

**ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES DES TRAVAUX DE
RÉHABILITATION DE LA ROUTE BALLEYARA-FILINGUÉ
(NIGER) : TRONÇON DU PK 45+000 AU PK 55+000.**

**MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT**

OPTION : GÉNIE CIVIL / ROUTES ET OUVRAGES D'ART

Présenté et soutenu publiquement le 25/06/2018 par :

BANAOU DJIBO Kader

Travaux dirigés par :

Dr. LAWANE GANA Abdou
Chef de département Génie Civil et Hydraulique
à 2iE

M. DIARRA Cheickna
Chef de la mission de contrôle AIC
PROGETTI

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. Angelbert Chabi BIAOU

Membres et correcteurs : Dr. Abdou LAWANE GANA
M. Amadou SIMAL
M. Arnaud OUEDRAOGO

Promotion 2017/2018

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail à mon créateur pour tous les bienfaits dont il ne cesse de m'accorder et par la grâce de qui ce travail a pu être accompli.

Je le dédie également à ma famille, spécialement à mon père **M. BANAOU DIBO** et à ma mère **Mme HAOUA GOUMBI** pour leur soutien indéfectible et les sages conseils qu'ils m'ont promulgués tout au long de mon cursus académique.

Je le dédie aussi à mon frère **ABOUBACAR** et mes sœurs **FARIDA** et **RACHIDA** pour leur affection et soutien.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à l'aboutissement de ce travail. Nous tenons particulièrement à remercier les personnes suivantes :

- ✚ Monsieur Abdel GOUSMANE, Chef du cabinet du Ministre de l'Équipement, pour sa disponibilité et ses efforts pour l'obtention de ce stage ;
- ✚ Monsieur ABBA NAKOIRA Mahamadou Bachirou, Directeur des Grands Travaux au ministère de l'équipement, pour avoir facilité l'obtention de ce stage ;
- ✚ Monsieur DIARRA Cheickna, mon encadreur et Chef de la mission de contrôle AIC PROGETTI, pour sa disponibilité malgré ses nombreuses responsabilités, son hospitalité, ses nombreuses explications et les sacrifices consentis tout le long de ce stage ;
- ✚ Monsieur Abdou LAWANE GANA, Chef de département Génie Civil et Hydraulique, mon encadreur interne 2iE, pour sa disponibilité et son encadrement.
- ✚ Monsieur ALZOUMA, Ingénieur géotechnicien Art et Génie, pour la documentation fournie et sa disponibilité.
- ✚ Monsieur ISSAKA, Ingénieur topographe, pour les documents qu'il a bien voulu mettre à ma disposition ;
- ✚ Monsieur LAOULI, Conducteur des travaux Art et Génie, pour sa disponibilité et tous les conseils prodigués ;
- ✚ A la brigade topographique de la mission de contrôle ;
- ✚ A tout le personnel du laboratoire géotechnique ;
- ✚ A la famille DIARRA, pour leur hospitalité et leur convivialité tout le long de ce stage ;

Par ailleurs, à tous ceux et toutes celles dont les noms n'ont pu être cités, qu'ils trouvent en ces mots, l'expression de notre profonde gratitude.

RÉSUMÉ

Le présent projet s'inscrit dans le cadre de la politique du gouvernement de la république du Niger à travers son volet renaissance qui a adopté un ambitieux programme de renforcement et de préservation des routes.

Ce mémoire porte sur l'étude des travaux de réhabilitation de la route Balleyara-Filingué : tronçon du PK 45+000 au PK 55+000. Le niveau de dégradation rencontré sur cette route est très élevé et est dû à un manque d'entretien de la part des collectivités territoriales.

La méthodologie utilisée pour qualifier le niveau de dégradation de la chaussée existante est la méthode VIZIR. Cette méthode permet d'aboutir à un indice de qualité de la chaussée existante Q4. Cet indice de qualité, combiné à la classe de trafic T2 permirent de retenir un renforcement en graveleux latéritiques naturels d'une épaisseur de 20 cm, sur les couches de fondation et de base existante d'épaisseur respective 15 cm, préalablement recyclées.

L'assainissement routier a permis d'adopter un dalot cadre à trois ouvertures au PK53+860 pour évacuer le débit d'eau traversant jadis la chaussée. Les signalisations routières verticales et horizontales ont été placées à différents tronçons et points de la route pour garantir la sécurité.

Une étude d'impact environnemental a permis d'identifier et d'évaluer les impacts positifs et négatifs sur le projet Ainsi des mesures d'atténuations ont été proposées pour que le projet s'inscrive dans la logique du développement durable.

Tout projet a un coût, celui-ci ne faisant pas exception, la somme de deux milliards huit cent quatre-vingt-neuf million sept cent deux mille huit cent francs CFA (2 889 702 801 francs CFA) est arrêtée via une étude quantitative et estimative pour couvrir l'ensemble des travaux qui seront menés.

Mots clés : Réhabilitation ; Renforcement ; Chaussée ; Méthode VIZIR.

ABSTRACT

This project is part of the policy of the Government of the Republic of Niger through its renaissance component which has adopted an ambitious program of strengthening and preservation of roads.

This thesis focuses on the study of rehabilitation works on the Balleyara-Filingué road: section from PK 45 + 000 to PK 55 + 000. The level of degradation encountered on this road is very high and is due to a lack of maintenance on the part of local authorities.

The methodology used to qualify the level of degradation of the existing pavement is the VIZIR method. This method leads to an existing Q4 pavement quality index. This quality index, combined with the T2 traffic class, made it possible to retain a reinforcement in natural lateritic gravel with a thickness of 20 cm, on the existing 15 cm thick base and base layers, previously recycled.

Road sanitation has made it possible to adopt a frame with three openings at PK53 + 860 to evacuate the flow of water that once crossed the roadway. Vertical and horizontal road signs have been placed at different sections and points of the road to ensure safety.

An environmental impact study made it possible to identify and evaluate the positive and negative impacts on the project. Thus, mitigation measures were proposed to make the project fit into the logic of sustainable development.

Any project has a cost, the latter being no exception, the sum of two billion eight hundred eighty-nine million seven hundred and two thousand eight hundred francs CFA (2 889 702 801 CFA francs) is stopped via a quantitative study and estimated to cover all the work that will be carried out.

Keywords : rehabilitation ; enhancement ; Pavement; VIZIR method

LISTE DES ABRÉVIATIONS

BA : Béton Armé

BAEL : Béton Armé aux Etats Limites

BV : Bassin Versant

CAM : Coefficient d'Agressivité Moyen

CBR : Californian Bearing Ratio

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

ELS : Etat limite de service

ELU : Etat Limite Ultime

FED : Fonds Européen de développement

GNT : Grave Non Traitée

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et chaussées

LNTPB : Laboratoire Nationale des travaux Publics et du Bâtiment

NE : Nombre d'Essieu

OPM : Optimum Proctor modifié

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

PK : Point Kilométrique

PL : Véhicule Poids Lourd

RN : Route nationale

SETRA : Service d'Études techniques des Routes et Autoroutes

TJMA : Trafic Journalier Moyen Annuel

TN : Terrain naturel

TABLES DES MATIÈRES

DÉDICACES.....	i
REMERCIEMENTS	ii
RÉSUMÉ.....	iii
ABSTRACT	iv
LISTE DES ABRÉVIATIONS	v
LISTE DES FIGURES.....	ix
LISTE DES TABLEAUX	x
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS	2
1.1. Présentation de la zone d'étude	2
1.1.1. Localisation de la zone d'étude	2
1.1.2. Milieu biophysique.....	2
1.1.3. Milieu humain	3
1.2. Description du projet.....	4
1.2.1. Justification du projet	4
1.2.2. Objectifs et résultats attendus	5
1.2.3. Cadre logique	6
1.3. Caractéristiques géométriques de la route existante.....	7
1.3.1. Choix de la norme	7
1.3.2. Classification technique des routes	7
1.3.3. Géométrie éclatée	9
CHAPITRE II : AUSCULTATION DE LA CHAUSSÉE EXISTANTE.....	12
2.1. Historique et description de la route.....	12
2.2. Analyse des relevés des dégradations.....	12
2.2.1. Généralités.....	12
2.2.2. Classification des dégradations	12
2.2.3. Quantification des dégradations	13
2.3. Résultats des relevés des dégradations	14
2.4. Détermination de l'indice de fissuration et l'indice de déformation	14
2.5. Détermination de l'indice de dégradation (Is).....	15

2.6.	Détermination de la note de qualité.....	16
2.6.1.	Déflexion à la poutre BENKELMAN.....	17
CHAPITRE III : ETUDE GÉOTECHNIQUE ET DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSÉE		18
3.1.	Reconnaissance des sols sur la chaussée existante.....	18
3.1.1.	Les essais réalisés.....	18
3.1.2.	Résultats et analyse des essais.....	19
3.2.	Proposition de matériaux de chaussée et dispositions constructives.....	22
3.3.	Emprunts latéritiques pour matériaux de couche de base et de fondation.....	22
3.3.1.	Carrière de Louma (PK 55+400).....	22
3.3.2.	Carrière de Gao (PK 66+00).....	22
3.4.	Carrière de roches massives	23
3.5.	Etude du trafic	23
3.5.1.	L'analyse des trafics existants.....	23
3.5.2.	Trafic de l'année de mise en service	25
3.5.3.	Détermination du trafic cumulé en poids lourds (méthode CEBTP).....	26
3.5.4.	Détermination de la classe du trafic et calcul du trafic équivalent PL	26
3.6.	Dimensionnement de la chaussée.....	26
3.6.1.	Dimensionnement avec la méthode empirique.....	26
3.6.2.	Dimensionnement du renforcement avec la méthode rationnelle.....	27
CHAPITRE IV : ASSAINISSEMENT DE LA ROUTE		32
4.1.	Etude hydrologique	32
4.1.1.	Contrôle des données pluviométriques.....	32
4.1.2.	Hydrologie statistique.....	33
4.1.3.	Hydrologie déterministe	34
4.2.	Etude hydraulique.....	44
4.2.1.	Types de dalot	44
4.3.	Dimensionnement structural du dalot (3 × 2 × 1).....	47
4.3.1.	Pré dimensionnement du dalot	47
CHAPITRES V : SIGNALISATION ET SÉCURITÉ ROUTIÈRE, ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET COUT DU PROJET		49
5.1.	Signalisation et sécurité routière	49

5.1.1.	Signalisation temporaire.....	49
5.1.2.	Signalisation permanente.....	50
5.2.	Etude d'impact environnemental.....	51
5.2.1.	Cadre politique, juridique et institutionnel.....	51
5.2.2.	Identification des impacts du projet.....	54
5.2.3.	Evaluation des impacts du projet.....	54
5.2.4.	Mesures d'atténuation.....	56
5.3.	Études estimatives.....	60
CONCLUSION GÉNÉRALE.....		61
BIBLIOGRAPHIE.....		62

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation de la zone de projet	2
Figure 3: Limites d'Atterberg de la couche de base	20
Figure 5: Portance CBR de la couche de base	20
Figure 4: Analyse granulométrique couche de base.....	20
Figure 2: Proctor modifié de la couche de base	20
Figure 6: Limites d'Atterberg de la couche de fondation	21
Figure 7:Portance CBR de la couche de fondation	21
Figure 8: Proctor modifié de la couche de fondation	21
Figure 9:Récapitulatif dimensionnement méthode empirique	27
Figure 10:Structure de chaussée retenue	31
Figure 11:Moyenne mobile	33
Figure 12:Délimitation bassin versant.....	35
Figure 13:Coefficient de ruissellement	38

