail des piédroits

$e_{NC} = \xi \times h$ avec $\xi = \frac{1+\sqrt{9-12.\psi_1}}{4\times(3+\sqrt{9-12.\psi_1})}$

$$\psi_1 = \frac{N_{ser}}{b \times h \times f_{b_{ser}}} \; avec \; f_{b_{ser}} = \frac{0{,}85 \times 25}{1 \times 1{,}5} \Rightarrow f_{b_{ser}} = 14{,}17 \; kN/m^2$$

$$\psi_1 = \frac{269{,}46 \times 10^{-3}}{1 \times 0{,}25 \times 14{,}17} = 0{,}076$$

$$\xi = \frac{1 + \sqrt{9 - 12 \times 0{,}076}}{4 \times (3 + \sqrt{9 - 12 \times 0{,}076})} = 0{,}16$$

$$e_{NC} = 0{,}16 \times 25 \Rightarrow e_{NC} = 4 \; cm$$

On constate que $e > e_{NC}$, $alors\ le\ piedroit\ est\ partiellement\ comprime.$

- Sollicitation au centre de gravité des aciers tendues :

$$M_{fictif} = N_{ser} \times (e + d - 0{,}5.h)$$

$$M_{fictif} = 269{,}46 \times (0{,}2183 + 0{,}9 \times 0{,}25 - 0{,}5 \times 0{,}25) \Rightarrow M_{fictif} = 85{,}769 \; kN.m$$

On constate que $M_{fictif} < M_{r_{serb}}$, $alors\ pas\ d'acier\ comprimé.$

- Section d'acier principal (nappe extérieure & intérieure) :

$$A_{st} = \frac{M_{fictif}}{\bar{\sigma}_{st}.\bar{Z}_{ser}} - \frac{N_{ser}}{\bar{\sigma}_{st}}$$

$$A_{st} = \left(\frac{85{,}769}{250 \times 0{,}213} - \frac{269{,}46}{250}\right) \times 10 \Rightarrow A_{st} = 5{,}33 \; cm^2$$

$$A_{st/f} = \frac{Ast}{2} = \frac{5{,}33}{2} = 2{,}67 \; cm^2/ml$$

$$\boldsymbol{A_{st/f} = A_{st_{min}} = 3{,}48 \; cm^2/ml}$$

- Diamètre de l'armature transversale ou de répartition :

$$\frac{\phi_{st}}{3} < \phi_t < \phi_{st} \Leftrightarrow \frac{20}{3} < \phi_t < 20 \; cm \Leftrightarrow 6{,}66 \; cm < \phi_t < 20 \Rightarrow \phi_t = 10 \; mm$$

Avec $\boldsymbol{A_{st_{min}} = 3{,}48 \; cm^2/ml}$

Les sections d'armatures calculées satisfont toutes aux critères règlementaires minimaux.

Choix : Les diamètres et espacements retenus tiennent compte des conditions de mise en œuvre sur chantier.

- ✓ Nappe extérieure & intérieure $\begin{cases}\text{Exterieur : 7HA10 (4,71 } cm^2/\text{ml)}\\ \text{Interieur : 7HA10 (4,71 } cm^2/\text{ml)}\end{cases}$ espacé de 15 cm
- ✓ Filants : 5HA12 (5,65 cm^2/ml) espacé de 20 cm ;
- ✓ Epingle : HA6 (1 par ml) espacé de 45 cm.

❖ **Armature du piédroit intermédiaire (Flexion simple)**

Le piédroit intermédiaire est modélisé comme un poteau encastré à l'un de ses extrémités.

$$A_{st} = (\frac{N_u}{\alpha'} - \frac{B_r \times f_{c28}}{0{,}9 \times \gamma_b}) \times \frac{\gamma_s}{f_e} \; avec \; N_u(ELU) = \frac{P_3 \times l}{2}$$

- Longueur de flambement : $l_f = 0{,}7 \times h = 0{,}7 \times 3{,}3 \Rightarrow l_f = 2{,}31\ m$
- Elancement mécanique : $\lambda = \frac{3{,}5 \times l_f}{epaisseur} = \frac{3{,}5 \times 2{,}31}{0{,}25} \Rightarrow \lambda = 32{,}84$

$$\lambda < 50 \Rightarrow \alpha = \frac{0{,}85}{1 + 0{,}2 \times (\frac{\lambda}{35})^2} = \frac{0{,}85}{1 + 0{,}2 \times (\frac{32{,}84}{35})^2} \Rightarrow \alpha = 0{,}72$$

En supposant que plus de la moitié des charges seront appliquées avant que le béton n'atteigne 90 jours d'âge, on obtient :

$$\alpha' = \frac{\alpha}{1{,}1} = \frac{0{,}72}{1{,}1} \Rightarrow \alpha = 0{,}65$$

- Section réduite du béton :

$$B_r = (a - 0{,}02) \times (b - 0{,}02) = (0{,}25 - 0{,}02) \times (1 \times 0{,}02) \Longrightarrow B_r = 0{,}46\ m^2$$

- Section d'acier de répartition :

$$A_{st} = (\frac{454{,}18 \times 10^{-3}}{0{,}65} - \frac{0{,}46 \times 25}{0{,}9 \times 1{,}5}) \times \frac{1{,}15}{500} \Rightarrow A_{st} = -0{,}017\ cm^2/ml$$

$$\text{Comme } A_{st} < A_{st_{min}} = A_{st} = A_{st_{min}} = \max\begin{cases} 4u = 4 \times 2 \times (1 + 0{,}25) = 10\ cm^2 \\ \frac{0{,}2 \times B}{100} = \frac{0{,}2 \times 3300}{100} = 6{,}6\ cm^2 \end{cases}$$

$$A_{st} = 10\ cm^2/ml \Longrightarrow A_{st/f} = \frac{A_{st}}{2} = \frac{10}{2} \Longrightarrow A_{st/f} = 5\ cm^2/ml$$

- Section d'acier répartition : $A_{st/f} = \frac{A_{st}}{3} = \frac{5}{3} \Longrightarrow A_{\frac{st}{f}} = 1{,}67\ cm^2/ml$

  Comme $A_{st} < A_{st_{min}} \Rightarrow\ A_r = A_{st_{min}} \Rightarrow A_r = 3{,}48\ cm^2/ml$

  Choix : Les diamètres et espacements retenus tiennent compte des conditions de mise en œuvre sur chantier.

  - ✓ Armature par face : 7HA12 (7,92 cm^2) espacés de 15 cm
  - ✓ Filants : 5HA10 (3,93 cm^2/ml) espacé de 15 cm ;
  - ✓ Epingle : HA6 (1 par ml) espacé de 45 cm.

X.10.6.7. Calcul des efforts et sollicitations dans le mur en aile

Les efforts et sollicitations sont évalués en considérant les conditions les plus probables ainsi que les cas de chargement les plus défavorables, issus des actions permanentes (G) et variables (Q). Par convention, le sens positif des moments fléchissant, qu'ils soient d'origine interne ou externe, est défini dans le sens trigonométrique par rapport au point A. Conformément aux prescriptions de la norme NF P 94-281 et à la méthode des coefficients partiels, l'analyse se limite aux deux combinaisons d'actions suivantes :

Hypothèse de calcul :

- Remblai en arrière du voile :
  - Angle de frottement interne : Ø = 30° ;
  - Cohésion du sol : c = 0 kPa ;
  - Mur draine ;
  - Poids volumique des terres : $\gamma_d = 20\ kN/m^2$
  - Etat de contrainte : effective ;
  - Coefficient de poussée : $\begin{cases} K_{a\ horizontale} = 0{,}333 \\ K_{a\ verticale} = 0 \end{cases}$;
  - La semelle du mur en aile est soumise à une pression hydrostatique correspondant à une hauteur d'eau amont de 1,84 m, issue du dimensionnement hydraulique de l'ouvrage.
  - Le TPC reçoit une charge d'exploitation de 10 kN/m^2.
- Sol support du mur en aile
  - Etat de fondation compactée avec $\sigma_{sol} = 200kPa = 0{,}20\ kPa$;
  - La bêche : poussée des terres considérées au niveau de la bêche.

a. Prédimensionnement du mur en aile

Afin d'atteindre efficacement les résultats de dimensionnement, un prédimensionnement rigoureux des caractéristiques géométriques du mur en aile est conduit en assimilant à un mur de soutènement de type cantilever sans fruit de berge. Pour satisfaire aux vérifications de stabilité externe, la largeur de la semelle est majorée de 5%. La disposition de la bêche est adoptée selon la configuration classique, favorable à la résistance au glissement de l'ouvrage.

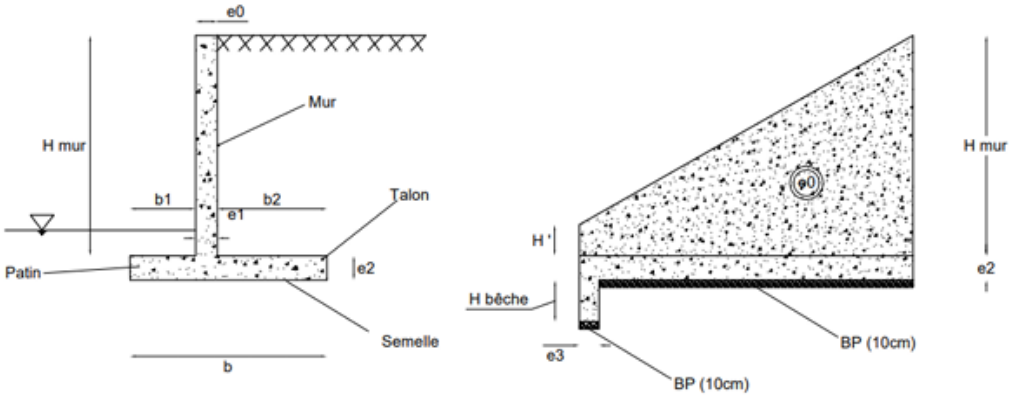


Figure 40 : Modélisation du mur en aile

- La hauteur du mur en aile : $H_{mur} = H_{piedroit} + ep_{tablier} + H_{guide\ roue}$

  $H_{mur} = 3{,}3 + 0{,}3 + 0{,}6$

  $\mathrm{H_{mur}} = 4{,}2$ m
- La petite hauteur du mur en aile : $H' = \frac{H_{mur}}{25} = \frac{3{,}3}{25} = 0{,}20\ m \Longrightarrow \boldsymbol{H' = 20\ cm}$
- L'épaisseur en tête de mur en aile : $e_0 = \begin{cases} \frac{H_{mur}}{24} \\ 15\ cm \end{cases} \Rightarrow e_0 = max \begin{cases} \frac{4{,}2\times10^2}{24} = 17{,}5\ cm \\ 15\ cm \end{cases} \boldsymbol{e_0 = 17{,}5cm}$

  On prendra $e_0 = 25cm$
- Epaisseur du mur à la base : $e_1 = \frac{H_{mur}}{12}$ pour un fruit de 0%

  Etant donné que le fruit est à 0%, alors $\boldsymbol{e_0 = e_1 = 25cm}$
- Epaisseur de la semelle : $e_1 \leq e_2 \leq \frac{H_{mur}}{12} \Longrightarrow 25 \leq e_2 \leq 0{,}35 \Rightarrow \boldsymbol{e_2 = 0{,}35m}$
- Epaisseur bêche : $e_3 \geq \frac{e_2}{2} \Rightarrow \boldsymbol{e_3 = 0{,}25m}$
- Hauteur de la bêche : $H_{\text{bêche}} = 2 \times e_2 \Rightarrow \boldsymbol{H_{bêche} = 0{,}70\ m}$
- Largeur de la semelle : b = (=0,20+0,45×$\mathrm{H_{mur}}$) tel que b > $\frac{H_{mur}}{2}$

  b = (0,20 + 0,45 × 4,2) = 2,09 m $\Rightarrow \boldsymbol{b = 2{,}3}$ **m**
- Largeur du patin : $\frac{H_{mur}}{8} < b_1 < \frac{H_{mur}}{5} \Rightarrow 0{,}53 < b_1 < 0{,}84 \Rightarrow \boldsymbol{b_1 = 0{,}75\ m}$

- Largeur du talon : $b_2 = b - (e_1 + b_1) = 2{,}3 - (0{,}25{+}0{,}75) \Rightarrow \mathbf{b_2 = 1{,}3\ m}$

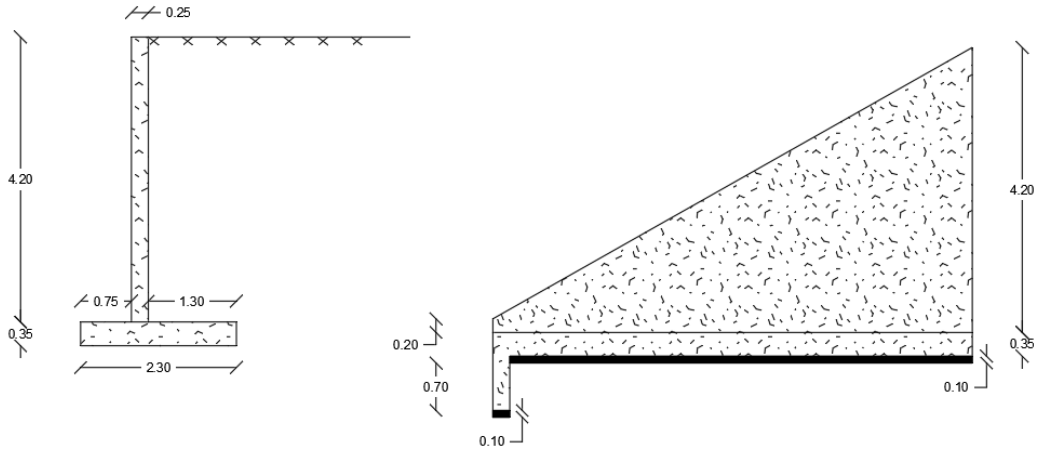


Figure 41 : Plan de coffrage du mur en aile

b. Evaluation des forces et sollicitations

L'évaluation des efforts et sollicitations prend en compte les scenarios les plus probables ainsi que les cas de chargement les plus défavorables, issus des actions permanentes (G) et variables (Q). Par convention, le sens positif des moments fléchissant est défini dans le sens trigonométrique par rapport au point A. Conformément à la norme NF P 94-281 a la méthode des coefficients partiels, deux combinaisons d'actions sont retenues :

- Combinaison 1 : $\begin{cases} composante\ horizontale\ (4+5+7) \\ composante\ verticale\ (1+2+3+6) \end{cases}$
- Combinaison 2 : $\begin{cases} composante\ horizontale\ (5) \\ composante\ verticale\ (1+2) \end{cases}$ (sans les charges variables et les poussées résultantes)

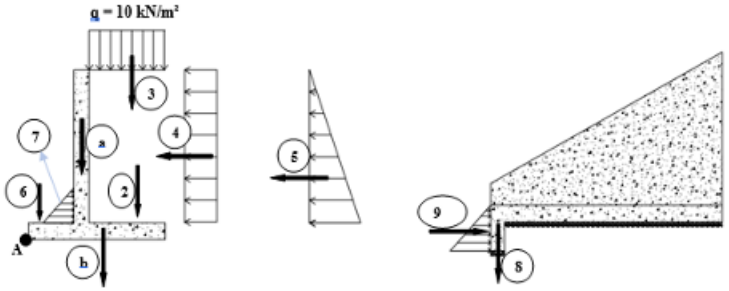


Figure 42 : Application des charges sur le mur en aile

c. Justification de la stabilité du mur en aile

La vérification de la stabilité externe et interne du mur consiste à s'assurer, pour chaque combinaison d'actions, que les déplacements générés sont suffisants pour mobiliser les efforts de poussée ou de butée, garantissant ainsi un niveau de sécurité adéquat.