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Cadre logique	6
Tableau 2: : Principales caractéristiques des types de route (source : SETRA, ARP,1994).....	8
Tableau 3: Caractéristiques géométriques de la route existante	10
Tableau 4:Niveau de gravité des dégradations de type A	13
Tableau 5:Niveau de gravité des dégradations de type B	14
Tableau 6:Résultats des relevés des dégradations.....	14
Tableau 7:Indice de fissuration	15
Tableau 8:Indice de déformation.....	15
Tableau 9:Indice de dégradation	15
Tableau 10:Indice de dégradation corrigé.....	16
Tableau 11:Grille détermination de l'indice de qualité (CEBTP – LCPC, « Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux », Mai 1985).....	17
Tableau 12:Déflexions caractéristiques	17
Tableau 13:Résultats comptages poids lourd	25
Tableau 14:Classes de trafic (CEBTP, Guide Pratique de Dimensionnement des Chaussées,1984).....	26
Tableau 15: Catégories de GNT.....	28
Tableau 16:Calcul du module de Young.....	29
Tableau 17:valeurs admissibles des contraintes et des déformations	30
Tableau 18:Vérification des contraintes et déformations.....	31
Tableau 19:Caractéristiques des données pluviométriques de Filingué.....	34
Tableau 20:Paramètres physiques du bassin versant.....	36
Tableau 21: Intervalles de confiances à 95%	40
Tableau 22:Paramètres de l'équation de Kr en fonction en zone sahélienne en fonction la perméabilité et de l'indice de pente	42
Tableau 23:Coefficient de pointe de la crue décennale.....	43
Tableau 24:Récapitulatif des débits calculés.....	44
Tableau 25:Récapitulatif du ferrailage du dalot type 3*2*1	48
Tableau 26:Cadre juridique national	52
Tableau 27:Bilan des impacts négatifs.....	55
Tableau 28:Mésures d'atténuation des impacts négatifs	57
Tableau 29:Répartition du coût par poste de travail	60

INTRODUCTION

La route est une voie de communication terrestre de première importance qui constitue un facteur de développement économique et social non négligeable permettant le désenclavement des régions.

Vaste pays du sahel, le Niger est un territoire enclavé d'une superficie de 1 267 000 Km² pour une population estimée à 19 865 068 millions en 2016 selon l'institut national de la statistique. Le développement du réseau routier pour ce vaste pays est très limité, 24.18% de ce réseau routier est revêtu en 2014 (Direction générale des travaux publics). En effet la grande partie du réseau est dégradée avec comme conséquences l'augmentation des coûts du transport et l'allongement de la durée des trajets.

Le présent projet s'inscrit dans le cadre de l'ambitieux programme de réhabilitation des routes adopté par les autorités de la 7^{ème} république. Il doit permettre l'amélioration du réseau routier national, et plus spécifiquement satisfaire la demande de transport, accroître les échanges commerciaux à l'intérieur du pays et améliorer les conditions et les coûts des transports.

C'est dans ce cadre que s'insère notre étude qui a pour thème : « Etudes techniques détaillées des travaux de réhabilitation de la route Balleyara – Filingué (Niger) : tronçon du PK 45+000 au PK 55+000. Il sera question d'apporter une solution permettant la remise en état du tronçon actuel. Le présent mémoire qui restitue l'étude menée sur ce tronçon est articulé en cinq (05) chapitres :

- Le premier chapitre « généralités » présente la zone d'étude, le projet, le cadre logique de l'étude ;
- Le deuxième chapitre « auscultation de la chaussée existante » traite du niveau de dégradation de la chaussée existante pour permettre le choix des aménagements futurs ;
- Le troisième chapitre s'attaque aux études géotechniques de l'axe de la route et des sites d'emprunts pour proposer un nouveau dimensionnement de la chaussée ;
- Le quatrième chapitre « assainissement de la route » s'intéresse à l'étude hydrologique et hydraulique pour permettre le dimensionnement des ouvrages de franchissement ;
- Enfin, le cinquième chapitre « signalisation et sécurité routière, étude d'impact environnemental et coût du projet » fait la synthèse des mesures sécuritaires et environnementales proposées ainsi que le coût global du projet.

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS

Ce chapitre présente les généralités de la zone d'étude, notamment en fournissant des détails sur la localisation du projet et les milieux biophysiques et humains. Il décrit également la problématique, les objectifs poursuivis et les résultats attendus par le projet. Il est aussi fait cas des caractéristiques géométriques de la route existante.

1.1. Présentation de la zone d'étude

1.1.1. Localisation de la zone d'étude

La zone du projet se situe entre les latitudes 13°45' à 14°25' Nord et les longitudes 2°55' à 3°20' Est, dans le département de Filingué, Région de Tillabéry. La longueur de la route existante s'élève à 83 Km à partir de la sortie de Balléyara, cependant la présente étude ne concerne que le tronçon allant du PK 45+000 au PK 55+000.



Figure 1: Localisation de la zone de projet

1.1.2. Milieu biophysique

1.1.2.1. Climat

Le climat est de type sahélien avec des précipitations moyennes annuelles qui diminuent du Sud au Nord de 250 à 400 mm. Les températures moyennes varient de 18° en janvier à 45° C en avril. Les vents dominants sont : l'harmattan (vent chaud et sec) et la mousson (vent chargé d'humidité et annonciateur des pluies).

C'est l'alternance de deux saisons bien définies au cours de l'année qui caractérisent le climat de la zone d'étude à savoir :

- ✚ Une saison des pluies très courte de trois à quatre mois allant de juin-juillet à août ou septembre, et
- ✚ Une longue saison sèche qui dure huit à neuf mois de l'année avec des variantes sèche et chaude.

1.1.2.2. *Reliefs et sols*

Le relief de la zone du projet qui est à cheval entre les départements de Balleyara et Filingué se compose de trois grands ensembles à savoir :

- ✚ La chaîne de plateaux traversant le centre du sud au nord ;
- ✚ Le système dunaire occupant la partie est, et nord et
- ✚ Les collines vers l'ouest encaissant des petites vallées.

Les plateaux à sols rocailleux ou glacifiés sont impropres à l'agriculture dans leur majorité. Ils sont cependant occupés par endroit de quelques reliques de formations naturelles composées en majorité de combrétacées et de formations artificielles d'espèce d'Acacia.

1.1.2.3. *Ressources en eau*

Les ressources en eau sont représentées par les eaux superficielles et les eaux souterraines. Dans le département de Balleyara, l'hydrologie est composée des nappes phréatiques qui affleurent au niveau du Dallol et des aquifères relevant du Continental Terminal et du Continental Intercalaire (PDC Tagazar, 2012).

Dans le département de Filingué, la profondeur de la nappe phréatique varie en fonction du terrain. Sur le plateau, elle est assez profonde dépassant souvent les soixante (60) mètres, alors que dans la bande sud et sud-est, elle est peu profonde avec des nappes alluviales et les nappes fossiles profondes. Ainsi, en termes de potentialités, le département regorge d'énormes réserves hydriques.

On recense pour les deux départements, des mares qui sont pour la plupart temporaires et semi-permanentes et qui font l'objet de pêches saisonnières organisées par les riverains. Du fait de la saisonnalité des eaux superficielles, l'exploitation de l'eau pour les besoins des travaux du projet se fera à travers des forages qui seront mis en place.

1.1.2.4. *Faune*

Les ressources fauniques, se font de plus en plus rares du fait de la colonisation grandissante de leurs habitats avec l'avancée du front agricole conjuguée à l'aridité du climat. On observe toutefois (selon les populations) la présence de quelques grands oiseaux sur les plateaux comme les outardes, ou la pintade sauvage. Les grands mammifères sont cependant très rares.

On note la présence des reptiles et quelques petits rongeurs tels que l'écureuil.

1.1.3. Milieu humain

1.1.3.1. *Mouvements migratoires*

L'exode dans la zone du projet est très fréquent. En effet, dans les départements de Balleyara et Filingué, la migration économique est un phénomène qui fait suite à l'insuffisance de revenu annuel d'un individu pour couvrir tous ces besoins.

Dans la Commune Rurale de Tagazar par exemple, l'exode à l'intérieur du pays notamment vers la capitale Niamey est très important. En plus, il va au-delà des frontières du pays vers les pays côtiers comme le Ghana, la Côte d'Ivoire, le Bénin et le Togo. Autrefois, la Lybie et le Mali étaient des destinations très prisées.

1.1.3.2. Activités socioéconomiques

L'agriculture et l'élevage constituent les principales activités qui occupent la majeure partie de la population. Les activités de maraîchage se sont développées ces derniers temps avec l'appui des différents partenaires au développement à travers divers projets.

Les femmes, qui représentent plus de 50% de la population, sont beaucoup présentes dans l'élevage et les travaux agricoles notamment les travaux champêtres où elles aident leurs maris. Le maraîchage, qui se pratique en contre saison, enregistre des productions d'importantes quantités de pomme de terre et de patate douce.

L'élevage est la seconde activité développée, et constitue la principale source de revenus et d'épargne. Par ordre d'importance, l'élevage porte sur les bovins, ovins, caprins, camélins, asins et la volaille. Compte tenu de la forte pression agricole sur les aires de pâturage, la transhumance est beaucoup pratiquée et consiste à conduire les animaux vers le Nord en zone pastorale en début de la saison des pluies, où ils passent toute la période avant de redescendre au sud, après les récoltes. Néanmoins, l'élevage est pratiqué sous forme d'embouche, une façon semi-intensive dans presque tous les foyers, et notamment par les femmes.

Le commerce est très développé avec un nombre assez important de marchés hebdomadaires le long de la route. C'est ce qui permet des échanges avec les autres régions, mais aussi et surtout avec le Nigeria voisin au sud, et d'autres pays de la sous-région tels le Ghana, le Bénin et la Côte D'Ivoire. Ces échanges intéressent surtout l'exportation d'animaux sur pied, les cuirs et peaux, le niébé pour le Nigeria.

L'importation intéresse surtout les produits manufacturés en provenance des pays côtiers de la sous-région (Nigeria, Bénin, Togo, Ghana, Côte d'Ivoire, Algérie, la Libye).

L'artisanat est un secteur en plein essor, et contribue de façon substantielle à l'amélioration des revenus des populations rurales. Les infrastructures sanitaires sont concentrées dans les gros centres qui sont souvent difficiles d'accès à cause du manque de routes et pistes secondaires adéquates.

1.2. Description du projet

1.2.1. Justification du projet

Vaste pays enclavé du Sahel s'étendant sur une superficie de 1 267 000 km², le Niger a une population estimée en 2016 à dix-neuf millions huit cent soixante-cinq mille soixante-huit (19.865.068) selon l'Institut National de la Statistique. Ces facteurs d'enclavement et l'immensité du territoire constituent des handicaps majeurs pour le développement de l'économie nationale, largement dominée par le secteur primaire, tributaire des aléas climatiques, avec un système de transport de produits pondéreux de faible valeur unitaire. Les

coûts de transports sont élevés du fait de l'inexistence d'infrastructures diversifiées comme les voies ferrées, les voies navigables et une faible desserte du transport aérien intérieur et régional.

Avec les multiples problèmes de développement auxquels est confronté le pays, notamment l'accès à l'eau potable, l'éducation, la santé, etc., l'état se trouve dans l'impossibilité de financer sur ses propres ressources l'entretien routier, et encore moins, la construction et/ou la réhabilitation d'infrastructures routières du réseau prioritaire qui se trouve en partie dégradé avec comme conséquence, une augmentation des coûts du transport et l'allongement de la durée des trajets entre autres.

Pour pallier aux difficultés du secteur des transports, le gouvernement a adopté la Stratégie Nationale des Transports en 2004, avec l'appui des bailleurs de fonds pour sa mise en œuvre à travers le Programme Sectoriel des Transports (PST).

C'est dans ce cadre que le Programme Indicatif National du 10^e FED a prévu un secteur de concentration intitulé « Soutien à la croissance en zone rurale et à l'intégration régionale » dans lequel un important volet est consacré à la réhabilitation des routes bitumées et la mise en œuvre des mesures d'accompagnement. Ce programme s'inscrit parfaitement dans celui de la renaissance du Niger et la stratégie «3 N », « Les Nigériens, nourrissent les Nigériens », qui a adopté un ambitieux programme de renforcement et de préservation des routes.

Pour le Niger, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur du pays, la commercialisation des produits agro-sylvo-pastoraux et halieutiques et les échanges socioculturels sont des voies d'accès au développement qui passent nécessairement par l'amélioration du réseau routier.

C'est pourquoi, le projet de réhabilitation de la route Balleyara-Filingué représente dans la région de Tillabéry, une véritable opportunité d'échanges commerciaux et au-delà, une priorité nationale, retenue par les autorités de la 7^e république.

1.2.2. Objectifs et résultats attendus

1.2.2.1. Objectifs

L'objectif général du projet est de contribuer à l'amélioration du réseau routier national en vue de réduire le désenclavement à l'intérieur, tout comme à l'extérieur du pays.

De manière spécifique, le projet vise à :

- ✚ Satisfaire la demande de transport de la zone ;
- ✚ Impulser le développement socio-économique et culturel de la zone d'insertion du projet ;
- ✚ Accroître les échanges commerciaux à l'intérieur du pays et avec les pays de la sous-région ;
- ✚ Mettre en valeur les productions agricoles de la zone ;
- ✚ Améliorer les conditions et les coûts des transports.

1.2.2.2. Résultats attendus

Les principaux résultats attendus de ce projet sont que :

- ✚ La demande de transport de la zone est satisfaite ;
- ✚ Le développement socio-économique et culturel de la zone du projet est impulsé ;
- ✚ Les échanges commerciaux à l'intérieur du pays et avec les pays de la sous-région est accru ;
- ✚ Les productions agricoles de la zone sont mises en valeur ;
- ✚ Les conditions et les coûts des transports sont améliorés.

1.2.3. Cadre logique

L'approche méthodologique de cette étude est consignée dans le cadre logique présenté dans le tableau N°1 ci-dessous. Ce tableau présentera de façon logique les objectifs, les résultats, les activités et leur lien de causalité.

Tableau 1: Cadre logique

Objectifs spécifiques	Activités	Résultats souhaités
Généralités	Visite sur le terrain et collecte des données auprès des services spécialisés	Cheminement fiable décrivant la zone d'étude et le projet
Caractéristiques géométriques de la route	Justification de la géométrie adoptée (détermination des paramètres géométriques)	Profil en long, profil en travers, tracé en plan
Auscultation de la chaussés existante	Analyse des données recueillies lors des campagnes de détermination du niveau de dégradation de la chaussée existante	Note de qualité de la chaussée existante et choix de solutions de réhabilitation
Etudes géotechnique et dimensionnement	Etude du trafic, simulation avec le logiciel alizé, vérification du dimensionnement	Classe du trafic, choix des sites d'emprunt, épaisseur du renforcement
Etudes hydrologique et hydraulique	Contrôle des données pluviométriques, détermination des débits à évacuer, dimensionnement hydraulique des ouvrages	Section des ouvrages, section d'aciers des ouvrages
Signalisation, sécurité routière et étude d'impact environnemental	Etude des signalisations à mettre en place, Identification et évaluation des impacts environnementaux	Type et emplacement des signalisations verticales et horizontales, mesures d'atténuation des impacts négatifs du projet

Etudes quantitative et estimative	Détermination des quantités à mettre en place	Coûts global prévisionnel des travaux
--	---	---------------------------------------

1.3. Caractéristiques géométriques de la route existante

L'élaboration de tout projet routier commence par la recherche de l'emplacement de la route dans la nature et son adaptation la plus rationnelle à la configuration du terrain.

Ceci est un justificatif du choix du tracé existant qui n'a pas été modifié lors des travaux de réhabilitation de notre route.

1.3.1. Choix de la norme

Les normes françaises utilisables au Niger disposent de 3 instructions ministérielles définissant les conditions techniques dans lesquelles doivent être aménagées les routes.

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

Dans notre cas nous utiliserons l'aménagement des routes principales (ARP) qui est en adéquation avec la route que nous avons.

1.3.2. Classification technique des routes

1.3.2.1. Les choix du type et de la catégorie de la route

Un type de route (du point de vue technique de la conception) est défini par un ensemble de contraintes qui permettent surtout d'assurer la cohérence entre les interfaces de la route avec son environnement (échanges, accès, agglomérations, etc...) d'une part et les principales caractéristiques de l'aménagement d'autre part.¹

Le choix du type de route vise à assurer l'adéquation de la route aux fonctions que l'on assure ou privilégier.

A l'intérieur de chaque type de route, on distingue quelques catégories (ou sous-types) entre lesquelles il existe des différences qui concernent principalement les caractéristiques techniques minimales du tracé en plan et du profil en long.

Les principales caractéristiques qui correspondent aux différents types de route sont décrites dans le tableau N°2 ci-dessous :

¹ SETRA, « Aménagement des routes principales », Aout 1994.

Tableau 2 : Principales caractéristiques des types de route (source : SETRA, ARP, 1994)

Types de routes	R (routes multifonctionnelles)		T (transit)	L (liaison)
	Routes	Artères interurbaines	Routes express (à une chaussée)	Autoroutes
Nombre de chaussées	1 chaussée (chaussée unique à une ou deux voies)	2 chaussées	1 chaussée	2 chaussées
Carrefours	Plans ordinaires ou giratoires	Giratoire ou plans, sans traversée du TPC	Dénivelés	Dénivelés
Accès	Selon les cas, sans accès ou accès possibles	Si accès, pas de traversée du TPC	Sans accès riverain	Sans accès riverain
Limitation de vitesse hors agglomération	90km/h	110 km/h Ou 90 km/h	90 km	130 km/h Ou 110km/h
Traversée d'agglomérations	Oui, éventuellement		Non	Non
Catégories possibles	R 60 Ou R 80		T 80 ou T 100	L 100 ou L 120 (L 80)
Domaine d'emploi (à titre indicatif)	Fonction de la liaison à courte ou moyenne distance, et prise en compte des usages liés à l'environnement	Fonction de liaison à moyenne ou grande distance privilégiée		
Traffic à terme	Trafic moyen (1 chaussée)	Fort trafic (2 chaussées)	Trafic moyen	Fort trafic
Types de "sécurité des routes et des rues"	Voies principales en milieu rural		Voies isolées de leur environnement	

1.3.2.2. Les trois types de routes principales interurbaines

- ✚ Les routes de type L : ainsi désignées par référence à la notion de grande liaison, sont les autoroutes.
- ✚ Les routes de type T : pour lesquelles la fonction d'écoulement du trafic de transit à moyenne ou grande distance est privilégiée, sont les « routes express à une chaussée »
- ✚ Les routes de type R, qui constituent l'essentiel des réseaux des voies principales de rase campagne, sont multifonctionnelles : ce sont les artères interurbaines et les routes.²

Au regard de ce qui précède nous arrêtons le choix du type de route, au type R multifonctionnelles et une catégorie R 80 parce qu'on est en contraintes de relief faibles avec une vitesse de référence $V = 100 \text{ Km/h}$ (pour se conformer aux réalités du terrain)

² SETRA.

1.3.3. Géométrie éclatée

Trois éléments géométriques simples permettent de définir la surface gauche de l'espace que constitue la route :

- ✚ **Le tracé en plan** : projection de la route (ou de l'axe) sur un plan horizontal
- ✚ **Le profil en long** : projection de l'axe de la route sur un plan vertical
- ✚ **Le profil en travers** : projection de la route sur un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la route (coupe transversale de la route).

Cette décomposition dite en géométrie éclatée, facilite la visualisation et la construction des surfaces complexes.

1.3.3.1. *Le tracé en plan*

Le tracé en plan est une représentation sur un plan horizontal de l'axe de la route, il est constitué par des alignements droits raccordés par des courbes ; il est caractérisé par la vitesse de référence qui permet de définir les caractéristiques géométriques nécessaires à tout aménagement routier.³

Le tracé en plan d'une route doit permettre d'assurer de bonnes conditions de sécurité et de confort.

L'inconfort de l'utilisateur est d'autant plus important que le rayon des courbes est plus faible, que l'on suppose la courbe parcourue à la vitesse maximale réglementaire ou à la vitesse effectivement adoptée par les usagers. Cela conduit, en fonction de la catégorie de route, à fixer des rayons minimaux.

Cependant l'utilisation fréquente ou systématique de grands rayons de courbure peut se révéler néfaste en aboutissant à une limitation des possibilités de dépassement sur, et en encourageant les usagers à pratiquer une vitesse continuellement élevée, défavorable à la sécurité (accoutumance à la vitesse, diminution de la vigilance).

1.3.3.2. *Le profil en long*

Un profil en long est la représentation d'une coupe verticale suivant l'axe d'un projet linéaire (route, voie ferrée, canalisation, etc...). Le profil en long est complété par des profils en travers qui sont des coupes verticales perpendiculaires à l'axe du projet.

Le profil en long est composé d'éléments rectilignes caractérisés par leur déclivité (pente ou rampe), et des raccordements circulaires caractérisés par leur rayon.⁴

1.3.3.3. *Le profil en travers*

Le profil en travers est une coupe transversale menée selon un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la route projetée. La largeur d'une route c'est-à-dire son profil en travers dépend surtout de l'importance de la circulation, du trafic à écouler.

³ SETRA.

⁴ SETRA.

Connaissant le tracé en plan et le profil en long de la route et d'autre part des renseignements aussi complets que possible sur le trafic, son intensité, sa nature, ses variations annuelles et ses taux de croissance, il est possible de déterminer la largeur de la chaussée pour qu'elle puisse écouler dans des conditions acceptables, les plus fortes circulations raisonnablement prévisibles.⁵

1.3.3.3.1. Les éléments constitutifs du profil en travers

a. La largeur des voies

Théoriquement la largeur minimum d'une voie est de 2.50 m qui est la largeur de gabarit maximum d'un véhicule. Avec 5 m, 2 camions de 2.5 m peuvent se croiser en débordant un peu sur l'accotement mais difficilement à faible vitesse. Pratiquement pour que la circulation s'effectue sur la chaussée, 3 m minimum a été retenue pour la largeur de voie, 3.5 m normalement.