✓ Sécurité vis-à-vis d'un glissement :

La vérification au glissement sur la base de la semelle consiste à s'assurer que le coefficient de sécurité correspondant est satisfait. Dans cette optique, les actions permanentes sur la bêche sont délibérément négligées, celle-ci ayant pour vocation première de résister au glissement puis à l'affouillement sous l'ouvrage, plaçant ainsi le calcul dans la configuration la plus défavorable. Ce coefficient est défini comme suit :

$$F_G = \frac{\Sigma F_{stabilisantes}}{\Sigma F_{renversante}} \geq 1,5$$

✓ Sécurité vis-à-vis du poinçonnement du sol d'assise

Le coefficient de sécurité au renversement est évalué en considérant l'équilibre limite par rapport au point d'about extérieur A, et se définit comme suit :

$$F_R = \frac{\Sigma M_{stabilisantes}}{\Sigma M_{renversante}} > 1,5$$

✓ Sécurité vis-à-vis de l'excentricité :

Il convient de s'assurer que la résultante des forces verticales passe dans le tiers central de la semelle, en vérifiant la position du centre de pression (C) par rapport au centre d'application (G) du moment résultant, donnée par la formule suivante :

$$e_A = \frac{\Sigma M/A}{R_v}$$

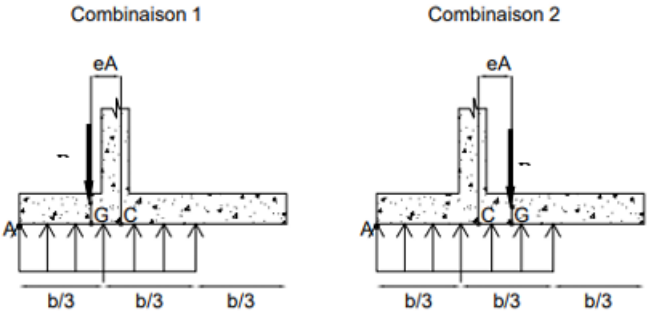


Figure 43 : Excentricité dû aux combinaisons

✓ Sécurité vis-à-vis du poinçonnement du sol d'assise :

La justification au non-poinçonnement est conduite en supposant une distribution linéaire des contraintes, la semelle étant considérée comme rigide et le sol de fondation comme élastique. La contrainte limite de référence est déterminée au quart de la zone comprimée, soit à la limite du noyau central de la semelle.

Tableau 51 : Forces, sollicitations et vérification des stabilités du mur en aile

Désignations	Intitulés	Eléments		Actions horizontales		Actions vertivales		Bras de levier	Moment / A
Charge permanente (G)	Poids de l'ouvrage	a	Voile	-	-	25 x 4,2 x 0,3	31,5	1	-31,500
		b	Semelle	-	-	25 x 2,3 x 0,35	20,125	1,15	-23,144
		1= a+b	**Corps du mur**	-	-	-	**51,625**	-	**-54,644**
		8	Bêche	-	-	25 x 0,7 x 0,25	4,375	0,875	-3,828
	Poids des terres	2	Sur le talon	-	-	20 x 4,2 x 1,3	109,2	1,75	-191,1
	Poussée des terres	5	Sur le mur	0,333 x 20 x ((4,2+0,35)^2)/2	68,94	-	-	1,52	104,79
		9	Sur la bêche	0,333 x 20 x((0,7+0,35))^2/2	3,67	-	-	0,35	1,28
Charge d'exploitation (Q)	Surchage d'exploitation	3	Sur le talon	-	-	10 x 1,3	13	1,75	-22,75
	Poussée due à la surcharge d'exploitation	4	Sur le mur	0,333 x 10 x(5,5+0,35)/2	7,91	-	-	2,275	17,99
	Poids hydrostatique	6	Sur le patin	-	-	10 x 1,84 x 0,75	13,8	0,375	-5,175
	Poussée hydrostatique	7	sur le mur	10 x 1,84 x 0,75	13,80	-	-	0,9633	13,29
Combinaison d'action à considerer à l'ELS									
					RH	-	RV	-	-
Agissant sur le talon (1+2+3)					-	-	173,825	-	-
Agissant sur le patin (1+6)					-	-	65,425	-	-
Agissant sur la bêche (7+8)					3,67	-	4,375	-	-
Agissant sur le mur (a+4+5+7)					90,65	-	31,5	-	-

Justification de stabilité interne et externe du mur en ailes						
Sécurité vis-à-vis d'un glissement	Combinaisons	RV	RH	M/A	Coefficient de sécurité Fg	
	Combinaison 1 (1+2+3+4+5+6+7)	187,625	90,65	-137,595	2,07	
	Combinaison 2 (1+2+5)	160,825	68,94	-140,956	2,33	
	La condition au non glissement est respectée pour toutes les combinaisons car Fg > 1,5					
Sécurité vis-à-vis du renversement	Combinaisons	MV/A	MH/A	Coefficient de sécurité Fr		
	Combinaison 1 (1+2+3+4+5+6+7)	-273,669	136,07	2,01		
	Combinaison 2 (1+2+5)	-245,744	104,79	2,35		
	La condition au non renversement est admise pour toutes les combinaisons car Fr > 1,5					
Sécurité vis-à-vis de l'excentricité	Combinaisons	RV	M/A	eA	b/3	2b/3
	Combinaison 1 (1+2+3+4+5+6+7)	187,63	-137,595	0,73	0,77	1,53
	Combinaison 2 (1+2+5)	160,83	-140,956	0,88	3b/3	2,30
	La condition du tiers centrale donc pas vérifié, alors la résultante passe pas dans le tiers centrale.					
Sécurité vis-à-vis du poinçonnement	Combinaisons	RV	Contrainte Ref (kN/m²)	Angle d'inclinaison	Contrainte ser	
	Combinaison 1 (1+3+4+5+6+7+8)	187,63	111,5713055	0,45	163,8599066	
	Combinaison 2 (1+3+4+5+6+7)	160,83	87,700827	0,40	171,4186912	
	La condition au non poinçonnement est vérifié pour toutes les combinaisons car $\sigma_{ref} < \sigma_{ser\ sol}$					

d. Sollicitations et ferraillages du mur en aile

Le calcul des sollicitations et des contraintes dans chaque élément du mur de soutènement est conduit à l'Etat Limite Ultime (ELU) suivi d'une vérification à l'Etat Limite de Service (ELS). Le dimensionnement des armatures est quant à lui effectué conformément aux règles applicables aux poutres a section rectangulaire.

❖ Voile

Les efforts de poussée des terres et du chargement sur le terre-plein courant (TPC), développés sur toute la hauteur du voile, sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 52 : Application des charges sur chaque section constitutive du mur en aile

Contrainte sur le rideau					
Profondeur		Poussée des terres (kN/m²)		Pousée de la surcharge (kN/m²)	
Pour Z= H (S1)		27,97		3,33	
Pour Z=H-H/3 (S4)		18,65			
Pour Z=H/2 (S5)		13,986			
Pour Z=H-2H/3 (S6)		9,32			
Calcul de voile ou du rideau					
Section		S1 à Z=4,2 m	S4 à Z=2,8 m	S5 à Z=2,1 m	S6 à Z=1,4 m
N (kN/m)		31,50	21,00	15,75	10,50
Poussée des terres	V(kN/m)	58,74	26,11	14,69	6,52
	MG (kN/m)	82,24	24,37	10,28	3,04
Charge sur TPC	V(kN/m)	13,99	9,32	6,99	4,66
	MG (kN/m)	29,38	13,05	7,34	3,26

➢ Détermination des armatures principale et secondaire (S_1) :

- Moment de service à l'encastrement : $M_{ser} = M_{G(1)} + M_{G(2)}$

$$M_{ser} = 82{,}24 + 29{,}38 \Longrightarrow M_{ser} = 111{,}62\ kN.m$$

- $\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n.\bar{\alpha}_{bc}}{n.\bar{\alpha}_{bc} + \bar{\alpha}_{st}}$

Le coefficient d'équivalence acier/béton est n = 15 ⟹ 1 cm de l'acier équivaut virtuellement a 15 cm^2.

$$\bar{\alpha}_{bc} = 15\ Mpa\ ;\ \bar{\alpha}_{st} = 250\ Mpa\ ;\ \bar{\alpha}_{ser} = 0{,}474$$

- Moment résistant du béton : $M_{serb} = \frac{1}{2}.b_o.d^2.\overline{\sigma}_{bc}.\overline{\sigma}_{ser}\left(1 - \frac{1}{3}\bar{\sigma}_{ser}\right) \times 10^3$

Avec b_o = 1 m et d = 0,9 × 0,27 ⟹ d = 0,27 m

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times 1 \times 0{,}27^2 \times 15 \times 0{,}474 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times 0{,}474\right) \times 10^3 \Longrightarrow M_{serb} = 218{,}21\ kN.m$$

$M_{serb} < M_{r_{serb}}$ L'épaisseur de la semelle est suffisante pour lutter contre la compression (A_{sc}=0)

- Section d'acier principale face remblai : $A_V = \frac{M_{ser}}{\overline{\sigma}_{ser}.\overline{Z}_{ser}}$ ou $A_V = 0{,}10 \times e_1$

Avec . $\bar{Z}_{ser} = d - \frac{\bar{y}_{ser}}{3}$ *et* $\bar{y}_{ser} = d \times \bar{\alpha}_{ser} = 0{,}27 \times 0{,}474 = 0{,}12798\, m \implies \bar{y}_{ser} = 127{,}98m$

D'où le bras de levier entre $\bar{\alpha}_{st} et\ \bar{\alpha}_{bc} est\ \bar{Z}_{ser} = 270 - \frac{127{,}98}{3} \Rightarrow \bar{Z}_{ser} = 227{,}34\, mm \Rightarrow \bar{Z}_{ser} = 0{,}227\, m$

$A_v = \frac{111{,}62}{250 \times 0{,}227} \times 10 \implies A_v = 19{,}668 \frac{cm^2}{ml} \implies \boldsymbol{A_{v/f} = 9{,}834\ cm^2/ml}$

- Section d'acier secondaire ou de répartition

$A_H = \frac{9{,}834}{3} \implies \boldsymbol{A_H = 3{,}29\ cm2/ml}$

- Condition de non fragilité (CNF) : $A_{st} = 0{,}23.\, b_o.\, d.\, \frac{f_{t28}}{f_e}$

$A_{st} = 0{,}23 \times 1 \times 0{,}27 \times \frac{2{,}1}{500} \Rightarrow \boldsymbol{A_{st_{min}} = 2{,}61\ cm^2/ml}$

- Calcul des aciers de la section S4

$$M_{ser} = 24{,}37 + 9{,}32 \Rightarrow \boldsymbol{M_{ser} = 33{,}69\ \ kN.m}$$

$A_v = \frac{33{,}69}{250 \times 0{,}227} \times 10 \implies A_v = 5{,}93 \frac{cm^2}{ml} \implies \boldsymbol{A_{v/f} = 2{,}965\ cm^2/ml}$

Les sections d'armatures obtenues satisfont aux exigences règlementaires, dépassant en chaque point la valeur minimale imposée.

Le choix des aciers pour les sections S1 et S2 se présente comme suit :

- ✓ Acier principale (vertical/face) : 7HA16 (14,07cm^2) espacé de 15 cm ;
- ✓ Acier de répartition (horizontal) : 7HA10 (5,50 cm^2) espacé de 15 cm ;

- ➢ Vérification à l'effort tranchant (ELU) sur une bande de 1 m :

Cette vérification concerne que la section 1 du rideau pour laquelle : $V_u = 1{,}35.V_G + 1{,}5.V_Q$

Avec : $V_Q = V_{Q_q} + V_{Q_w}$

$V_u = 1{,}35 \times 27{,}97 + 1{,}5 \times (3{,}33 + 13{,}99) \implies V_u = 63{,}69 kN/m^2$; soit $\boldsymbol{V_u = 0{,}064\ Mpa}$

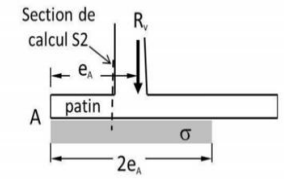
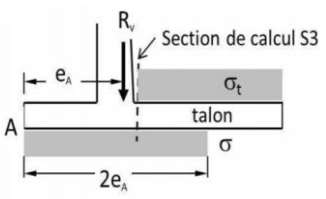
L'effort tranchant résistant est donne par la relation $\tau_u = min \begin{cases} \frac{0{,}15 \cdot f_{c28}}{\gamma_b} \\ 4\ Mpa \end{cases} \Rightarrow \tau_u = 2{,}5\ Mpa$

La condition $V_u < \tau_u$ étant satisfaite, le recours à des armatures de cisaillement dans le rideau n'est pas nécessaire.

❖ Semelle :

Le dimensionnement structurel du patin de la semelle est réalisé sous la combinaison d'actions la plus pénalisante, qui génère les moments fléchissant maximaux au droit des sections critiques S2 et S3. La distribution des contraintes est modélisée en adoptant le diagramme rectangulaire simplifié de Meyerhof pour caractériser la réaction du sol. Pour l'analyse mécanique, ces sections sont assimilées à des poutres en console parfaitement encastrées dans le voile vertical.