Dans notre cas la largeur d'une voie est égale à 3.5 m.

b. Le nombre de voies

Pour permettre le croisement et le dépassement en tous points, notre route est à deux (2) voies.

c. Accotement

Il comprend une bande dérasée constituée d'une sur largeur de chaussée supportant le marquage de rive et d'une bande stabilisée ou revêtue et la berne. On prendra une valeur de 2×0.5 m.

d. Chaussée

C'est la surface de la route aménagée pour la circulation des véhicules. Au sens structural, c'est l'ensemble des couches de matériaux qui supportent le passage des véhicules.

Nous avons une pente transversale en toit de 2.5%.

e. La plateforme

Surface de la route située entre les fossés ou les crêtes des talus de remblais, comprenant la chaussée et les accotements. Ici cette valeur sera de 8 m.

f. L'emprise

C'est la surface du terrain naturel affecté à la route et à ses dépendances (talus, chemins de désenclavement, exutoires, etc....) limitée par le domaine public.

Le tableau N°3 ci-dessous présente les caractéristiques géométriques de la route existante.

Tableau 3: Caractéristiques géométriques de la route existante

Caractéristiques géométriques	Références	Réalisés
Rase campagne (hors agglomération)		
Vitesse de base	100 Km/h	100 Km/h
Largeur de la plateforme	8 m	8 m

⁵ SETRA.

Revêtement	7 m	7 m
Accotement	2* 0.5	2*0.5
Pente transversale en toit	2.50%	3%
Rayon horizontal minimum	425m	1000m
Rayon horizontal, moyenne	–	4000m
Rayon vertical convexe, min	6000	10000m
Rayon vertical convexe, moy	–	50000m
Rayon vertical concave, min	3000	10000m
Rayon vertical concave, moy	–	50000m
Déclivité max en rampe	5%	2%
Déclivité moyenne en rampe	–	0.50%
Distance minimum de dépassement	–	Assuré sur 95% du tronçon
RV convexe ≥ 17000 et RH ≥ 3000 m		

Une présentation des différents profils en long est faite en [ANNEXE 3](#) et celle du profil en travers type en [ANNEXE 4](#).

CHAPITRE II : AUSCULTATION DE LA CHAUSSÉE EXISTANTE

Cette partie s'intéressera à une brève présentation de la route existante, avec un historique des interventions réalisés mais il sera aussi question de s'intéresser à l'évaluation statistique de la qualité des structures et la détermination globale des travaux d'entretien et de remise en état. L'état réel de dégradation de la chaussée, en évaluant et estimant ces dégradations afin de préconiser des solutions pour une réhabilitation en rapport avec les dégradations constatées.

2.1. Historique et description de la route

Les données historiques des précédentes phases de construction et de réhabilitation peuvent se résumer de la façon suivante :

- ✚ Année de construction : 1983
- ✚ Interventions successives : Point à temps, entretien et réparation des ouvrages d'assainissement, entretien des dépendances.
- ✚ Structure d'origine et revêtement : Revêtement (Enduit Bicouche)
Base en gravier latéritique 15 cm
Fondation en gravier latéritique 15 cm

Sur notre tronçon on remarque des nombreuses réparations, de nombreux nids de poule, l'arrachement des agrégats de l'enduit, un faïençage diffus et des fissurations, etc. en zone de remblai, la route présente des signes d'érosion sur les talus.

2.2. Analyse des relevés des dégradations

2.2.1. Généralités

Les relevés visuels concernent surtout la nature et l'importance des dégradations de surface. La reconnaissance du réseau est effectuée en continu, tout en ne répertoriant que les dégradations répétitives intéressant des sections assez importantes, mais aussi en caractérisant les problèmes majeurs affectant les structures ou les couches de surface.

A partir des relevés de dégradations, on distingue trois catégories de sections de chaussées :

- Les sections en bon état apparent,
- Les sections fissurées ou maillées,
- Les sections plus ou moins déformées.

2.2.2. Classification des dégradations

La méthode VIZIR utilisée dans les travaux d'entretien et de renforcement routier, fournit une typologie des dégradations et pour chacune d'entre elles, trois niveaux de gravité comme indiqué plus haut.

Les dégradations répertoriées dans la méthode VIZIR sont classées en deux (2) catégories : les dégradations de type A et celle de type B.

Les dégradations de type A sont des dégradations issues d'une insuffisance de capacité structurelle de la chaussée. Le type A caractérise un état structurel de la chaussée qui est soit lié à l'ensemble des couches et du sol, soit seulement lié à la couche de surface. Ces dégradations sont au nombre de quatre :

- Les déformations,
- L'orniérage,
- Les fissurations (de fatigue),
- Le faïençage

Les dégradations de type B, elles engendrent des réparations qui généralement ne sont pas liées à la capacité structurelle de la chaussée. Leur origine est soit un défaut de mise en œuvre, soit un défaut de qualité d'un produit, soit une condition locale particulière que le trafic peut accentuer. On distingue parmi les dégradations de type B :

- Les fissurations, hors fissures de fatigue, c'est-à-dire les fissures longitudinales de joint, les fissures transversales de retrait thermique, les fissures longitudinales ou transversales de retrait d'argile (dessiccation),
- Les nids de poule,
- Les arrachements (désherbage, plumage, pelade, peignage),
- Les mouvements de matériaux (ressuage).

Les différentes familles de dégradations sont présentées en [ANNEXE 1](#).

2.2.3. Quantification des dégradations

Pour chaque type de dégradation, il lui est associé un niveau de gravité. Les tableaux N°4 et N°5 suivants précisent les critères qui permettent d'attribuer les trois niveaux de gravité aux différentes dégradations.

Tableau 4: Niveau de gravité des dégradations de type A

Gravité / Dégradation	1	2	3
Déformation orniérage	Sensible à l'usager mais peu importante $f < 2 \text{ cm}$	Graves déformations, affaissements localisés ou orniérage $2 \leq f \leq 4$	Déformations affectant gravement la sécurité ou le temps de parcours $f \geq 4 \text{ cm}$
Fissuration	Fissures fines dans les traces de roues ou dans l'axe	Fissures franchement ouvertes et (ou) souvent ramifiées	Fissures très ramifiées et (ou) très ouvertes ; lèvres parfois dégradées
Faiençage	Faiençage fin sans départ de matériaux, maillage large ($> 50 \text{ cm}$)	Faiençage plus serré (< 50), avec parfois départ de matériaux, arrachements et nid de poule en formation	Faiençage très ouvert, découpage en pavés ($< 20 \text{ cm}$), avec parfois départ de matériaux

Tableau 5: Niveau de gravité des dégradations de type B

Gravité Dégradation	1	2	3
Fissure longitudinale de joint	Fine et unique	Large (1 cm ou plus) sans arrachement, ou Fine ramifiée	Large avec épaufrures des lèvres, ou Large ramifiée
Nid de poule	<ul style="list-style-type: none"> • Quantité < 5 • Taille φ 30 cm maxi 	5 à 10 ou φ 30 φ 100	> 10 ou φ 30 φ 100
Arrachements :	Pour 100 ml de chaussée		
<ul style="list-style-type: none"> • Désenrobage, • Plumage, • Pelade 	Ponctuels sans apparition de la couche de base	Continus ou ponctuels avec apparition de la couche de base	Continus avec apparition de la couche de base
Mouvements de matériaux : ressuage	Ponctuel	Continus sur une bande de roulement	Continus sur une bande de roulement et très marqués

2.3. Résultats des relevés des dégradations

Le tableau N°6 ci-dessous résume les dégradations rencontrées ainsi que leur gravité.

Tableau 6: Résultats des relevés des dégradations

Catégories	Etendue (%)	Gravité 1 (%)	Gravité 2 (%)	Gravité 3 (%)
Type A				
Déformations	94.27	9.28	59.13	31.59
Fissurations et faïençage	69.93	Pas observée	67.97	32.03
Réparations	75.89	8.43	10.49	75.89
Type B				
Nids de poule	Ponctuels	26.53	13.61	59.86
Épaufrures des rives	87.27	68.83	8.91	22.27
Accotement gauche	95.21	28.98	24.07	46.95
Accotement droit	93.47	38.22	21.40	40.38

2.4. Détermination de l'indice de fissuration et l'indice de déformation

Ils sont obtenus à partir des quatre (4) groupes de dégradations :

- Fissuration et faïençage ;
- Déformation et orniérage ;

✚ Faïençage.

On détermine d’abord l’indice de fissuration (if) qui dépend de la gravité et de l’étendue de la fissuration ou du faïençage sur la longueur de route considérée. On calcule ensuite l’indice de déformation (id) qui dépend également de la gravité et de l’étendue de la déformation et de l’ornièrage.⁶

Les tableaux N°7 et N°8 permettent de déterminer les indices de fissuration et de déformation en fonction de l’étendu des dégradations et de leur gravité.

Tableau 7:Indice de fissuration

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

Tableau 8:Indice de déformation

Indice de déformation (id)	Etendu		0 à 10%	10 à 50%	> 50%
	Gravité				
1	1	2	1	2	3
2	2	3	2	3	4
3	3	4	3	4	5

L’indice de fissuration vaut 4 et celui de déformation 4 également.

2.5. Détermination de l’indice de dégradation (Is)

La combinaison des deux indices (if) et (id) conduit à un premier indice qui note la qualité de la chaussée noté (Is) indice de dégradation. ⁷Le tableau N°9 récapitule la méthode employée pour déterminer l’indice de dégradation (Is).

Tableau 9:Indice de dégradation

if \ id	0	1 à 2	3	4 à 5
0	1	2	3	4
1 à 2	3	3	4	5
3	4	5	5	6
4 à 5	5	6	7	7

⁶ CEBTP - LCPC, *Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux*, 1985.

⁷ CEBTP - LCPC, 52.

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

- Bon : 1 ;
- Médiocre : 2-3 ;
- Mauvais : 4-5 ;
- Très mauvais : 6-7.

L'indice de dégradation ($I_s = 7$) obtenu, il reste les éventuelles corrections par le taux de réparation. Le tableau N°10 ci-dessous met en évidence les cas où il faut tenir en compte les réparations.

Tableau 10: Indice de dégradation corrigé

Etendu \ Gravité	0 à 10 %	10 à 50 %	> 50%
1	0	0	0
2	0	0	+1
3	0	+1	+1

L'indice de dégradation (I_s) étant plafonné à 7, sa valeur finale restera donc égale à 7.

2.6. Détermination de la note de qualité

La combinaison de l'état apparent et la déflexion permet de donner un indice de qualité Q des sections qui prend en compte les seuils de déflexions reflétant la portance de la structure et la qualité de l'état apparent. L'exploitation de la déflexion se fait par son classement en trois catégories, déterminées par deux seuils de déflexion d_1 et d_2 dépendant de nombreux facteurs tels que l'environnement climatologique, la nature et l'épaisseur des chaussées etc.⁸

- ✚ d_1 représente la valeur au-dessous de laquelle la chaussée se porte généralement bien ;
- ✚ d_2 la valeur au-dessus de laquelle on considère que la structure présente de sérieux défauts de portance.

Les niveaux d_1 et d_2 varient d'ailleurs suivant la situation géographique et climatique. On situe ces niveaux par l'expérience, d'où les valeurs ci-après ont été retenues pour le Niger : $d_1 = 50$ et $d_2 = 100$.