Tableau 53 : Application de la combinaison 1 sur la semelle

Calcul de la semelle sous la combinaison 1	
Pression du sol	
MA (kN.m/m)	-137,60
RV (kN/m)	187,63
RH (kN/m)	90,65
eA (m)	0,73
Contrainte (kN/m²)	68,80
Pression du sol	
RV (kN/m)	173,825
Contrainte (kN/m²)	63,74

- Calcul de l'armature principale et secondaire de la section S2 a l'ELS :
  - Moment d'encastrement : $M_{ser} = M_{/A} \times \frac{{b_1}^2}{2}$

$$M_{ser} = 137{,}60 \times \frac{0{,}75^2}{2} \Rightarrow M_{ser} = 38{,}70\ kN.m$$

- Acier principale : $A_p = \frac{M_{ser}}{\bar{\sigma}_{ser}.\bar{Z}_{ser}}$

$$A_p = \frac{38{,}70}{250 \times 0{,}227} = 6{,}81\ \frac{cm^2}{ml} \Rightarrow A_{p/nappe} = 3{,}41 \frac{cm^2}{ml}$$

$$A_{p/nappe} < A_{st_{min}} \Rightarrow \boldsymbol{A_{p/_f} = 2{,}61\ cm^2/\ ml}$$

- Acier de répartition : $A_r = 0{,}1 \times e_2 = 0{,}1 \times 35 \Rightarrow \boldsymbol{A_r = 3{,}5\ cm^2/ml}$

Choix :

- ✓ Acier principal par nappe : 8HA10 (5,50 cm^2) espacé de 15 cm ;
- ✓ Acier de répartition : 7HA10 (5,50 cm^2) espacé de 15 cm.

- Calcul de l'armature principale et secondaire de la section S3 a l'ELS :
  - Moment d'encastrement : $M_{ser} = M_{/A} \times \frac{{b_1}^2}{2}$

$$M_{ser} = 63{,}74 \times \frac{0{,}73^2}{2} \Rightarrow M_{ser} = 16{,}98\ kN.m$$

- Acier principale : $A_p = \frac{M_{ser}}{\bar{\sigma}_{ser}.\bar{Z}_{ser}}$

$$A_p = \frac{16{,}98}{250 \times 0{,}227} = 2{,}99\ \frac{cm^2}{ml} \Rightarrow A_{p/_{nappe}} = 1{,}50 \frac{cm^2}{ml}$$

$$A_{p/_{nappe}} < A_{st_{min}} \Rightarrow \boldsymbol{A_{p/_f} = 2{,}61\ cm^2/\ ml}$$

- Acier de répartition : $A_r = 0{,}1 \times e_2 = 0{,}1 \times 35 \Rightarrow \boldsymbol{A_r = 3{,}5\ cm^2/ml}$

Choix :

- ✓ Acier principal par nappe : 6HA10 (5,50 cm^2) espacé de 16 cm ;
- ✓ Acier de répartition : 7HA10 (5,50 cm^2) espacé de 15 cm.

❖ Bèche et guides roues :

Soumise à son poids propre et à la poussée latérale des terres sur son flanc, la bèche d'ancrage est modélisé comme un élément encastré dans la semelle de l'ouvrage. Compte tenu de sa configuration mécanique, son ferraillage est déterminé de manière forfaitaire.

- Acier principal : $A_V = 0{,}1 \times e_3 = 0{,}1 \times 25 \Rightarrow \boldsymbol{A_V = 2{,}5\ cm^2/ml}$
- Acier principal : $A_H = 0{,}075 \times e_3 = 0{,}075 \times 25 \Rightarrow \boldsymbol{A_r = 1{,}875\ cm^2/ml}$

Les sections d'aciers calculées sont toutes inferieures à la section d'acier minimale admise alors $A_V = A_H = A_{st_{min}} = 2{,}61\ cm^2/ml$

Choix :

- ✓ Acier principal par nappe : 7HA10 (5,50 cm^2) espacé de 15 cm ;
- ✓ Acier de répartition : 7HA8 (3,52 cm^2) espacé de 15 cm.

Tableau 54 : Résultat du dimensionnement avec Robot Structural Analysis

Tablier		**Pideroits de rive**			
Travee / nappe	6HA12 espacé de 15 cm	Nappe exterieure	7HA10 espacé de 15 cm		
Appui intermediaire / nappe sup	6HA20 espacé de 15 cm	Nappe inferieure	7HA10 espacé de 15 cm		
Appui intermediaire / nappe inf	6HA20 espacé de 15 cm	Filants	5HA12 espacé de 20 cm		
Appui de rives / nappe	7HA20 espacé de 15 cm	Epingle	HA6 espacé de 45 cm		
Filant	7HA12 espacé de 15 cm	-	-	-	-
Cavalier	HA10	**Piedroit intermediaire**			
Radier		Armatures par face	7HA12 espacé de 15 cm		
Travee / nappe	7HA20 espacé de 13 cm	Filants	5HA10 espacé de 15 cm		
Appui intermediaire / nappe sup	9HA16 espacé de 13 cm	Epingles	HA6 espacé de 45 cm		
Appui intermediaire / nappe inf	9HA16 espacé de 13 cm	**Beche**			
Appui de rives / nappe	9HA16 espacé de 13 cm	Cadre	6HA10 espacé de 15 cm		
Filant	7HA12 espacé de 15 cm	Filants	5HA10 espacé de 15 cm		
Cavalier	HA10	-	-	-	-
Murs en ailes					
Section	**S1**	**S4, S5 et S6**			
Nappe exterieure ou interieure	7HA16 espacé de 15 cm	9HA10 espacé de 12 cm			
Filants	7HA10 espacé de 15 cm	8HA8 espacé de 13 cm			
Section	**S2**	**S3**			
Nappe exterieure ou interieure	8HA10 espacé de 15 cm	6HA10 espacé de 16 cm			
Filants	7HA10 espacé de 15 cm	6HA10 espacé de 16 cm			
Recapitulatif du mur en aile	Nappe exterieure ou interieure	9HA10 espacé de 12 cm			
	Filants	8HA8 espacé de 13 cm			
	Epingles	HA8 espacé de 45 cm			
Radier de tete		**Guides roues**			
Nappe superieure et inferieure	6HA10 espacé de 16 cm	Cadre	7HA10 espacé de 15 cm		
Filants	7HA10 espacé de 15 cm	Filants	7HA8 espacé de 15 cm		
Cavaliers	HA10		-	-	-

Annexe 11 : Dimensionnement des ouvrages hydrauliques avec le logiciel Robot Structurel

La validation structurelle est menée sur le logiciel Robot Structural Analysis. Les algorithmes de ce programme permettent d'analyser l'impact des charges permanentes et d'exploitation sur la géométrie d'un modèle d'ouvrage complexe, grâce à des simulations rapides basées sur la méthode des éléments finis. Cette modélisation numérique vise à caractériser le comportement du béton armé sous contraintes mécaniques afin d'identifier les zones les plus sollicitées. Elle permet ainsi de valider les résultats de l'analyse structurelle avant l'extraction des données de ferraillage et des plans d'exécution.

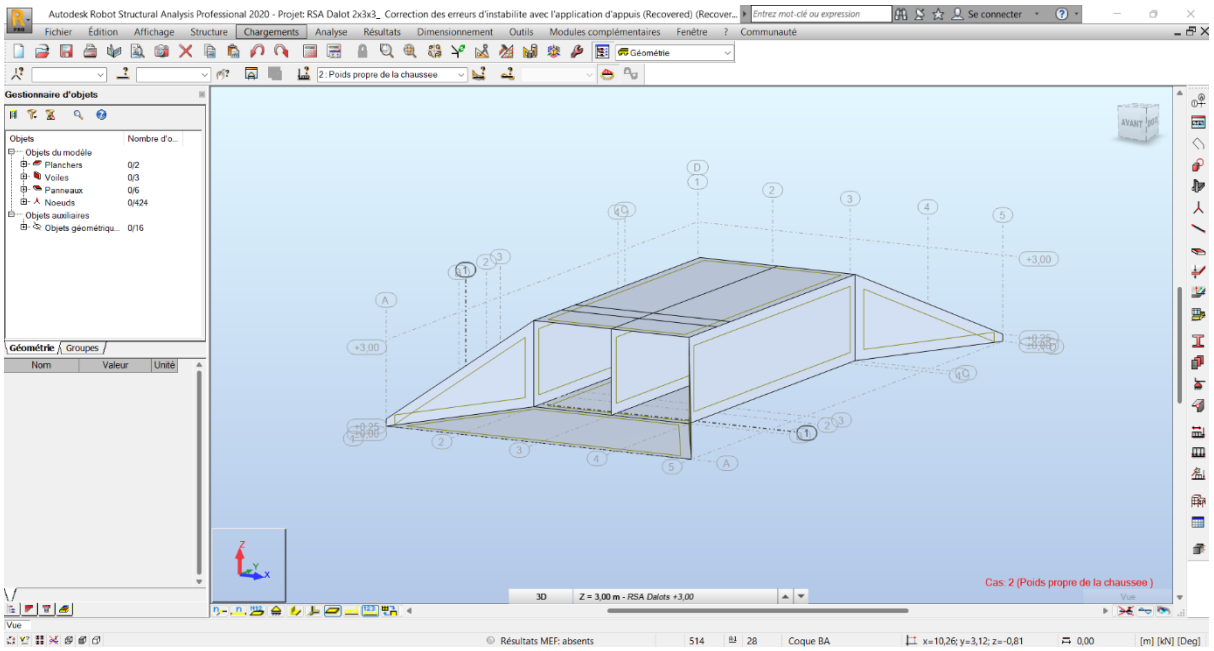


Figure 44 : Modélisation du dalot dans l'interface de ROBOT Structural Analysis

XI.11.1. Principe de calcul et hypothèse

- ❖ Hypothèse de calcul
  - Norme : BAEL 91 révisé 99 ;
  - Resistance caractéristique de l'acier : fe = 500 Mpa ;
  - Classe du ciment : CPA_CMI 42.5 R ;
  - Caractéristique du sol de fondation : élastique ;
  - Classe de la structure : S4 ;

Tableau 55 : Données de base de l'ouvrage hydraulique

Données de l'ouvarge							
Description du dalot		**Matériau en béton**		**Matériaux acier**		**Matériau sol**	
Section du projet	1	**Dosage en ciment**	350 kg/m3	**Nuance**	HA FeE500	**Capacité portante**	130 Kpa
Type d'ouvrage	OH9	**Résistance a la compression a 28 jours (Mpa)**	C25/30	**Module d'élasticité**	120 000 Mpa	**Poids volumique du remblai**	25 kN/ml
Localisation	PK8+556	**Résistance a la traction a 28 jours (Mpa)**	2,1 Mpa	**Masse volumique**	7850 kg/m3	**Angle de frottement interne**	30°
Bassin versant	BV8	**Poids volumique du béton (kN/m3)**	25 Kn/m3	**Contrainte limite**	250 Mpa	**Cohesion des grains**	0
Section	2x3,00x3,00	**Contrainte de calcul du béton**	14 Mpa	-	-	**Coefficient de poussée**	0,33
Enrobage	3 cm	**Contrainte de calcul du béton en compression (Mp**	15 Mpa	-	-	**Surcharge sur remblai**	1,0 t/m3
Epaisseur du tablier	30 cm	**Contrainte limite de cisaillement du béton**	2,5 Mpa	-	-	-	-
Epaisseur du radier	30 cm	**Etat de fissuration du beton**	Prejudiciable	-	-	-	-
Epaisseur des guides roues	25 cm	**Masse volumique du revetement**	2,4 t/m3	-	-	-	-
Epaisseur piédroits	25 cm	-	-	-	-	-	-

XI.11.2. Modélisation des charges roulantes

Le traitement des charges roulantes sur la largeur roulable, configurée pour accueillir n+1 files, est basé sur la définition d'un convoi arbitraire. Cette méthode de modélisation permet de simuler de manière réaliste l'effet des files de camions superposées sur la structure. L'exemple qui suit détaille le paramètre numérique appliqué pour un convoi composé de trois files de camions B_C .

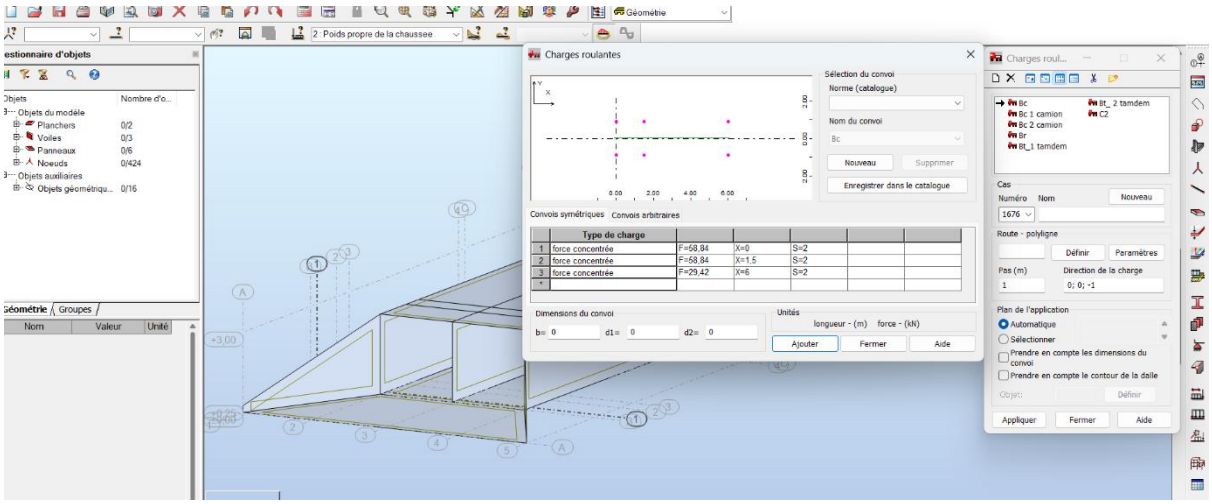


Figure 45 : Modélisation des charges roulantes dû aux différents systèmes.

XI.11.3. Combinaison de charges

L'action de la pression hydrostatique est négligée dans les calculs de stabilité car elle exerce un effet stabilisateur qui réduit la poussée des terres. En revanche, la charge hydrostatique

maximale s'exerçant sur le radier est intégré au modèle. Enfin, aucune charge d'exploitation sur trottoir n'est à considérer pour cet ouvrage.