Cette combinaison permet sur la base de la grille de décision représentée par le tableau N°11 ci-dessous d'orienter le choix des solutions.

⁸ CEBTP - LCPC, 54.

Tableau 11: Grille détermination de l'indice de qualité (CEBTP – LCPC, « Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux », Mai 1985)

Déflexion État apparent	Faible	d1	d2	Élevée
Bon 1	Q1	Q2	Renforcement	
Fissuré non déformé 2-3	Q2	Q3		
Déformé et fissuré 4-7	Q3	Q4	Entretien	

2.6.1. Déflexion à la poutre BENKELMAN

Les mesures de déflexions ont été faites à l'aide d'un camion chargé à 13 tonnes sous essieu arrière à deux roues jumelées. Le tableau N°12 résume les déflexions mesurées le long du tronçon de notre projet.

Tableau 12: Déflexions caractéristiques

PK (Km)		Longueur (Km)	Déflexions caractéristiques (LNTPB)	Indice de qualité
Début	Fin			
46	47.2	1.2	76.42	Q4
47.2	49.8	2.6	95.48	Q4
49.8	56	6.2	66.92	Q4

En conclusion, les valeurs des mesures de déflexion in-situ sont inférieures à d2, l'état apparent de la chaussée est déformé et fissuré car l'indice de dégradation (Is) calculé est égale à 7. La note de qualité de notre tronçon est donc Q4, il s'agit donc d'un renforcement.

CHAPITRE III : ETUDE GÉOTECHNIQUE ET DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSÉE

Une auscultation de la chaussée existante a permis de faire ressortir pour le tronçon soumis à notre étude, une solution de réhabilitation qui consiste en un renforcement dont l'épaisseur est fonction du trafic.

Ce chapitre abordera donc le dimensionnement de l'épaisseur à apporter pour aider la chaussée à supporter le trafic.

3.1. Reconnaissance des sols sur la chaussée existante

Dans l'esprit de s'enquérir de l'état des lieux au niveau des différentes couches constituant la chaussée existante pour savoir si oui ou non ces matériaux sont à même d'être réutilisés. Pour ce faire un certain nombre d'essais doivent être réalisés pour définir la situation géotechnique. Des sondages à l'axe sont donc réalisés pour vérifier l'épaisseur résiduelle des différentes couches (roulement, base, fondation, plateforme) ainsi que leurs propriétés mécaniques.

3.1.1. Les essais réalisés

3.1.1.1. Les sondages

C'est le seul moyen précis pour reconnaître l'épaisseur et la nature des couches des sols en présence, on y prélève généralement des échantillons de sols remaniés ou intacts pour les besoins d'essais de laboratoires.

3.1.1.2. Les essais physiques

3.1.1.2.1. Teneur en eau

La teneur en eau d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec. On peut aussi dire que la teneur en eau est le poids d'eau W contenu par unité de poids de matériau sec.

$$w = \frac{W_w}{W_s}$$

w: La teneur en eau

W_w : Poids d'eau

W_s : Poids de matériau sec

3.1.1.2.2. Analyses granulométriques (NFP 18-560, NFP 18-540)

C'est le procédé par lequel on détermine la proportion des différents constituants solides d'un matériau grenu en fonction de leur grosseur à l'aide de tamis. Il permet donc de distinguer les sols fins des sols sableux ou encore des sols graveleux.

3.1.1.2.3. Limites d'Atterberg (NF P 94-051)

Le but de l'essai est de déterminer la teneur en eau d'un sol à son passage de l'état liquide à l'état plastique (limite de liquidité) et de la teneur en eau d'un sol à son passage de l'état plastique à l'état solide (limite de plasticité).

L'indice de plasticité est obtenu en soustrayant la limite de plasticité à la limite de liquidité.
Soit :

$$IP = WL - WP$$

IP : Indice de Plasticité

WL : Limite de liquidité

WP : Limite de plasticité

3.1.1.3. Les essais mécaniques

3.1.1.3.1. Essai Proctor (NF P 94-093)

L'essai Proctor consiste à placer dans un moule non perforé de dimensions et de poids connu, un échantillon humidifié de manière homogène à une teneur en eau donnée, peu élevée au début, et à compacter cet échantillon par couches (cinq couches au total pour le Proctor modifié contrairement aux trois du Proctor normal) au moyen d'une dame de poids standardisé tombant d'une hauteur également standard. La densité de compactage est de 56 coups pour chacune des cinq couches du moule.

Pour chacune des teneurs en eau considérée, on détermine le poids volumique sec du sol et on établit la courbe de variation de ce poids volumique en fonction de la teneur en eau.

3.1.1.3.2. Essai CBR (Californian Bearing Ratio NF P94- 078)

Cet essai a pour but d'évaluer la portance du sol en estimant sa résistance au poinçonnement, afin de pouvoir dimensionner la chaussée et orienter les travaux de terrassements.

L'essai consiste à soumettre des échantillons d'un même sol au poinçonnement, les échantillons sont compactés dans des moules perforés à la teneur en eau optimum (déterminée grâce au Proctor modifié) avec trois énergies de compactage : 55 coups/ couche ; 25 c/c ; 10c/c (cinq (5) couches par moule) et imbibé pendant 96h.

3.1.2. Résultats et analyse des essais

Les résultats de ces essais sont consignés dans les figures (N°2 à N°7) ci-dessous :

Proctor modifié de la couche de base

—●— Densité à l'OPM —●— Teneur en eau à l'OPM

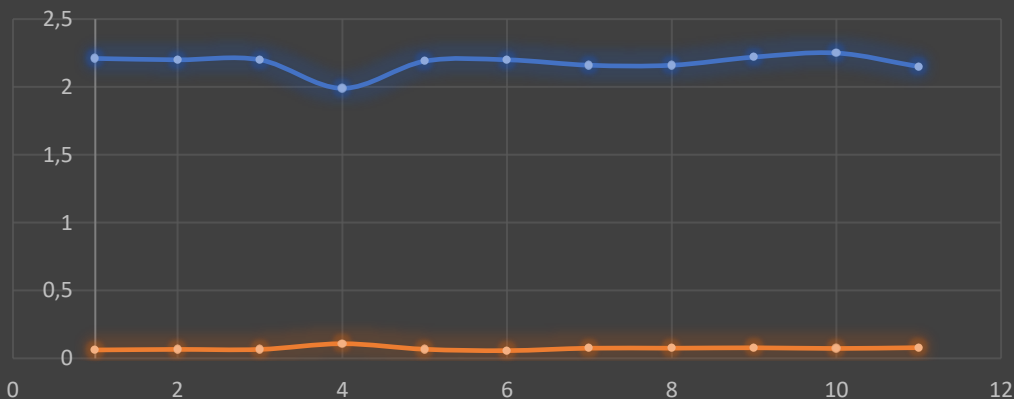


Figure 5: Proctor modifié de la couche de base

Limites d'Atterberg de la couche de base

—●— Limite de liquidité WL —●— Limite de Plasticité WP —●— Indice de plasticité IP

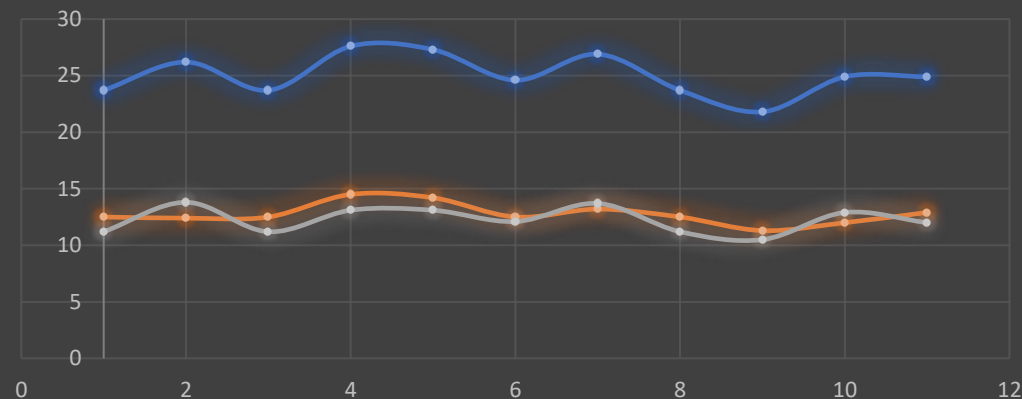


Figure 2: Limites d'Atterberg de la couche de base

Analyse granulométrique de la couche de base

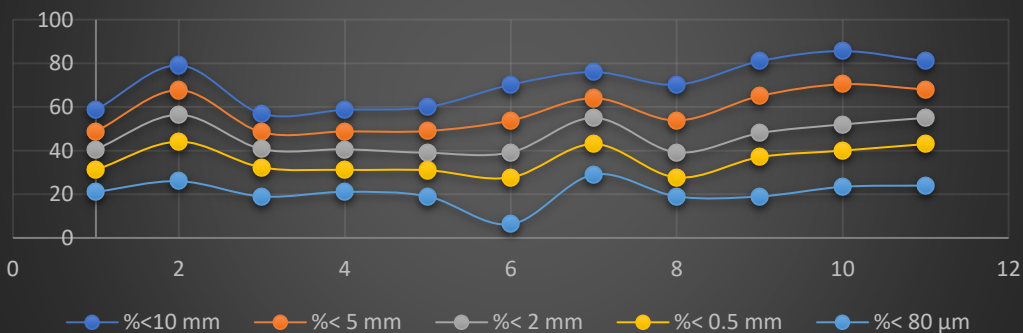


Figure 4: Analyse granulométrique couche de base

Portance CBR de la couche de base

—●— CBR à 95% de l'OPM —●— CBR à 98% de l'OPM

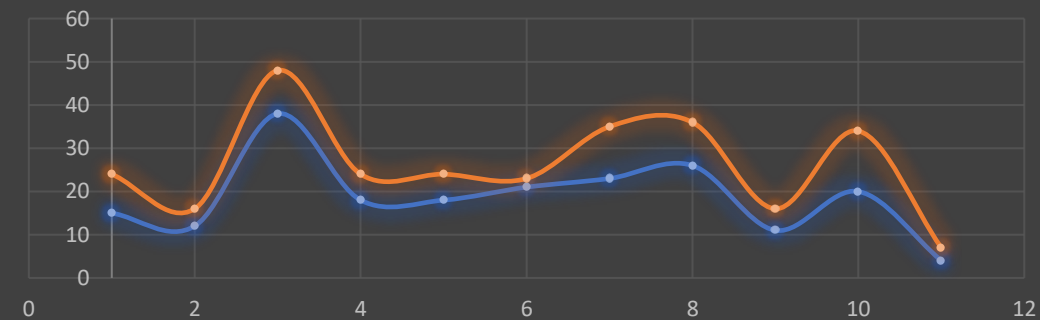


Figure 3: Portance CBR de la couche de base

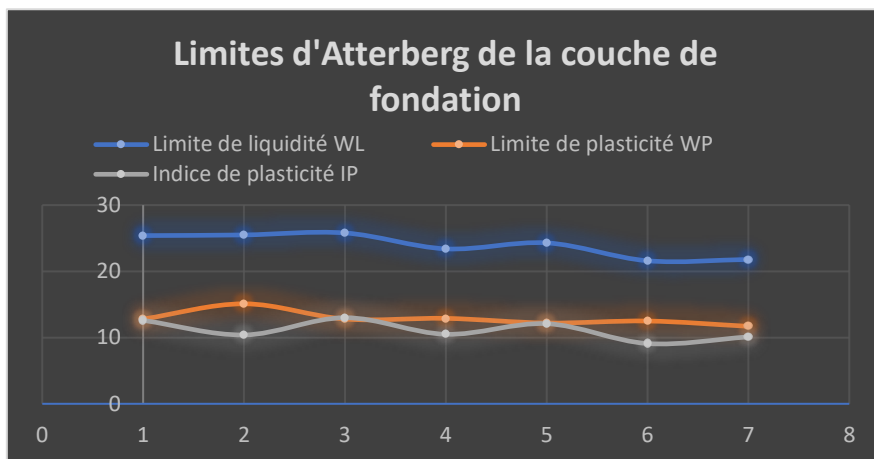


Figure 6: Limites d'Atterberg de la couche de fondation

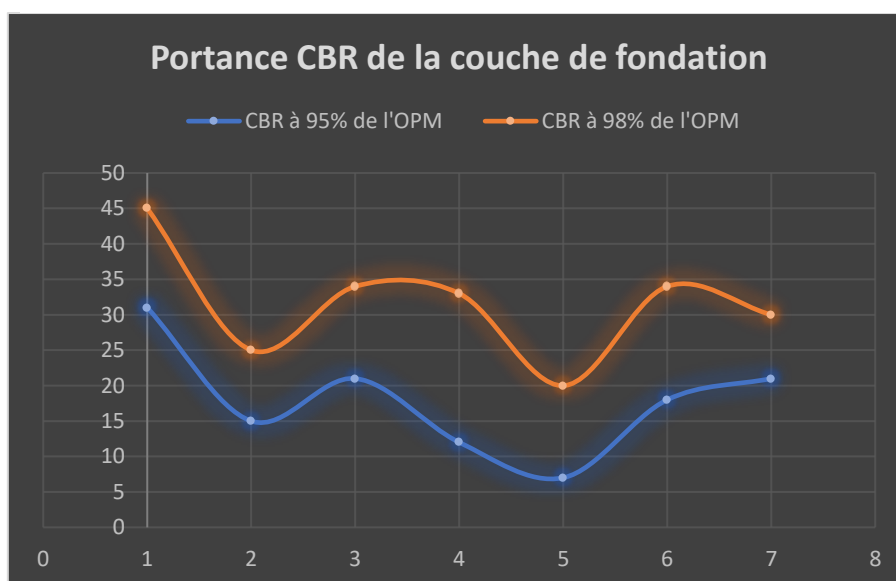


Figure 7: Portance CBR de la couche de fondation

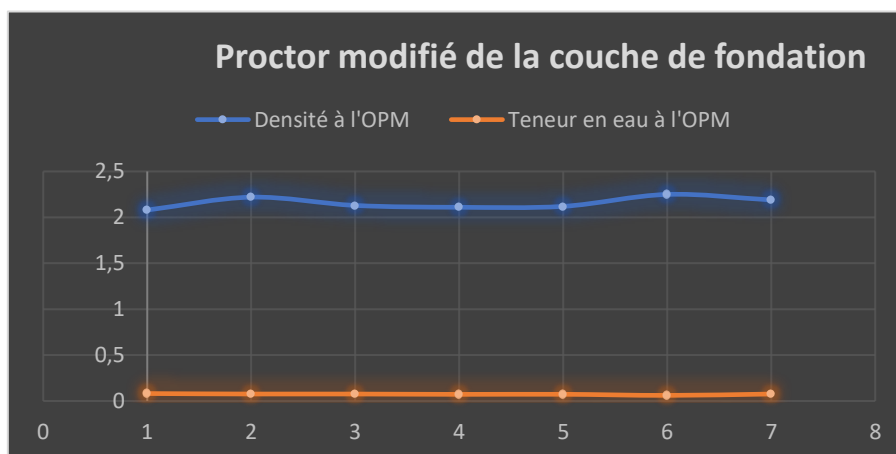


Figure 8: Proctor modifié de la couche de fondation

L'analyse des résultats des essais indique les matériaux de la couche de base présent dans la chaussée existante ne répond pas du tout aux spécifications requises pour l'utilisation des graveleux latéritiques naturel en couche de base, du fait que pratiquement sur tout le tronçon le CBR est inférieur à la norme de 80 nécessaire pour que ces matériaux puissent être utilisés.

Pour la couche de fondation, à part quelque très rare exception, le CBR est inférieur à 35, seuil au-dessus duquel les matériaux sont autorisés à être utilisés en couche de fondation.

3.2. Proposition de matériaux de chaussée et dispositions constructives

Au vu de l'état mécanique des différentes couches de base et de fondation, il est préconisé un recyclage de la chaussée actuelle plus un apport de nouveau matériau pour constituer la nouvelle couche de fondation. La couche de base doit être complètement reprise avec un apport de nouveau matériau sur une épaisseur à définir.

Un grave latéritique naturel peut être employé pour les différentes couches au vu de sa disponibilité dans la région.

Pour le revêtement, un enduit superficiel bicouche avec des gravillons de 14/10 pour la première couche et 6/10 pour la seconde peut être utilisé du fait de son faible cout comparé à d'autres solutions plus onéreuses telle l'utilisation d'un béton bitumineux qui nécessite évidemment plus de moyens. Les accotements seront en monocouche avec des gravillons d'épaisseur 14/10.

3.3. Emprunts latéritiques pour matériaux de couche de base et de fondation

3.3.1. Carrière de Louma (PK 55+400)

L'emprunt latéritique a un volume de matériaux exploitable estimé à plus de 40000 m³. Les caractéristiques géotechniques des matériaux prélevés à partir de cette carrière se résument comme suit :

- ✚ % passant au tamis de 0.08 mm variant de 8% à 15% ;
- ✚ IP variant de 8.8 à 11.1 ;
- ✚ CBR à 98% de l'OPM variant de 38 à 61 ;
- ✚ CBR à 95% de l'OPM variant de 20 à 41.

3.3.2. Carrière de Gao (PK 66+00)

L'emprunt latéritique a un volume de matériaux exploitable estimé à plus de 60000 m³. Les caractéristiques géotechniques des matériaux prélevés à partir de cette carrière se résument comme suit :

- ✚ % passant au tamis de 0.08 mm variant de 6% à 23% ;
- ✚ IP variant de 13.9 à 17.4 ;
- ✚ CBR à 98% de l'OPM variant de 33 à 90 ;
- ✚ CBR à 95% de l'OPM variant de 23 à 65.

3.4. Carrière de roches massives

Les investigations effectuées ont prouvé l'inexistence de carrières de roche massive pour le revêtement sur le tronçon. Cependant des prélèvements d'échantillons ont été effectués sur le matériau de la carrière de Lossa située à 170 Km environ du site du projet.

Les résultats Los Angeles et micro Déval en présence d'eau varient de : 25.54% à 27.41% pour le coefficient Los Angeles et de 9.5% à 12.15% pour le coefficient Micro Déval respectivement.

3.5. Etude du trafic

L'étude du trafic constitue un moyen important de saisie des grands flux à travers un pays ou une région, elle représente une partie appréciable des études de transport, et constitue parallèlement une approche essentielle de la conception des réseaux routiers.

En matière de renforcement des chaussées, il est nécessaire de distinguer :

- ✚ D'une part, le trafic qui a déjà circulé sur la chaussée à renforcer, c'est-à-dire le trafic passé ;
- ✚ D'autre part, le trafic qui circulera sur la chaussée renforcée, au cours de la durée de service, c'est-à-dire le trafic futur.

3.5.1. L'analyse des trafics existants

Tout projet d'étude d'infrastructure routière doit impérativement contenir une évaluation et une analyse précise de trafic supporté, car le renforcement de la chaussée est lié étroitement à cette sollicitation.

L'étude de trafic présente une approche essentielle dans la conception des réseaux routiers.

3.5.1.1. La mesure des trafics

Cette mesure est réalisée par différents procédés complémentaires :

- ✚ Les comptages : qui permettent de quantifier le trafic
- ✚ Les enquêtes : qui permettent d'obtenir des renseignements qualitatifs.

3.5.1.1.1. Les comptages

C'est l'élément essentiel de l'étude du trafic, on distingue deux types de comptage :

- ✚ Les comptages manuels ;
- ✚ Les comptages automatiques.

a. Les comptages manuels

Cette méthode consiste à installer aux postes de comptage un agent à qui a été remis une planchette, un crayon, et une série de fiches de comptages qu'il est chargé de remplir. L'exploitation est simple puisqu'il s'agit de faire des moyennes sur les chiffres qui ont été obtenus. La précision sur le trafic qui est réellement passé au cours des jours d'enquête est parfaite si les agents sont consciencieux.

b. Les comptages automatiques

Ils sont effectués à l'aide d'appareil enregistreur comportant une détection pneumatique réalisée par un tube en caoutchouc tendu en travers des voies routières à étudier et qui sont reliés à la membrane d'un contacteur à laquelle le passage de chaque essieu transmet une onde. La précision est de l'ordre de 3% quand les compteurs sont bien étalonnés.

3.5.1.1.2. Les enquêtes

Il est plus souvent opportun de compléter les informations recueillies à travers des comptages par des données relatives à la nature du trafic et à l'orientation des flux, on peut recourir en fonction du besoin, à diverse méthodes, lorsque l'enquête est effectuée sur tous les accès à une zone prédéterminée (une agglomération entière, une ville ou seulement un quartier) on parle d'enquête cordon.

On distingue diverses méthodes pour mener les enquêtes, entre autres :

- ✚ La méthode par interview au bord de la route
- ✚ La méthode d'enquête postale
- ✚ L'entrevue à domicile
- ✚ L'entrevue par téléphone

3.5.1.2. Différents types de trafics :

3.5.1.2.1. Trafic normal

C'est un trafic existant sur l'ancien aménagement sans prendre en compte le nouveau projet.

3.5.1.2.2. Trafic dérivé ou détourné

C'est le trafic attiré vers la nouvelle route aménagée. En clair, la déviation du trafic n'est qu'un transfert entre les différentes routes qui atteignent le même point.

3.5.1.2.3. Trafic induit ou engendré

C'est le trafic généré par l'amélioration de l'accessibilité à la région ou à la ville.

3.5.1.2.4. Trafic total

C'est le trafic sur le nouvel aménagement qui sera la somme du trafic induit et du trafic dévié.

3.5.1.3. Résultats comptages routiers

Le trafic actuel pris en compte entre Balleyara et Filingué est estimé sur la base des résultats de la campagne de recensement organisée du 15 au 21 septembre 2012. La moyenne de comptage des poids lourds est résumée dans le tableau N°13 :

Tableau 13: Résultats comptages poids lourd

Numéro Poste	Localisation	Camion nettes	Mini Bus	Camions 2 essieux	Camions 3 essieux	Autocars Bus	Camions remorques	Camions semi remorques	TMJ
1	Entrée Bonkougou	10	53	38	4	5	3	2	115
2	Sortie Bonkougou	20	56	15	5	7	4	3	110

Toutefois seulement le TMJ 115 obtenu à l'entrée de Bonkougou sera considéré du fait de la largeur de notre voie qui est supérieure à 7 m.