Tableau 56 : Coefficient de combinaison des charges à l'ELU et l'ELS

Type de charge	ELU	ELS
Charge permanente	1,35	1
Caractère normal (A,B)	1,6	1,2
Caractère particulier (M, D, E)	1,35	1
Charge sur trottoir	1,6	1
Charge sur remblai	1,6	1,2
Charge dû au vent	1,2	1
Charge sismique	1,2	0
Choc bateau	1,2	0

- Combinaison 1 (ELU 1 / ELS 1) : Intégration du système de charge B_C standard.
- Combinaison 2 (ELU 2 / ELS 2) : Intégration du convoi spécifique de type B_C Niger.
- Combinaison 3 (ELU 3 / ELS 3) : Intégration du convoi d'essieux de type B_t Niger.
  Combinaison 4 (ELU 4 / ELS 4) : Intégration de la roue isolée de type B_r
- Combinaison 5 (ELU 5 / ELS 5) : Intégration du convoi militaire lourd de type M_{C120}.

Tableau 57 : Résultat du dimensionnement avec Robot Structural Analysis

Tablier		**Pideroits de rive**			
Travee / nappe	7HA14 espacé de 15 cm	Nappe exterieure	7HA14 espacé de 15 cm		
Appui intermediaire / nappe sup	7HA12 espacé de 15 cm	Nappe inferieure	7HA16 espacé de 15 cm		
Appui intermediaire / nappe inf	7HA12 espacé de 15 cm	Filants	5HA12 espacé de 20 cm		
Appui de rives / nappe	7HA14 espacé de 15 cm	Epingle	HA8 espacé de 40 cm		
Filant	5HA20 espacé de 20 cm	-	-	-	-
Cavalier	HA10	**Piedroit intermediaire**			
Radier		Armatures par face	7HA12 espacé de 15 cm		
Travee / nappe	7HA20 espacé de 13 cm	Filants	5HA12 espacé de 15 cm		
Appui intermediaire / nappe sup	9HA16 espacé de 13 cm	Epingles	HA8 espacé de 40 cm		
Appui intermediaire / nappe inf	9HA16 espacé de 13 cm	**Beche**			
Appui de rives / nappe	9HA16 espacé de 13 cm	Cadre	5HA10 espacé de 20 cm		
Filant	7HA12 espacé de 15 cm	Filants	5HA12 espacé de 20 cm		
Cavalier	HA10	-	-	-	-
Murs en ailes					
Section	**S1**	**S4, S5 et S6**			
Nappe interieure	7HA16 espacé de 15 cm	7HA16 espacé de 15 cm			
Nappe exterieure	7HA12 espacé de 15 cm	7HA12 espacé de 15 cm			
Filants	5HA12 espacé de 20 cm	5HA12 espacé de 20 cm			
Epingles	HA8 spacé de 40 cm	**HA8 spacé de 40 cm**			
Radier de tete		**Guides roues**			
Nappe superieure	7HA20 espacé de 15 cm	Cadre	5HA12 espacé de 20 cm		
Nappe inferieure	7HA14 espacé de 15 cm	Filants	5HA12 espacé de 15 cm		
Cote aile : mappe sup et nappe inf	5HA12 espacé de 20 cm	-	-	-	-
Filants nappe superieure	HA10	-	-	-	-

Annexe 12 : Notice des impacts environnementaux et sociaux

XII.12.1. Introduction partielle

Si le projet représente une réelle opportunité sur les plans économiques, financier et social, sa réalisation comporte également des risques pour l'environnement et les populations locales. En effet, même si les aménagements sont prévus dans l'emprise des servitudes publiques, le chantier pourrait détruire certains biens privés et perturber temporairement les activités commerciales de la zone. C'est pourquoi ce projet est soumis aux exigences de la loi n°96-766 du 3 Octobre 1996 portant Code de l'environnement. La présente notice a pour objectif de recenser les impacts potentiels de l'infrastructure sur son milieu d'accueil. Elle propose des solutions pratiques pour limiter ces effets négatifs, tout en prenant en compte l'avis des communautés locales afin de garantir une gestion sociale et environnementales équilibrée.

XII.12.2. Composante de l'environnement concerné.

L'aire d'étude est divisée en trois niveaux géographiques distincts, à commencer par la zone d'influence indirecte qui englobe l'ensemble de la région du Poro. Vient ensuite la zone d'influence directe, qui s'étend spécifiquement aux territoires des communes de Karakoro, Komborodougou et de Kouroukouna. Enfin la zone d'influence immédiate correspond à l'emplacement précis du tracé de la route ainsi qu'à l'emprise des différents chantiers.

XII.12.2.1. Milieu physique

- Climat : La région du Poro est rythmée par l'alternance de deux saisons bien distinctes, comprenant une période sèche de Novembre à Avril et une saison pluvieuse d'Avril à Octobre, le tout marqué par le passage de l'harmattan pendant trois à cinq mois.
- Qualité de l'air : L'atmosphère dans les localités traversées ne présente actuellement aucune pollution notable, mais le déroulement des futurs travaux de bitumage constituera la principale source d'émissions de poussière et de gaz.
- Bruit : Le niveau sonore actuel reste globalement faible, provenant uniquement du trafic routier habituel, des animaux et des commerces de proximité, mais le chantier entrainera une hausse temporaire et inévitable des nuisances sonores.
- Relief et paysage : La zone présente un relief de type semi-accidentée, caractérisée par des plateaux légèrement ondulés situés entre 300 et 400 mètres d'altitude avec des pentes généralement douces.

- Géologie de la zone du projet : Le sous-sol se compose de deux grands ensembles géologiques, à savoir les formations birrimiennes (d'origine volcanique et sédimentaire métamorphisée) et les formations granitoïdes éburnéennes caractérisées par des massifs de granit.
- Eaux de surface : Le réseau hydrographique de la région est largement dominé par le fleuve Bandama et ses affluents. La zone d'étude est drainée par un réseau de ravines, de talwegs et de petits cours d'eau saisonniers au droit desquels des ouvrages de franchissement (types dalots) sont projetés pour assurer le libre écoulement des eaux, dont le régime est fortement intermittent en saison sèche.
- Eaux souterraines : Les ressources hydrogéologiques sont stockées dans deux types d'aquifères, les réservoirs d'altérites et les réservoirs de fissures, qui garantissent un approvisionnement en eau durable tout au long de l'année.

XII.12.2.2. Milieu biologique

- Végétation : Le couvert végétal le long de l'axe routier est principalement composé de savanes (herbeuse, arbustive et arborées). Cette flore environnante se caractérise par une diversité d'essences végétales locales, sans formation forestière dense sur le tracé.
- Faune : Les grands mammifères sont devenus rares dans la zone d'influence directe du projet et se réfugient principalement dans les forêts classées et les bois sacrés de la région. En revanche, la faune aviaire (les oiseaux) reste très diversifiée, bien qu'elle soit menacée par une forte pression de chasse locale.

XII.12.2.3. Humain

Le projet traverse et impacte directement les populations des localités situés le long de l'axe Karakoro-Komborodougou. Kouroukouna, ainsi que les villages et campements environnants rattachées au département de Korhogo. L'analyse des caractéristiques sociales de ces communautés met en évidence un besoin crucial en équipements publics et en infrastructures de base. La réalisation de cette route est fortement attendue par les riverains pour faciliter l'accès aux centres de santé, aux établissements scolaires et aux bâtiments administratifs, tout en améliorant la desserte en électricité et l'accès à l'eau potable à travers l'hydraulique villageoise. Sur le plan économique, le désenclavement de cet axe va donner une forte impulsion aux activités locales en facilitant les échanges entre ces différentes localités. La nouvelle infrastructure routière permettra notamment de fluidifier le transport et l'évacuation des produits issus de l'agriculture et de l'élevage, de dynamiser le commerce de proximité et

l'artisanat, tout en favorisant la création d'emplois, en particulier pour la jeunesse durant la phase d'exécution des travaux.

XII.12.3. Analyse des impacts sur l'environnement concerné

XII.12.3.1. Impacts positives

Que ce soit pendant les phases de préparation, d'installation, de construction, ou lors de l'exploitation et de la maintenance de l'infrastructure, le projet n'apportera aucun bénéfice majeur pour l'environnement physique et biologique. La seule retombée positive sur le milieu naturel réside dans la valorisation visuelle du cadre de vie et l'embellissement du paysage au niveau des villages traversés par la route.

- ❖ Phase de préparation et d'installation :
  - ➢ Phase de préparation et d'installation
    - Vie sociale : Création d'emplois temporaires et brassage culturel qui dynamisent l'animation locale et renforcent les liens au sein des villages
    - Activités économiques :Essor temporaire des commerces de proximité et de petites activités de revenus, notamment la restauration.
    - Santé et cadre de vie : Suivi sanitaire grâce aux bilans de santé pré-embauche et à la mise en place d'une assistance médicale pour le personnel.
  - ➢ Phase de construction (chantier)
    - Vie sociale : Recrutement d'une main-d'œuvre locale importante favorisant la baisse du chômage et enrichissement culturel mutuel entre les équipes et les résidents.
    - Foncier : Libération et réorganisation des emprises publiques occupées de façon et les résidents.
    - Activités économiques : Multiplication des petits commerces le long du chantier et hausse du chiffre d'affaires des commerçants locaux.
    - Habitat et équipements :Construction et amélioration des ouvrages d'assainissement et de drainage des eaux.
    - Sécurité et circulation : Diminution de l'insécurité (phénomène des coupeurs de route) et renforcement de la surveillance dans les zones riveraines.
  - ➢ Phase d'exploitation et d'entretien :
    - Vie sociale : Facilitation des liaisons et des échanges directes entre les localités de l'axe et le reste de la région.

- Activités économiques :Augmentation de la clientèle pour les commerces locaux et opportunités d'emplois durables.
- Santé et cadre de vie : Embellissement général et nette amélioration des conditions de vie des populations .
- Habitat et équipements : Désenclavement total de la zone et accès rapide aux infrastructures urbaines grâce à la nouvelle voie.
- Sécurité et circulation : Développement des transports en commun, suppression des risques d'embourbement en saison des pluies et réduction du taux d'accidents grâce à une route bitumée moderne.

XII.12.3.2. Impacts négatifs

- Milieu physique.
  - Qualité de l'air : Forte production de poussières et émission de gaz d'échappement par les engins de chantier.
  - Ambiance sonore :Nuisances acoustiques et vibrations perturbent la tranquillité des riverains à proximité des travaux.
  - Paysage : Altération visuelle de l'environnement habituel due aux terrassements et au dégagement de la voie.
  - Qualité des sols : Risques de pollution par déversement accidentel de carburants, d'huiles ou d'autres produits chimiques.
  - Ressources en eau : Risques de dégradation de la qualité des eaux superficielles et souterraines par le rejet des déchets solides ou de sédiments.
- Milieu biologique
  - Biodiversité : Risque d'introduction involontaire d'espèces végétales envahissantes via les roues des engins lourds en provenance d'autres régions.
  - Écosystèmes : Effet barrière de la route bitumée qui segmente les territoires de la petite faune (rongeurs, reptiles), augmentant le risque de collision avec les véhicules rapides en phase d'exploitation.
- Milieu humain
  - Sécurité routière : Risque d'augmentation des accidents de circulation en phase d'exploitation en raison de l'excès de vitesse des usagers sur une voie désormais fluide (nécessité de ralentisseurs).

- Santé sexuelle : Risque d'augmentations des IST/VIH /SIDA dans les villages en raison du brassage des populations et de l'implantation de la main-d'œuvre extérieure (personnel de l'entreprise).
- Conflits d'usage : Risque de tensions liées à la divagation du bétail sur la nouvelle chaussée, perturbant ainsi le trafic et provoquant des accidents de parcours.

XII.12.4. Plan de gestion environnemental et social (PGES)

XII.12.4.1. Objectifs du PGES

Le plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES) constitue le cadre opérationnel indispensable pour assurer la durabilité et l'acceptabilité du projet. Ses matrices structurent l'ensemble des actions en associant à chaque impact identifié des mesures d'atténuation spécifiques, des indicateurs d'évaluation précis et une estimation des couts financiers nécessaires à leur réalisation, Pour garantir l'efficacité de ce dispositif, la gouvernance et le suivi institutionnel sont rigoureusement repartis entre les différents acteurs clés. Ainsi, l'entreprise SCORE est chargée de l'exécution terrain des mesures, tandis que l'Agence Nationale de l'Environnement (ANDE) assure le suivi environnemental global. De leur côté , l'AGEROUTE, en tant que maitre d'ouvrage délégué, et le CIRMA, pour la mission de contrôle technique, veillent à la conformité et à la bonne application de ces prescriptions tout au long du projet.

XII.12.4.2. Mesures de protection et d'atténuation

XII.12.4.2.1. Milieu physique (Phase de préparation et de construction)

- Qualité de l'air : Réduction des envolées de poussière par un arrosage régulier des pistes (prioritairement en zone urbaine) et bâchages obligatoires des camions de transport de matériaux.
- Environnement sonore : Limitation des travaux bruyants aux horaires diurnes (de 7h à 18h) afin de préserver le repos des riverains.
- Protection du sol : Aménagement d'une aire de maintenance étanche pour les engins, couplée à un séparateur d'hydrocarbures et à des bassins de décantation pour traiter les eaux de lavage avant rejet.

- Ressources en eau : Implantation des bases-vies et des centrales de production (béton et enrobées) à bonne distance des habitations et des points d'eau potable, complétée par des audits de pollutions périodiques.

Il faut noter qu'aucune mesure spécifique n'est requise pour le milieu physique lors des phases d'exploitations et d'entretien.

XII.12.4.2.2. Milieu biologique (Phase de construction et de réhabilitation)

- Gestion de sites d'emprunt : Sélection de carrières éloignées des habitations, stockage de la terre végétale pour la remise en culture future et réaménagement complet des sites en fin d'exploitation.
- Gestion des résidus de chantier : Interdiction de stocker les matériaux de démolition ou les déblais instables directement sur le sol sans protection
- Valorisation de la flore : Restitution du bois issu du déboisement aux communautés locales pour leurs besoins en bois de chauffe.
- Préservation de la faune : Campagnes régulières de sensibilisation du personnel et des populations contre le braconnage et pour la sauvegarde de la biodiversité.

Les phases de préparations et d'installation ne nécessitent pas de dispositions biologiques particulières.

XII.12.4.2.3. Milieu humain

- En phase de préparation et d'installation
  - Planification : Programmation des tâches pour minimiser l'impact sur le quotidien des communautés.
  - Sécurité : Campagnes d'information et balisage des zones de travaux pour maintenir le public hors de portée des engins lourds.
  - Emploi local : Implication directe des leaders communautaires et des autorités locales dans le processus de recrutement de la main d'œuvre locale.
- En phase de construction :
  - Cohésion sociale : Information préalable des chefs de villages sur le calendrier des travaux et pose d'une signalisation routière temporaire à l'approche des agglomérations.