Pour notre tronçon de 10 Km, nous considérons le TMJ de 115 comme le nombre de TMJ des poids lourds maximum correspondant au trafic sur ce tronçon.

Pour l'estimation du trafic du dimensionnement les hypothèses suivantes sont retenues :

- Essieu de référence de 13 tonnes (essieu simple) ;
- Durée de vie (n) de 15 ans ;
- Trafic poids lourds/jour/sens = 115 PL ;
- Coefficient d'agressivité moyen du trafic poids lourds (CAM) = 0.88 (Résultat issu de la campagne de pesage) ;
- Coefficients de répartition transversale = 0.7 ;
- Taux de croissance géométrique annuel du trafic $i = 3\%$ (proposé par l'étude économique).

3.5.2. Trafic de l'année de mise en service

Il faut mettre à jour les résultats du comptage routier du fait de leur vétusté en prenant comme année de mise en service 2018.

En considérant une croissance exponentielle du trafic, le trafic moyen journalier annuel actualisé (année n) est donné par :

$$T_0 = TMJA = T_{pl} \times (1 + i)^{n' \ 9}$$

i: Taux de croissance géométrique ;

T_0 : Trafic moyen journalier à l'année de mise en service des véhicules poids lourds de la route ;

n' : Intervalle de temps entre l'année de comptage et l'année de mise en service ;

T_{pl} : Trafic des poids lourds à l'année de comptage

D'où : $T_0 = TMJA = 138 \text{ PL/jr /sens}$

⁹ CEBTP, *Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux*, 1980, 24.

3.5.3. Détermination du trafic cumulé en poids lourds (méthode CEBTP)

Pour une progression géométrique, le trafic cumulé est donné par la formule suivante :

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

Avec :

n : durée de vie de la route (15 ans)

T_n : Trafic cumulé pendant la durée de vie (n) de la route (nombre de véhicules cumulés)

$$D'où : T_n = 138 \times 365 \times \frac{(1+0.03)^{15} - 1}{0.03} = 9.37 \times 10^5 \text{ PL}$$

3.5.4. Détermination de la classe du trafic et calcul du trafic équivalent PL

Le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux donne les classes de trafic exprimées en nombre cumulé de passages d'un essieu équivalent. Ces classes sont résumées dans le tableau N°14 ci-dessous :

Tableau 14: Classes de trafic (CEBTP, Guide Pratique de Dimensionnement des Chaussées, 1984)

Classes du Trafic	Trafics cumulés
T1	Trafic < 5 X 10 ⁵
T2	5 X 10⁵ ≤ Trafic < 1,5 X 10⁶
T3	1,5 X 10 ⁶ ≤ Trafic < 4 X 10 ⁶
T4	4 X 10 ⁶ ≤ Trafic < 1 X 10 ⁷
T5	1 X 10 ⁷ ≤ Trafic < 2 X 10 ⁷

Ainsi le trafic cumulé d'essieux équivalent de 13 tonnes sur la durée de vie considéré, NE, à prendre en compte dans le calcul du dimensionnement est égal à :

$$NE = T_n \times CAM = 9.37 \times 10^5 \times 0.88 = 824\,560 \text{ essieux équivalent de 13 tonnes.}$$

3.6. Dimensionnement de la chaussée

Cette étape consiste à déterminer les nouvelles épaisseurs qu'il faille ajouter aux couches existantes pour renforcer la chaussée. Dans ce cas le dimensionnement sera fait en suivant la méthode empirique du CEBTP-LCPC issue du « manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux », puis vérifié par la méthode rationnelle de calcul de renforcement avec le logiciel Alizé.

3.6.1. Dimensionnement avec la méthode empirique

La méthode est basée sur les fiches de renforcement de chaussées souples revêtues, tirée du « manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux ». Cette méthode prend en compte la classe de trafic en nombre cumulé d'essieux standard selon le CEBTP et la qualité

du support Q1 à Q5 de la chaussée à renforcer. La figure N°9 ci-dessous récapitule l'essentiel de la méthode :

		Trafic			
		Qualité	T1	T2	T3
SOLUTIONS	Q1		ENTRETIEN Courant		
	Q2		ENTRETIEN Prioritaire		
	Q3		RECHARGEMENT (10 à 15cm GNT)		
	Q4		RENFORCEMENT (15 à 30cm GNT)		
	Q5		RENFORCEMENT matériaux traités		
Couches de roulement			Enduits superficiels		
			Tapis sable 2 à 3 cm		

Figure 9: Récapitulatif dimensionnement méthode empirique

De ce qui précède, avec une classe de trafic T2 calculée en amont et un indice de qualité Q4, s'en déduit un renforcement avec apport de matériaux. Nous aurons la structure de chaussée suivante pour la solution envisagée :

- ✚ Couche de roulement : enduit superficiel bicouche ;
- ✚ Couche de base : apport de 15 cm
- ✚ Couche de fondation : recyclage des anciennes couches de base et de fondation (sur une épaisseur de 30 cm) + 5cm d'apport de nouveau matériau.

3.6.2. Dimensionnement du renforcement avec la méthode rationnelle

Le principe de calcul consiste en priorité à modéliser les structures de manière à évaluer les contraintes ou les déplacements provoqués par une charge type unitaire. On recherche ensuite

la contrainte maximale susceptible d'engendrer la rupture de la structure et on la compare à la limite admissible du matériau considéré pour le trafic souhaité.

Dans ce modèle élastique d'étude des structures par le logiciel ALIZE, il faut distinguer deux phases critiques :

- ✚ La phase de recherche du module de Young des différentes couches de la chaussée existante,
- ✚ La phase du dimensionnement

3.6.2.1. Détermination du module de Young des différentes couches de la chaussée existante

La première phase prend en compte les caractéristiques mécaniques de la structure en place.

La deuxième phase en revanche, considère des matériaux de bonne performance qui doivent prendre le temps de vieillir avant de perdre eux aussi les bonnes caractéristiques qu'ils avaient à leur mise en œuvre.

Après avoir choisi les paramètres de la chaussée existante, nous utiliserons le programme ALIZE pour modéliser chaque section en utilisant la relation $E = 5 \times \text{CBR}$ pour le module de Young de la plateforme. La chaussée est souple, ce qui nous conduit à utiliser les valeurs suivantes pour le calcul du module de Young pour les couches de fondation et de base :

- ✚ Couche de fondation :

$$E_{\text{GNT}} = K \times E_{\text{plateforme}}$$

- ✚ Couche de base :

$$E_{\text{GNT}} = K \times E_{\text{couche sous-adjacente}}$$

Le tableau N°15 donne le coefficient K qui dépend de la catégorie du GNT :

Tableau 15: Catégories de GNT

Catégorie	1	2	3
K	3	2.5	2
Elim (Mpa)	600	400	200

Nous retenons une grave non traitée de catégorie 1, donc le coefficient K sera pris égale à 1. Le calcul du module de Young est résumé dans le tableau N°16 ci-après :

Tableau 16: Calcul du module de Young

Calcul du module de YOUNG							
PK	Plateforme		Couche de fondation			Couche de base	
	CBR à 95% de la densité l'OPM	Module E en Mpa (E = 5 * CBR)	CBR à 95% de la densité l'OPM	Module E en Mpa	CBR à 95% de la densité l'OPM	Module E en Mpa	
PK 45+000	21				15		
PK 46+000	14				12		
PK 47+000	9		31		38		
PK 48+000	18		15		18		
PK 49+000	15		21		18		
PK 50+000	14				21		
PK 51+000	19		12		23		
PK 52+000	23		7		26		
PK 53+000	36		18		11		
PK 54+000	23				20		
PK 55+000	30		21		4		
Moyenne	20	100		300	19	600	

3.6.2.2. Etape du dimensionnement

Les calculs sont faits en référence aux prescriptions du SETRA-LCPC « conception et dimensionnement des structures de chaussée », Guide technique, Edition de décembre 1994. Une fois les paramètres judicieusement choisis, nous passerons au calcul des contraintes et déformations suivant la méthode ALIZE.

La démarche suivante est adoptée :

- La détermination des sollicitations admissibles dans les différents matériaux en utilisant les lois de fatigues ;
- Le calcul des sollicitations dans la structure ;
- La vérification du niveau des contraintes et déformations calculées en s'assurant que ces dernières restent inférieures aux contraintes et déformations admissibles.

3.6.2.3. Hypothèses de dimensionnement

La modélisation sur Alizé LCPC sera faite en considérant les hypothèses suivantes :

- Les épaisseurs des couches considérées sont celles retenues lors du dimensionnement avec la méthode empirique ;

- Le revêtement en enduit superficiel bicouche ne sera pas modélisé car il ne participe pas au fonctionnement structural de la chaussée.
- Le coefficient de Poisson $\nu = 0.35$ pour toutes les couches.

3.6.2.4. Calcul de la contrainte admissible du sol

La contrainte admissible au niveau supérieur de la plateforme est donnée par la formule semi-empirique de KERKHOVEN et DORMON donnée par le CEBTP (1984) Cette formule fait intervenir l'effet de la répétition des charges (N) et du CBR :

Pour la plateforme nous avons un CBR moyen de 20.

NE a été calculé précédemment et est égal à : 8.25×10^5 essieux.

$$\sigma_{Z, adm} = \frac{0,3 \times CBR}{1 + 0,7 \times \log(NE)} = \frac{0,3 \times 20}{1 + 0,7 \times \log(8.25 \times 10^5)} = 1.166 \text{ Mpa}$$

3.6.2.5. Calcul de la déformation verticale admissible au sommet de la plateforme

La déformation verticale admissible est donnée par la formule de « Conception et dimensionnement de structure de chaussée » du SETRA, édition 1998, avec une chaussée à moyen ou fort trafic.

$$\varepsilon_{Z adm sol} = A \times (NE)^{-0.222}$$

Avec :

$A = 12\ 000$ pour un trafic cumulé $NE > 250\ 000$.

NE : le trafic équivalent poids lourds

$$\varepsilon_{Z adm sol} = A \times (NE)^{-0.222} = 12\ 000 \times (8.25 \times 10^5)^{-0.222} = 583.08 \text{ }\mu\text{déf}$$

Après calcul, les résultats sont consignés dans le tableau N°17 ci-après :

Tableau 17: valeurs admissibles des contraintes et des déformations

Durée de vie	15 ans
Trafic cumulés PL	8.25×10^5
$\varepsilon_{Z adm sol}$	583.08 $\mu\text{déf}$
$\sigma_{Z, adm sol}$	1.166 MPa

3.6.2.6. Vérification des déformations

Les contraintes et déformations sont vérifiées dans le tableau N°18 ci-dessous :

Tableau 18: Vérification des contraintes et déformations

		Valeurs calculées par Alizé	Valeurs admissibles
Contrainte (σ_Z , adm sol)	verticale	0.6547 MPa	1.166 Mpa
Déformation (ϵ_Z adm sol)	relative	497.8 μ déf	583.08 μ déf

La note de calcul du logiciel Alizé – LCPC se trouve en [ANNEXE 2](#).