- Gestion foncière : Conduite de négociations consensuelles (avec l'appui des autorités municipales et coutumières) pour libérer les emprises de la route et des carrières.
- Indemnisation : Dédommagement juste et préalable des propriétaires pour la perte de leurs cultures ou de leurs biens.
- Patrimoine culturel : Déplacement et réinstallation respectueuse des sépultures impactées par le tracé.
- Santé publique : Déploiement d'un plan de sensibilisation contre les IST/VIH/SIDA avec distribution de préservatifs, ouverture d'un centre médical d'urgence sur le chantier et contrôle de l'hygiène de l'espace de restauration des ouvriers.

➢ En phase d'exploitation et d'entretien :

- Clôture sociale : Certification par les autorités locales du respect de l'ensemble des engagements pris par le maître d'ouvrage.
- Sécurité routière durable : Intensification des campagnes de prévention en liaison avec l'OSER et maintenance continue du réseau de drainage (fosses et dalots) sous la supervision de l'AGEROUTE.

Conclusion partielle

La présente notice environnementale et sociale montre que le projet de bitumage de l'axe Karakoro-Komborodougou-Kouroukouna engendre des effets contrastés, incluant des impacts aussi bien favorables que préjudiciable sur les milieux naturel et humain. Pour garantir sa viabilité, la mise en œuvre de cette infrastructure routière doit impérativement respecter les orientations du Plan de Gestion Environnementale et sociale (PGES) proposé. Cette approche rigoureuse permettre d'inscrire durablement le projet dans une dynamique de développement respectueuse des écosystèmes, tout en assurant une acceptabilité sociale et environnementale conforme aux exigences internationales.

Annexe 13 : Etude financière du projet

L'évaluation financière constitue une étape essentielle dans la réalisation de tout projet, car elle permet de déterminer avec précision le cout global des travaux à exécuter. Dans cette optique, il est nécessaire d'estimer les quantités prévisionnelles des différents éléments composant le projet, depuis les opérations de libération des emprises jusqu'aux travaux de chaussée, en incluant les ouvrages de franchissement ainsi que les dispositifs drainage. Afin de mener cette analyse de manière rigoureuse, un détail quantitatif et estimatif (DQE) spécifique au projet a été mis à disposition. Ce document fournit les prix unitaires applicables aux différentes prestations et sert de base au calcul du cout total des travaux.

XIII.13.1. Estimation des quantités

Cette phase consiste à déterminer avec précision les quantités de matériaux, les besoins en main-d'œuvre ainsi que les différentes prestations requises pour chaque poste figurant dans le Bordereau des Prix Unitaires (BPU). Cette démarche permet d'obtenir une estimation faible et détaillée du cout global de réalisation du projet.

Tableau 58 : Devis quantitatif et estimatif

DETAIL QUANTITATIF ET ESTIMATIF					
N° DE PRIX	**DESIGNATION**	**U**	**Quantité**	**P.U. HT (FCFA)**	**MONTANT (FCFA)**
000	**SECTION 000 : INSTALLATION DE CHANTIER**				
001	Installation générale de chantier et des services généraux de l'entreprise	Fft	1	375 000 000	375 000 000
002	Provision pour la construction de bureaux et laboratoire pour la MDC et le MOD	Prv	1	62 500 000	62 500 000
003	Installation de la centrale de concassage	Fft	1	42 500 000	42 500 000
004	Installation de la centrale d'enrobés	Prov	1	37 500 000	37 500 000
005	Provision pour réalisation de l'EIES et du PAR	Prov	1	25 000 000	25 000 000
006	Provision pour sondages géotechniques complémentaires	Prov	1	10 000 000	10 000 000
006a	Provision pour campagne de déflexion sur toutes les couches	Prov	1	22 500 000	22 500 000
007	Provision pour mise en œuvre du PAR (cultures, bâtis, etc.…)	Prov	1	62 500 000	62 500 000
008	Provision pour déplacement et réhabilitation de réseaux	Prov	1	125 000 126	125 000 126
009	Réalisation des études techniques d'exécution et plans de recollement	Fft	1	50 000 000	50 000 000
019	Provision pour acquisition de véhicules pour la MDC et MOD	Prov	1	50 000 000	50 000 000
024	Provision pour le renforcement des capacités opérationnelles	Prov	1	50 000 000	50 000 000

SOUS TOTAL SECTION 000 : INSTALLATION DE CHANTIER						**912 500 126**
100	**SECTION 100 : DEGAGEMENT DES EMPRISES**					
101	Débroussement mécanique en savane ou en forêt		m²	192000,00	300	57 600 000
	101w	Nettoyage en zone habitée	m²	23370,00	200	4 674 000
102	Débroussement en zone marécageuse		m²	5000,00	600	3 000 000
103	Abattage et dessouchage d'arbres					
	103a	Abattage et dessouchage d'arbres de circonférence comprise entre 1 et 3 m	m²	375,00	55 000	20 625 000
	103b	Abattage et dessouchage d'arbres de circonférence supérieure à 3 m	m²	40,00	95 000	3 800 000
104	Décapage de terre végétale		m²	600	600	80 301 000
105	Décapage de terre végétale en zone marécageuse		m²	3422,00	900	3 079 800
Sous total section 100 : Dégagement des emprises						**173 079 800**
200	**SECTION 200 : TERRASSEMENT GENERAUX**					
201	Déblai mis en dépôt		-	-	-	-
	201a	Déblai mis en dépôt en terrain meuble	m³	185 600,00	3 500	98 103 677
	201b	Déblai mis en dépôt en terrain rocheux friable	m³	51 569,00	12 000	18 777 600
	201c	Déblais mis en dépôt en terrain rocheux compact	m³	-	-	-
202	Purge de terre de mauvaise tenue		m³	-	-	-
203	Remblais provenant de déblais		m³	3 933,06	4 000	15 732 222
204	Remblais provenant d'emprunt γ/c couche de forme		m³	93 753,44	6 500	609 397 389
207	Réglage et compactage de l'arase de terrassement		m²	114 778,53	500	57 389 267
210	Engazonnement des talus de remblais du γ/c apport de terre végétale 0,15 m		m²	4037,50	1750	7 065 625
Sous total section 200 : Terrassement généraux						**806 465 780**
300	**SECTION 300 : CHAUSSEE**					
301	Fournitures et mise en œuvre de Graveleux latéritique pour la couche de chaussée		m³	42 501,99	8000	340 015 924
303	Stabilisation au ciment		kg	1 301 219,46	300	390 365 838
307	Exécution de l'imprégnation de la couche de base en émulsion cationique surstabilisée ECS55 ou ECR55		m²	-	-	-
308	Couche d'accrochage à l'émulsion de bitume		-	-	-	-
	308a	Couche d'accrochage à l'émulsion de bitume dosé à 300 g/m²	m²	86 158,13	800	68 926 506
309	Couche anti-fissuration en enduit monocouche double gravillonnage		m³	86 158,13	3000	258 474 399
310	Fourniture, fabrication, transport et mise en œuvre de béton bitumineux pour revêtement		-	-	-	-
	310a	BB épaisseur 3 cm	m²	10 800.00	7 500	81 000 000
315	Fourniture et mise en œuvre d'un enduit superficiel bicouche		m²	20 250,00	4 750	96 187 500
Sous total section 300 : Chaussée						**1 234 970 167**

400	SECTION 400 : ASSAINISSEMENT-DRAINAGE					
401	Démolition d'ouvrages existants		-	-	-	-
	401a	Démolition d'ouvrages existants en maçonnerie ou en béton légèrement armé	m^3	-	45 000	-
	401b	En béton armé	m^3		60 000	
	401c	Démolition d'ouvrages existants buse métallique	ml	7,00	30 000	210 000
	401d	Démolition d'ouvrages existants en en buse en béton armé	ml	2,00	40 000	80 000
402	Fouilles pour fondation des ouvrages d'assainissement et de drainage en terrain meuble		m^3	475,20	6 000	2 851 200
403	Remblais de fouilles		m^3			
404	Béton de propreté C150 sur une épaisseur de 10 cm		m^3	41,67	120 000	5 000 400
405	Coffrages pour les ouvrages		-	-	-	
	405a	Coffrages plans ordinaires	m^2	423,33	11 000	4 656 630
	405b	Coffrages pour parements soignés	m^2	595,12	14 500	8 629 240
406	Aciers pour les ouvrages		-	-	-	-
	406a	Aciers à haute adhérence	kg	30028,82	1 500	45 043 230
407	Béton de qualité Q 350 au ciment CPA 350		m^3	257,23	165 000	42 442 950
408	Badigeonnage des parements enterrés		m^2	522,06	4 000	2 088 240
409	Fourniture et pose de fourreaux PVC série 2		-	-	-	-
	409b	Fourniture et pose de fourreaux PVC série 2 de diamètre 160 mm	ml	-	15 000	-
	409c	Fourniture et pose de fourreaux PVC série 2 de diamètre 200 mm	ml	-	18 000	-
410	Fourniture et pose de buse en béton armé série 90A γ/c têtes		-		-	
	410b	Fourniture et pose de buse en béton armé série 90A γ/c têtes de diamètre 1000 mm	ml	-	400 000	-
	410c	Fourniture et pose de buse en béton armé série 90A γ/c têtes de diamètre 1200 mm	ml	-	450 000	-
415	Fournitures et pose de bordures		-	-	-	
	415a	Fourniture et pose de bordures de types A2	ml	-	8 500	-
	415b	Fourniture et pose de bordures de types A2CS2	ml	-	18 500	-
	415c	Fourniture et pose de bordures de types CC2	ml	14,40	16 000	230 400
	415c	Fourniture et pose de bordures de types P2	ml		16 000	
	415d	Fourniture et pose de bordures de types T2CS2	ml	481,00	23 000	11 063 000
	415e	Fourniture et pose de bordures de types T2	ml	3198,63	14 000	44 780 820
	415f	Fourniture et pose de bordures de types CC2	ml		16 0000	
418	Fourniture et pose de caniveaux en BA		-	-	-	-
	418a	Fourniture et pose de caniveaux en BA de section 50x40	ml		55 000	

	418b	Fourniture et pose de caniveaux en BA de section 50x50	ml	1992,00	56 000	111 552 000
	418c	Fourniture et pose de caniveaux en BA de section 60x50	ml		65 000	
	418d	Fourniture et pose de caniveaux en BA de section 60x60	ml	2100,60	70 000	147 042 000
	418e	Fourniture et pose de caniveaux en BA de section 80x60	ml	1480,00	80 000	118 400 000
	418f	Fourniture et pose de caniveaux en BA de section 80x80	ml	2108,90	95 000	200 345 500
419	Fourniture et pose de dalettes sur caniveaux		-	-	-	-
	419a	Fourniture et pose de dalettes sur caniveaux de 50 cm de largeur intérieur	ml	-	34 000	-
	419b	Fourniture et pose de dalettes sur caniveaux de 60 cm de largeur intérieur	ml	105,03	38 000	3 991 140
	419c	Fourniture et pose de dalettes sur caniveaux de 80 cm de largeur intérieur	ml	105,45	52 000	5 483 140
422	Fournitures et pose de dalots de traversée					
	422a	Fourniture et pose de dalots de traversée de section 60x60	ml	149,06	131 000	19 526 278
	422b	Fourniture et pose de dalots de traversée de section 80x60	ml	42,00	135 000	5 670 000
	422c	Fourniture et pose de dalots de traversée de section 80x80	ml	74,00	155 000	11 470 000
423	Fournitures et pose de dalots béton armé		-	-	-	-
	423a	Fourniture et pose de dalots de traversée de section 100x100	ml	96,00	1 100 000	105 600 000
	423b	Fourniture et pose de dalots de traversée de section 150x150	ml	12,00	2 500 000	30 000 000
	423c	Fourniture et pose de dalots de traversée de section 200x150	ml	36,00	3 000 000	108 000 000
	423d	Fourniture et pose de dalots de traversée de section 200x200	ml	-	3 250 000	-
424	Perrés maçonnés		m^2	2189,41	40 000	87 576 418
425	Enrochement en aval (diamètre 60 cm)		m^3	350	50 000	17 500 000
426	Fossé en terre		ml	3000	2 000	6 000 000
427	Fossé trapézoïdal bétonné		ml	8000	20 000	160 000 000
428	Fourniture et pose de descente d'eau		ml	709,49	19 500	13 835 055
429	Construction de fossé bétonné		ml	4726,00	20 000	94 520 000
Sous total section 400 : Assainissement et drainage						**1 230 087 641**
500	**SECTION 500 : OUVRAGE HYDRAULIQUE**					
501	Réhabilitation des ouvrages d'art existants sur le Bandama et le Lofigué		ens	-	-	-
Sous total section 500 : Ouvrage hydraulique						
600	**SECTION 600 : SIGNALISATION**					
601		Confection de bandes blanches à peinture rétroféchissante	-	-	-	-
	601b	Confection de bandes blanches à peinture rétroféchissante de largeur 0,12 mètres	ml	5 468,75	2 500	13 671 875

	601d	Confection de bandes blanches à peinture rétroféchissante de largeur 0,18 mètres	ml	14615,50	2 800	40 923 400
	601f	Confection de bandes blanches à peinture rétroféchissante de largeur 0,50 mètres	ml	450,00	6 500	2 925 000
603	Fourniture, transport et pose de panneaux de signalisation		-	-	-	-
	603a	Panneau triangulaire type A ou AB	u	15	300 000	4 500 000
	603b	Panneau circulaire type B	u	13,25	300 000	3 975 000
	603c	Panneau ''STOP'' type AB4	u	35,50	320 000	11 360 000
	603d	Panneau directionnel type D21	u	2,50	400 000	1 000 000
	603e	Panneau de localisation type EB 10/20	u	13	400 000	5 200 000
605	Borne kilométriques		u	25	170 000	4 250 000
607	Fourniture, transport et pose de glissière de sécurité métallique		-	-	-	-
	607a	Glissière de sécurité métallique hors ouvrages	ml	500	85 000	42 500 000
	607 b	Glissière de sécurité en Béton armé GBA extrudé	ml	1500	120 000	180 000 000
608	Provision pour installation		Prov	1	249 544 199	62 386 050
625	Provision pour pose de ralentisseurs pour agglomération		Prov	1	20 000 000	5 000 000
Sous total section 600 : Signalisation						**372 691 325**
700	**SECTION 700 : ENVIRONNEMENT**					
701	Régénérescence des zones d'emprunts		m^2	264259,78	550	145 342 880
702	Provision pour sensibilisation des populations au MST, au COVID		Prov	1	40 000 000	10 000 000
Sous total section 700 : Ouvrage d'art						**155 342 880**
800	**SECTION 800 : TRAVAUX CONNEXES**					
801	Provision pour construction de forage, de marché, de centre de santé, de clôture d'école ou de centre de santé		Prov	1	130 000 000	32 500 000
Sous total connexe						**32 500 000**

Récapitulatif	
SECTION 000 : INSTALLATION DE CHANTIER	912 500 126
SECTION 100 : DEGAGEMENT DES EMPRISES	173 079 800
SECTION 200 : TERRASSEMENT GENERAUX	806 465 780
SECTION 300 : CHAUSSEE	1 234 970 167
SECTION 400 : ASSAINISSEMENT – DRAINAGE	1 230 087 641
SECTION 500 : OUVRAGE HYDRAULIQUE	-
SECTION 600 : SIGNALISATION ET EQUIPEMENTS	372 691 325
SECTION 700 : PRESTATIONS ENVIRONNEMENTALES	155 342 880
SECTION 800 : TRAVAUX CONNEXES	32 500 000
HONORAIRES MAITRISE D'ŒUVRE	207 440 292
HONORAIRES MAITRISE D'OUVRAGE DELEGUE	118 537 310
HONORAIRES DU LABORATOIRE GEOTECHNIQUE	29 634 327
TOTAL GENERAL EN FRANCS CFA HTVA	**5 047 507 257**
TVA 18%	**908 551 307**
TOTAL GENERAL EN FRANCS CFA TTC	**5 956 058 564**

REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE

MAITRE D'OUVRAGE

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DE L'ENTRETIEN ROUTIERE

ENTREPRISE :

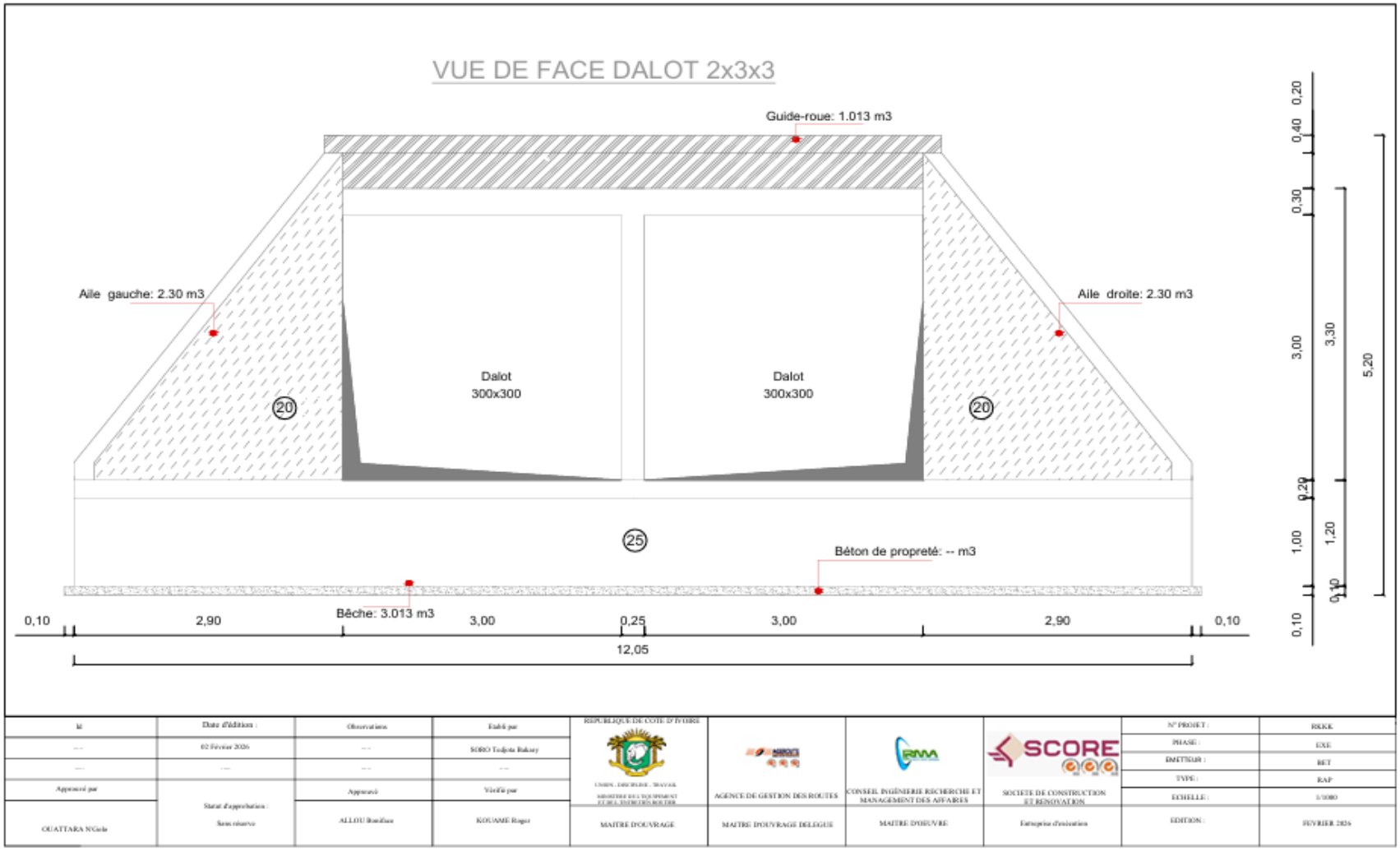
ECOLE D'INGENIERIE :

TRAVAUX DE BITUMAGE DE LA ROUTE

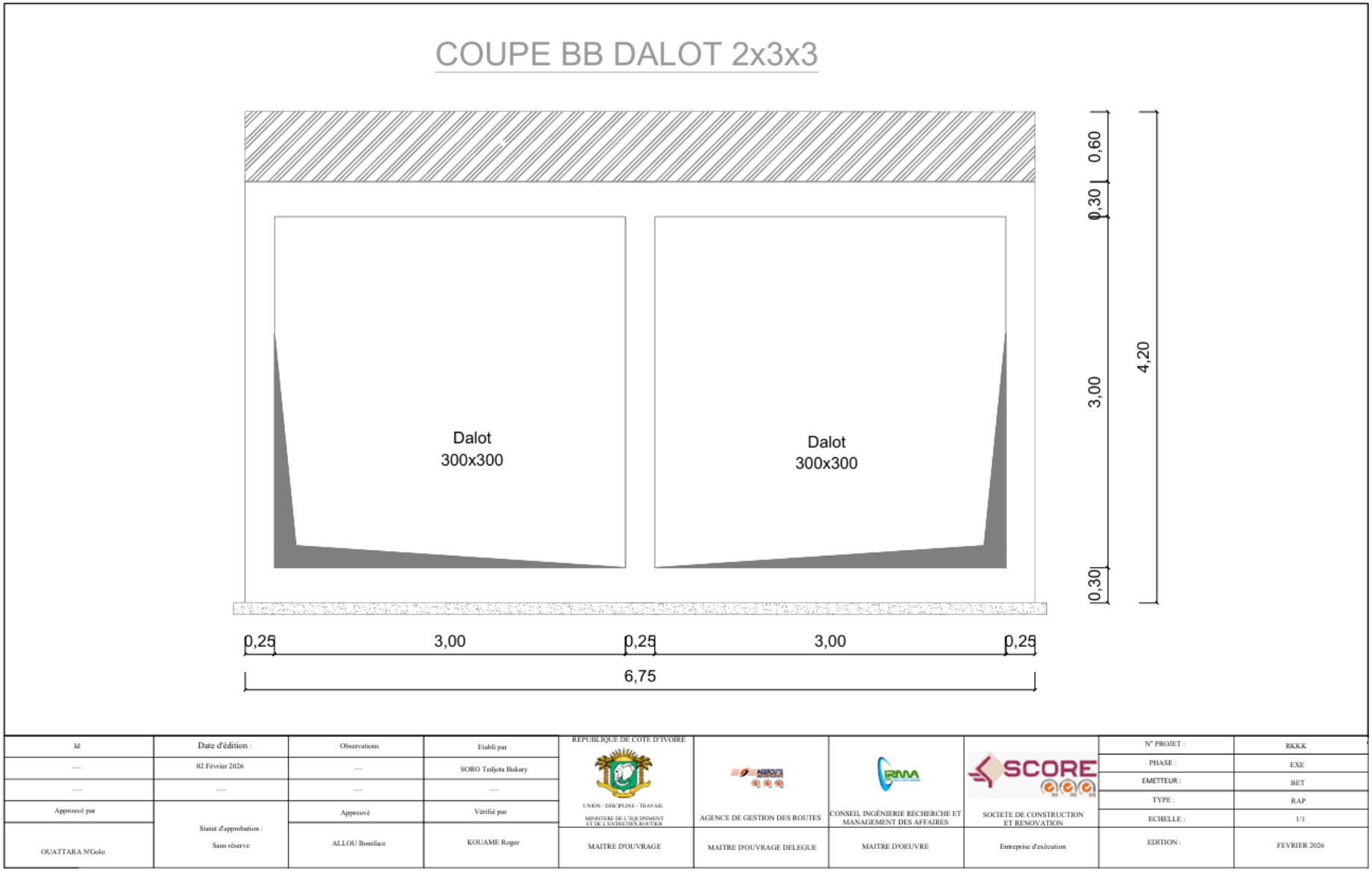
KARAKORO – KOMBORODOUGOU - KOUROUKOUNA

VUE AXE EN PLAN

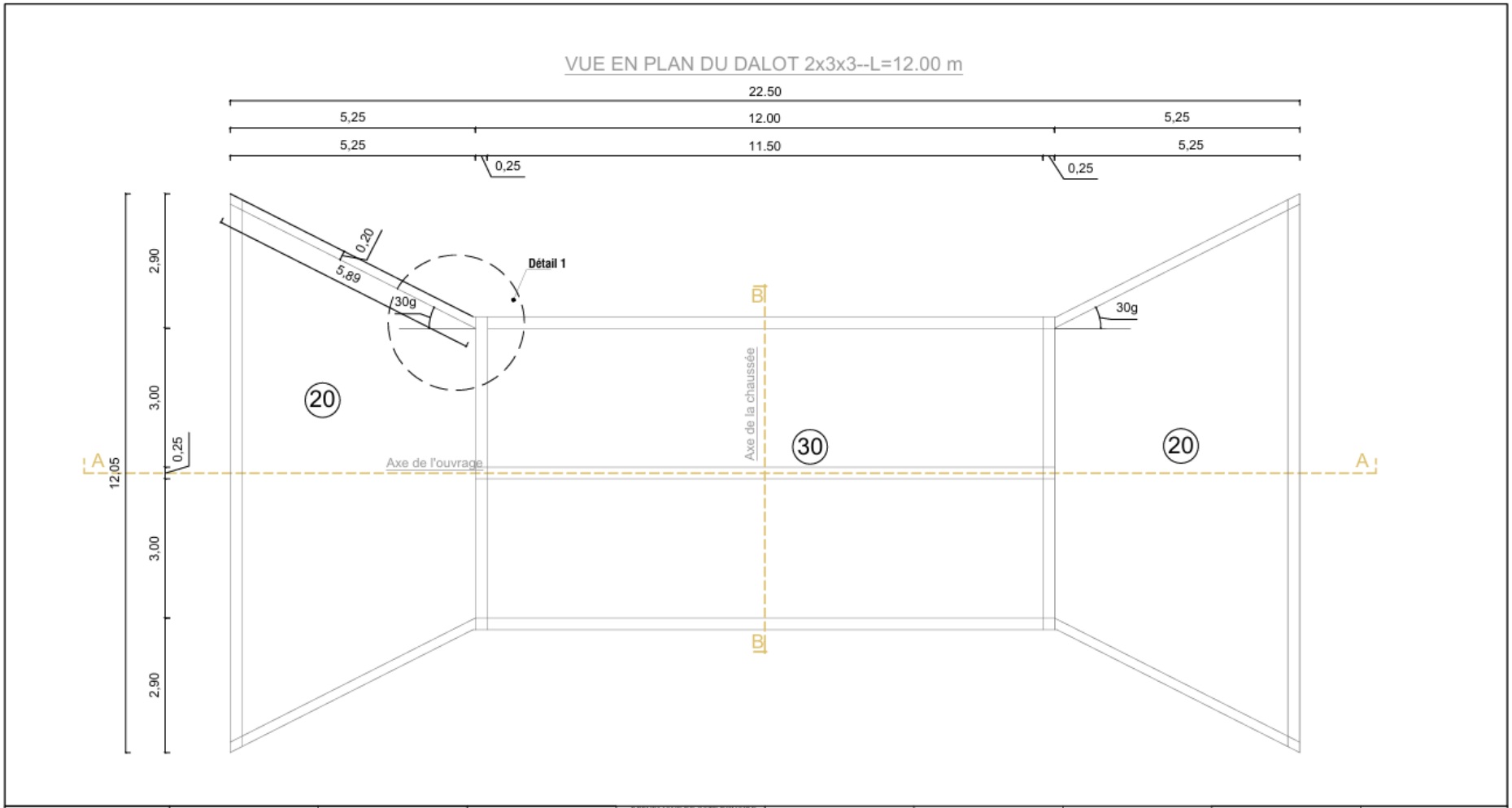
PLANS DE COFFRAGE ET FERRAILLAGE : DALOT 2 × 3.00 × 3.00 – 12.00 ml – (OH19 – PK 23+910)



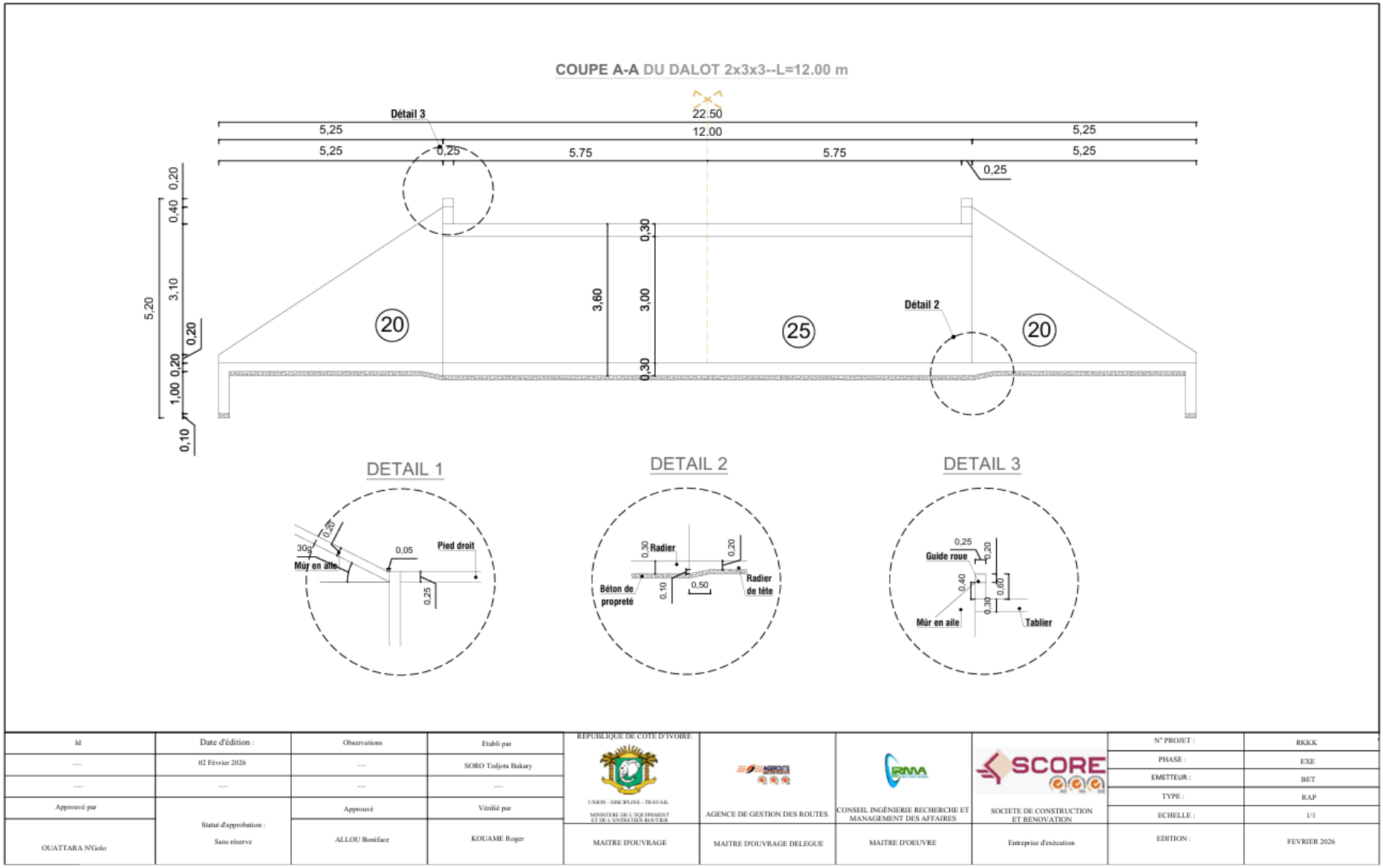
Id	Date d'édition :	Observations	Établi par	RÉPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE				N° PROJET :	RKKK
---	02 Février 2026	---	SORO Tedjota Bakary					PHASE :	EXE
---	---	---	---					EMETTEUR :	BET
Approuvé par	Statut d'approbation :	Approuvé	Vérifié par					TYPE :	RAP
OUATTARA N'Gole	Sans réserve	ALLOU Boniface	KOUAME Roger	MAITRE D'OUVRAGE	AGENCE DE GESTION DES ROUTES — MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE	CONSEIL INGÉNIERIE RECHERCHE ET MANAGEMENT DES AFFAIRES — MAITRE D'OEUVRE	SOCIETE DE CONSTRUCTION ET RENOVATION — Entreprise d'exécution	ECHELLE :	1/1000
								EDITION :	FEVRIER 2026



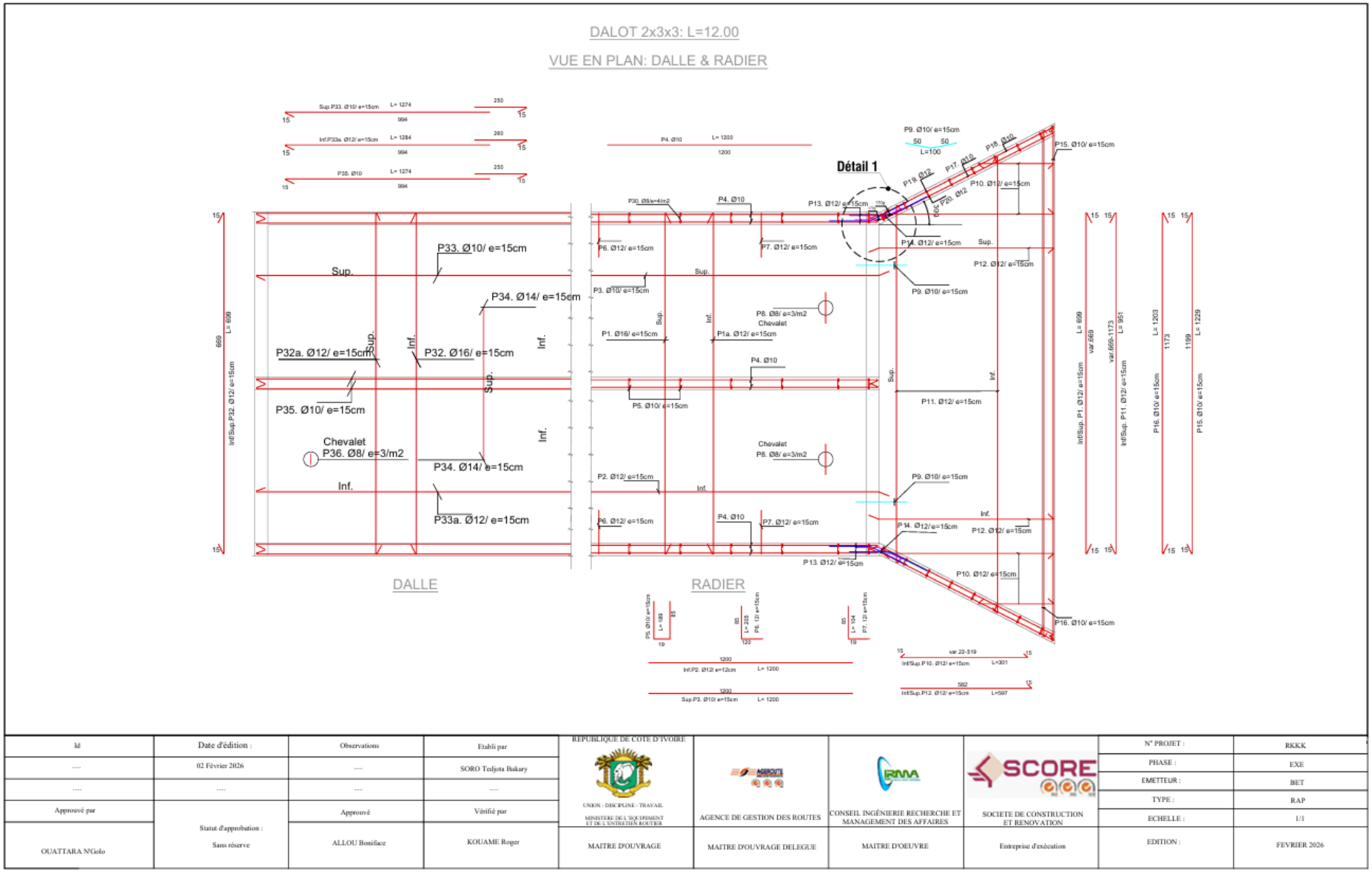
Id	Date d'édition :	Observations	Etabli par	RÉPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE UNION - DISCIPLINE - TRAVAIL MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DE L'ENTRETIEN ROUTIER	AGENCE DE GESTION DES ROUTES	CONSEIL INGÉNIERIE RECHERCHE ET MANAGEMENT DES AFFAIRES	SOCIETE DE CONSTRUCTION ET RENOVATION	N° PROJET :	RKKK
....	02 Février 2026	....	SORO Tedjota Bakary					PHASE :	EXE
....	....	....	....					EMETTEUR :	BET
Approuvé par	Statut d'approbation : Sans réserve	Approuvé	Vérifié par					TYPE :	RAP
OUATTARA N'Golo		ALLOU Boniface	KOUAME Roger	MAITRE D'OUVRAGE	MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE	MAITRE D'OEUVRE	Entreprise d'exécution	ECHELLE :	1/1
								EDITION :	FEVRIER 2026



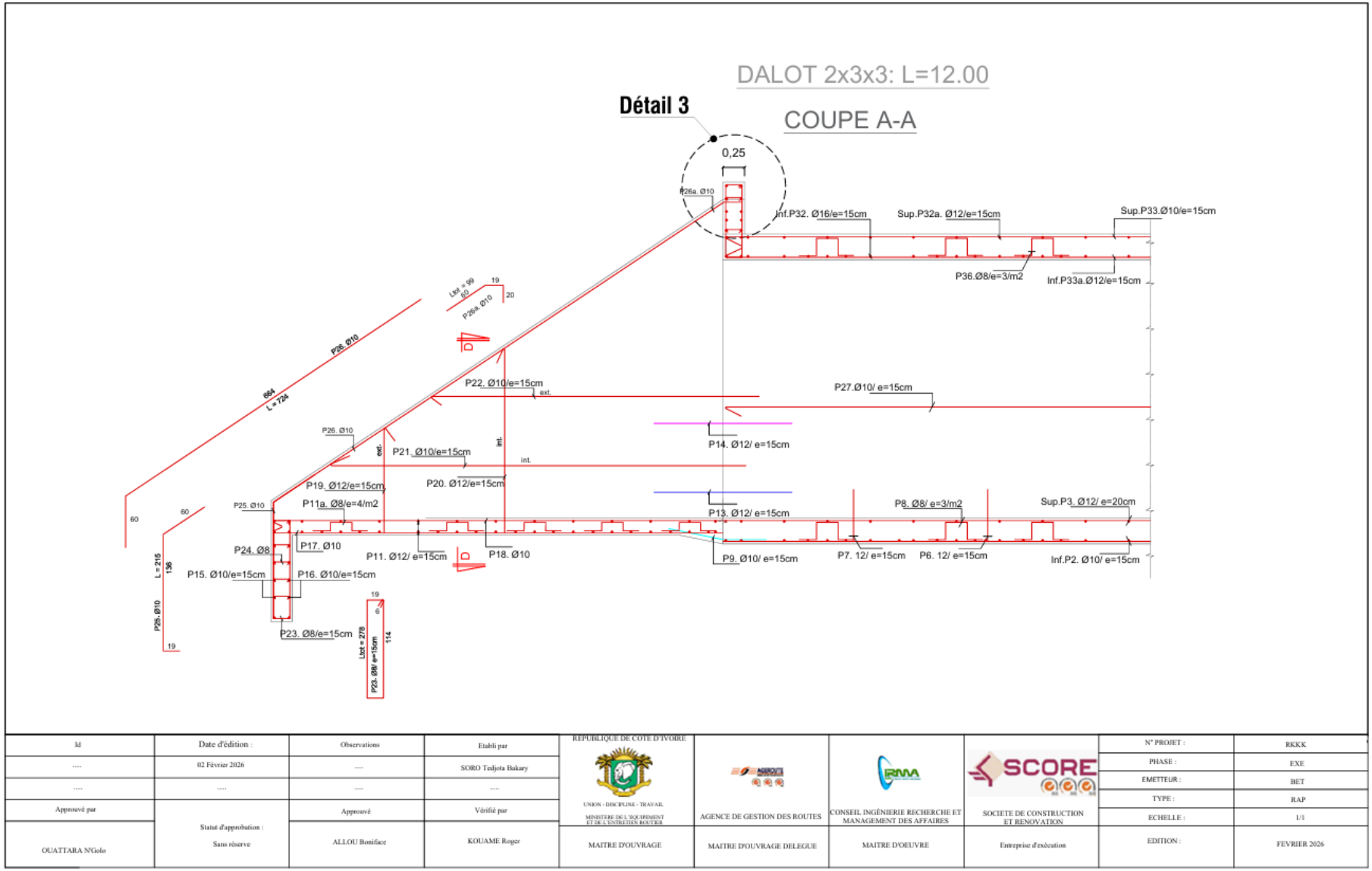
Id	Date d'édition :	Observations	Etabli par	RÉPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE				N° PROJET :	RKKK
----	02 Février 2026	----	SORO Tedjota Bakary					PHASE :	EXE
----	----	----	----					EMETTEUR :	BET
Approuvé par	Statut d'approbation : Sans réserve	Approuvé	Vérifié par	UNION - DISCIPLINE - TRAVAIL	AGENCE DE GESTION DES ROUTES	CONSEIL INGÉNIERIE RECHERCHE ET MANAGEMENT DES AFFAIRES	SOCIETE DE CONSTRUCTION ET RENOVATION	TYPE :	RAP
				MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DE L'ENTRETIEN ROUTIER				ECHELLE :	1/1
OUATTARA N'Golo		ALLOU Boniface	KOUAME Roger	MAITRE D'OUVRAGE	MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE	MAITRE D'OEUVRE	Entreprise d'exécution	EDITION :	FEVRIER 2026



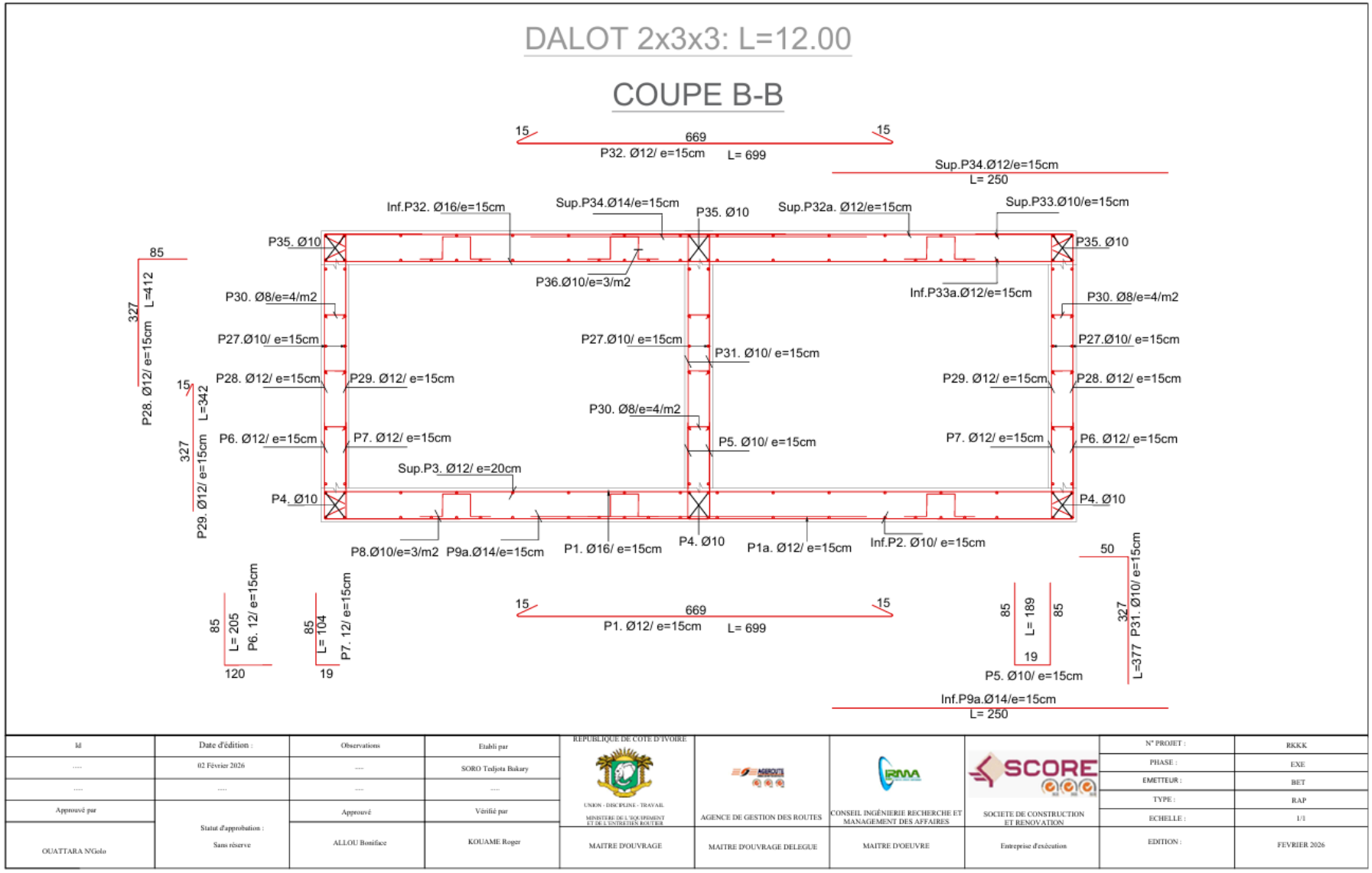
Id	Date d'édition :	Observations	Etabli par	REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE				N° PROJET :	RKKK
----	02 Février 2026	----	SORO Tedjota Bakary					PHASE :	EXE
----	----	----	----					EMETTEUR :	BET
Approuvé par	Statut d'approbation : Sans réserve	Approuvé	Vérifié par					TYPE :	RAP
OUATTARA N'Golo		ALLOU Boniface	KOUAME Roger	UNION - DISCIPLINE - TRAVAIL MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DE L'ENTRETIEN ROUTIER	AGENCE DE GESTION DES ROUTES	CONSEIL INGÉNIERIE RECHERCHE ET MANAGEMENT DES AFFAIRES	SOCIETE DE CONSTRUCTION ET RENOVATION	ECHELLE :	1/1
				MAITRE D'OUVRAGE	MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE	MAITRE D'OEUVRE	Entreprise d'exécution	EDITION :	FEVRIER 2026



Id	Date d'édition :	Observations	Etabli par	RÉPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE				N° PROJET :	RKKK
.....	02 Février 2026	.....	SORO Tedjota Bakary	UNION - DISCIPLINE - TRAVAIL				PHASE :	EXE
.....	.....	.....	.....	MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DE L'ENTRETIEN ROUTIER	AGENCE DE GESTION DES ROUTES	CONSEIL INGÉNIERIE RECHERCHE ET MANAGEMENT DES AFFAIRES	SOCIETE DE CONSTRUCTION ET RENOVATION	EMETTEUR :	BET
Approuvé par	Statut d'approbation : Sans réserve	Approuvé	Vérifié par					TYPE :	RAP
OUATTARA N'Golo		ALLOU Boniface	KOUAME Roger	MAITRE D'OUVRAGE	MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE	MAITRE D'OEUVRE	Entreprise d'exécution	ECHELLE :	1/1
								EDITION :	FEVRIER 2026



Id	Date d'édition :	Observations	Etabli par	RÉPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE				N° PROJET :	RKKK
----	02 Février 2026	----	SORO Tedjota Bakary	UNION - DISCIPLINE - TRAVAIL				PHASE :	EXE
----	----	----	----	MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DE L'ENTRETIEN ROUTIER	AGENCE DE GESTION DES ROUTES	CONSEIL INGÉNIERIE RECHERCHE ET MANAGEMENT DES AFFAIRES	SOCIETE DE CONSTRUCTION ET RENOVATION	EMETTEUR :	BET
Approuvé par	Statut d'approbation : Sans réserve	Approuvé	Vérifié par					TYPE :	RAP
OUATTARA N'Golo		ALLOU Boniface	KOUAME Roger	MAITRE D'OUVRAGE	MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE	MAITRE D'OEUVRE	Entreprise d'exécution	ECHELLE :	1/1
								EDITION :	FEVRIER 2026

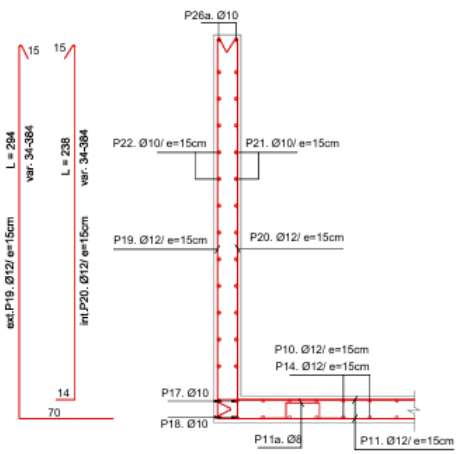


Id	Date d'édition :	Observations	Etabli par	RÉPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE				N° PROJET :	RKKK
....	02 Février 2026	....	SORO Tedjota Bakary					PHASE :	EXE
....	....	....	....					EMETTEUR :	BET
Approuvé par	Statut d'approbation :	Approuvé	Vérifié par	UNION - DISCIPLINE - TRAVAIL	AGENCE DE GESTION DES ROUTES	CONSEIL INGÉNIERIE RECHERCHE ET MANAGEMENT DES AFFAIRES	SOCIETE DE CONSTRUCTION ET RENOVATION	TYPE :	RAP
OUATTARA N'Golo	Sans réserve	ALLOU Boniface	KOUAME Roger	MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DE L'ENTRETIEN ROUTIER				ECHELLE :	1/1
				MAITRE D'OUVRAGE	MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE	MAITRE D'OEUVRE	Entreprise d'exécution	EDITION :	FEVRIER 2026

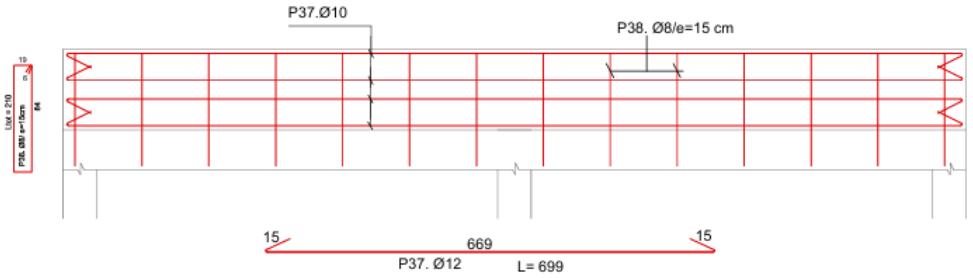
GUIDE ROUE

COUPE D-D

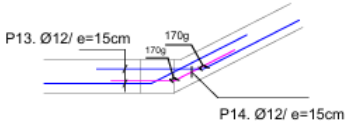
Echelle 1:25



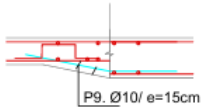
COUPE B-B



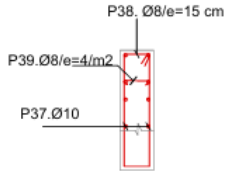
DETAIL 1



DETAIL 2



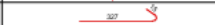
DETAIL 3



Id	Date d'édition :	Observations	Etabli par	RÉPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE UNION - DISCIPLINE - TRAVAIL MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DE L'ENTRETIEN ROUTIER	AGENCE DE GESTION DES ROUTES	CONSEIL INGÉNIERIE RECHERCHE ET MANAGEMENT DES AFFAIRES	SCORE SOCIETE DE CONSTRUCTION ET RENOVATION	N° PROJET :	RKKK
----	02 Février 2026	----	SORO Tedjota Bakary					PHASE :	EXE
----	----	----	----					EMETTEUR :	BET
Approuvé par	Statut d'approbation : Sans réserve	Approuvé	Vérifié par					TYPE :	RAP
OUATTARA N'Golo		ALLOU Boniface	KOUAME Roger	MAITRE D'OUVRAGE	MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE	MAITRE D'OEUVRE	Entreprise d'exécution	ECHELLE :	1/1
								EDITION :	FEVRIER 2026

DALOT 2x3x3: NOMENCLATURE DES ACIERS TETE D' OUVRAGE

Pos.	Diamètre (mm)	Nombre dans un element	Nombre total	Espacement (cm)	Schéma	Longueur moyen (m)	Longueur totale (m)	Poids au ml [kg]	Poids total [kg]
RADIER									
1	16	80	80	15		6.99	559.20	1.58	883.54
1a	12	80	80	15		6.99	559.20	0.89	497.69
2	10	1x38	38	15		12.00	456.00	0.62	282.72
3	12	1x38	38	15		12.00	456.00	0.89	405.84
4	10	1x12	12	---		12.00	144.00	0.62	89.28
5	12	1x80	80	15		1.89	151.2	0.89	134.57
6	12	2x80	160	15		2.05	328.00	0.89	291.92
7	12	2x80	160	15		1.04	166.40	0.89	148.10
8	10	243	243	e=3/m2		1.13	274.59	0.62	170.25
9	10	--	--	15		1.00	--	0.62	--
9a	**14**	1x80	80	15		2.5	200.00	1.21	242.00
OUVRAGE DE TETE									
10	12	4x34	136	15		3.01	409.36	0.89	364.33
11	12	2x76	152	15		9.51 moyen	1445.52	0.89	1286.51
11a	10	2x148	296	e=3/m2		0.93	275.28	0.39	170.67
12	12	2x80	160	15		5.97	955.20	0.89	850.13
13	12	4x39	156	15		1.60	249.60	0.89	222.14
14	12	4x19	76	15		1.00	76.00	0.89	67.64
15	10	2x6	12	--		12.29	147.48	0.62	91.44
16	10	2x6	12	--		12.03	144.36	0.62	89.50
17	10	2x4	8	--		5.98	47.84	0.62	29.66
18	10	2x4	8	--		5.98	47.84	0.62	29.66
19	12	4x37	148	15		2.94	435.12	0.89	387.26
20	12	4x37	148	15		2.38 moyen	352.24	0.89	313.49
21	12	4x24	96	15		3.19 moyen	306.24	0.89	272.55
22	12	4x24	96	15		3.19 moyen	306.24	0.89	272.55
23	8	2x80	160	15		2.78	444.80	0.39	173.47
24	8	2x36	72	e=3/m2		0.35	25.20	0.39	9.83
25	10	2x4	8	--		2.15	17.20	0.62	10.66
26	10	2x4	8	--		7.24	57.92	0.62	35.91
26a	10	2x4	8	--		0.99	7.92	0.62	4.91

Pos.	Diamètre (mm)	Nombre dans un element	Nombre total	Espacement (cm)	Schéma	Longueur moyen (m)	Longueur totale (m)	Poids au ml [kg]	Poids total [kg]
VOILES									
27	10	3x40	120	15		12.74	1528.80	0.62	947.86
28	12	2x80	160	15		4.12	659.20	0.89	586.69
29	12	2x80	160	15		3.42	547.20	0.89	487.01
30	8	3x108	324	e=3/m2		0.30	97.20	0.39	37.91
31	10	2x80	160	15		3.77	603.20	0.62	373.98
DALLE									
32	16	80	80	15		6.99	559.20	1.58	883.54
32a	12	80	80	15		6.99	559.20	0.89	497.69
33	10	38	38	15		12.74	484.12	0.62	300.15
33a	12	38	38	15		12.84	487.92	0.89	434.25
34	14	80	80	15		2.5	200.00	1.21	242.00
35	10	1x12	12	---		12.74	152.88	0.62	94.79
36	10	243	243	e=3/m2		1.13	274.59	0.62	170.25
GUIDE ROUE									
37	10	2x8	16	--		6.99	111.84	0.62	69.34
38	8	2x45	90	15		2.10	189.00	0.39	73.71
39	8	2x13	26	e=3/m2		0.35	9.10	0.39	3.55
						HA 6	--	0.22	--
						HA 8	765.30	0.39	298.47
						HA 10	4775.85	0.62	2 961.03
						HA 12	8449.84	0.89	7 520.36
						HA 14	400.00	1.21	484.00
						HA 16	1118.40	1.58	1 767.08
								Poids total	1 3030.94
								Poids total avec chutes (10.00%)	14 334.03

Acier : Fe500
Béton : C25/30
Enrobage : 3 cm
Recouvrement = 50 x Ø

Béton C28/35 (m³)	112.59
Ratio Kg/m³	123.13
Béton de propreté (m³)	18.66

Id	Date d'édition :	Observations	Etabli par	RÉPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE				N° PROJET :	RKKK
....	02 Février 2026	....	SORO Tedjota Bakary					PHASE :	EXE
....	....	....	....					EMETTEUR :	BET
Approuvé par	Statut d'approbation : Sans réserve	Approuvé	Vérifié par	UNION - DISCIPLINE - TRAVAIL MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DE L'ENTRETIEN ROUTIER	AGENCE DE GESTION DES ROUTES	CONSEIL INGÉNIERIE RECHERCHE ET MANAGEMENT DES AFFAIRES	SOCIETE DE CONSTRUCTION ET RENOVATION	TYPE :	RAP
OUATTARA N'Golo		ALLOU Boniface	KOUAME Roger	MAITRE D'OUVRAGE	MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE	MAITRE D'OEUVRE	Entreprise d'exécution	ECHELLE :	1/1
								EDITION :	FEVRIER 2026