Les valeurs calculées sont inférieures aux valeurs admissibles, donc nous retiendrons la structure de chaussée présentée dans la figure N°10 suivante :

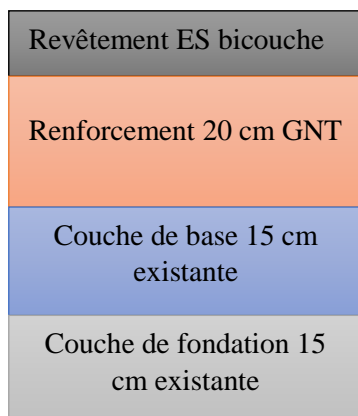


Figure 10: Structure de chaussée retenue

CHAPITRE IV : ASSAINISSEMENT DE LA ROUTE

La route est un ouvrage se développant linéairement sur le terrain au relief duquel elle apporte par ses déblais et remblais des modifications qui perturbent les écoulements préexistants, naturels ou déjà modifiés par d'autres ouvrages précédemment construits. Toute submersion de la route par les eaux a des conséquences dommageables :

- ✚ D'une part, parce que cela constitue une gêne, voire un obstacle à la circulation des véhicules ;
- ✚ D'autre part, parce que la submersion de la chaussée et des accotements entraîne des dégradations dues aux écoulements (érosions...), des imbibitions des sols et des couches de chaussées qui en réduisent la portance.

Pour ce faire nous aborderons l'hydrologie statistique qui nous permettra d'étudier la distribution fréquentielle des crues à partir des méthodes d'ajustements statistiques, et l'hydrologie déterministe qui nous donnera le débit d'eau à évacuer. L'aspect hydraulique sera également abordé et nous permettra de dimensionner convenablement l'ouvrage de franchissement.

4.1. Etude hydrologique

4.1.1. Contrôle des données pluviométriques

Les données hydrologiques constituent une base de connaissances essentielle à l'évaluation des ressources en eau et pour les décisions qui en découlent. En général, les mesures ont été effectuées avec soin. Néanmoins, il convient de procéder à une vérification de l'homogénéité des données recueillies afin d'éliminer ou de corriger les relevés défectueux. Pour ce faire nous utiliserons la méthode de la moyenne mobile, qui a pour effet d'amortir les variations brusques, d'éliminer les valeurs extrêmes et de laminer l'ensemble des valeurs pour faire apparaître des tendances longues ou des cycles.

La figure N°11 ci-dessous représente les différentes moyennes mobiles obtenues pour notre échantillon de données pluviométriques.

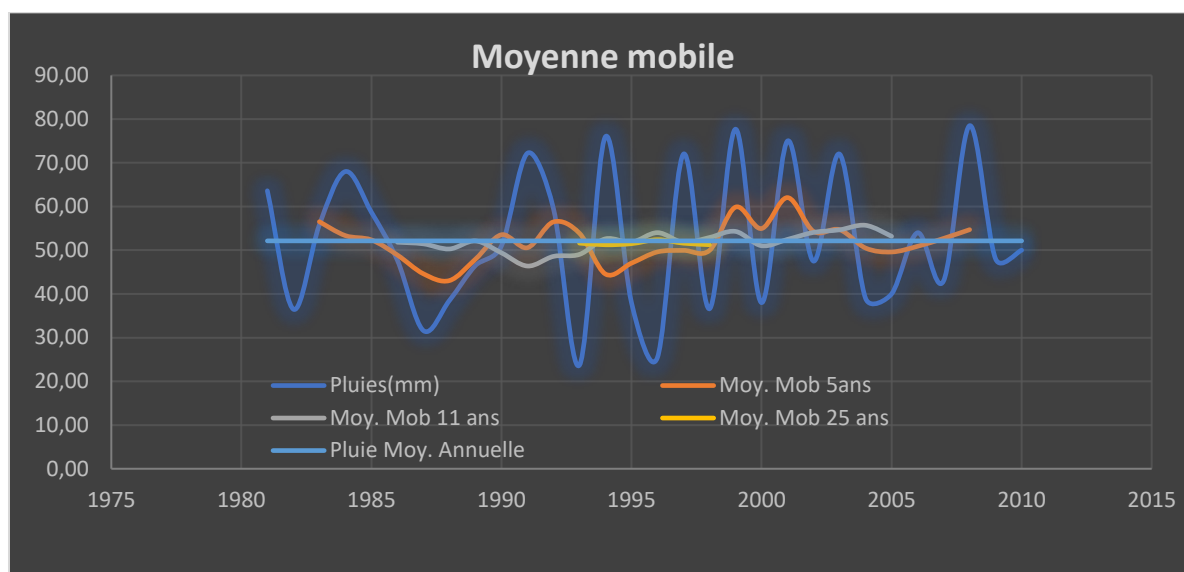


Figure 11: Moyenne mobile

Interprétation du graphique :

La courbe de la moyenne mobile de 25 ans se confond pratiquement à celle de la pluie moyenne annuelle. Ces données sont donc considérées fiables puisqu'aucune période douteuse n'a été détectée.

4.1.2. Hydrologie statistique

4.1.2.1. L'analyse fréquentielle

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés afin d'en définir les probabilités d'apparition future.

Cette prédiction repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel, qui est une équation décrivant le comportement statistique d'un processus. Ces modèles décrivent la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée.¹⁰

4.1.2.2. Loïs statistiques principales

Le phénomène de crue est généralement ajustable à des lois statistiques très nombreuses. Nous retiendrons celles qui font intervenir peu de paramètres et sont donc facilement utilisables. Les principales lois, les plus communément employées, sont les suivantes :

- ✚ Loi de GIBRAT-GALTON,
- ✚ Loi de GOODRICH,
- ✚ Loi de PEARSON III,
- ✚ Loi de GUMBEL,
- ✚ Loi de FRECHET.

¹⁰ Nguyen VAN TUU, *Hydraulique routière*, 1979.

Loi de Gumbel

La loi double exponentielle, ou loi de Gumbel, est la forme limite de la distribution de la valeur maximale d'un échantillon de valeurs. Le maximum annuel d'une variable étant considéré comme le maximum de 365 valeurs journalières, cette loi doit être capable de décrire les séries de maxima annuels.¹¹

Fonction de répartition :

Elle est sous la forme : $F(x) = e^{-e^{-u}}$; avec u la variable réduite de Gumbel.

$$u = -\ln[-\ln(F(x))]$$

Ajustement mathématique :

➤ Méthode des moments :

$$\frac{1}{a} = 0.780\sigma \quad \text{Avec } \sigma \text{ l'écartype}$$

$$x_0 = \bar{x} - \frac{0.577}{a} \quad (\bar{x} \text{ la moyenne})$$

➤ Calcul des quantiles

$$x_p = \frac{u_p}{a} + x_0$$

L'analyse fréquentielle des données pluviométriques de la station de Filingué permet de définir certaines caractéristiques, qui sont résumées dans le tableau N°19 ci-après :

Tableau 19:Caractéristiques des données pluviométriques de Filingué

Nombre d'échantillons	30
Moyenne	52.14
Écartype	16.23
CV	31.13
Minimum	23.70
Maximum	78.50

Le récapitulatif détaillé du calcul des fréquences expérimentales et de l'ajustement statistique sont regroupés en [ANNEXE 5](#).

4.1.3. Hydrologie déterministe

Etant donnée l'envergure limitée de la zone d'intervention, deux approches de base pour évaluer les débits de ruissellement ont été adoptées :

¹¹ VAN TUU.

- La première approche est applicable à des petits bassins versants dont la superficie ne dépasse pas 4 km², conditions de validité des considérations théoriques qui ont permis d'élaborer cette méthode ; méthode rationnelle.
- La deuxième approche est la méthode empirique ORSTOM, qui a été développée à partir de l'observation directe de nombreux bassins hydrographiques de l'Afrique de l'Ouest.

4.1.3.1. Délimitation du bassin versant

Le bassin versant qui gravite autour du point en étude a été identifié et délimité grâce à une image GOOGLE Earth, par l'application du programme Global Mapper, sur lequel ont été définis les tracés et les longueurs des lignes d'écoulement entre le point le plus éloigné du bassin et les sections de vérification.

La figure N°12 suivante présente le bassin versant qui intéresse notre étude.

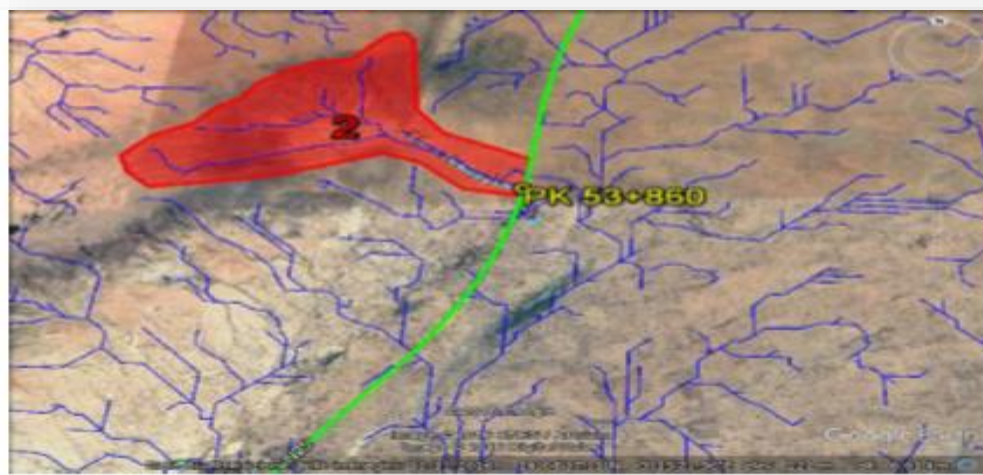


Figure 12: Délimitation bassin versant

Les paramètres du bassin relevé sur l'image sont :

- Surface : 2.97 km² ;
- Différence de niveau entre les extrémités du bassin : 59 m ;
- Longueur de la ligne principale d'écoulement : 2.50 km

4.1.3.2. Calcul des débits de drainage

Les débits des crues des eaux de ruissellement des bassins ont été calculés en appliquant la méthode Rationnelle. Par rapport aux méthodes empiriques telles que l'ORSTOM (J.Rodier et C.Auvray) et CIEH (C.Puech et D.Chabi-Gonni), on envisage que la méthode rationnelle peut fournir une précision majeure, étant donné qu'ici on est en présence de petits bassins de surface limitée et ayant des caractéristiques morphologiques et physiques homogènes.

4.1.3.2.1. Méthode rationnelle

Cette méthode est applicable à des petits bassins versants dont la superficie ne dépasse pas 4 km², bien que la méthode puisse être utilisée pour des bassins plus importants, au moyen de facteurs de correction.¹²

Ainsi pour une averse homogène dans le temps et dans l'espace, d'intensité I, le débit maximum Q est atteint si la durée de l'averse est au moins égale au temps de concentration T_c du bassin. L'intensité I de l'averse étant exprimée en mm/h, la superficie A du bassin en km² et le débit Q en m³/s, la formule s'écrit :

$$Q = 0.278 CIA$$

C étant le coefficient de ruissellement qu'on suppose uniforme sur le petit bassin versant considéré et pendant la durée de l'averse.

Le temps de concentration :

Pour calculer le débit maximal de la crue de fréquence donnée, il faut déterminer l'intensité moyenne de l'averse de même fréquence dont la durée est égale au temps de concentration. Nous emploierons la formule empirique de KIRPICH pour déterminer le temps de concentration :

$$T_c = \frac{1}{52} \frac{L^{1.15}}{H^{0.38}}$$

T_c = Temps de concentration en minutes,

L = Distance en mètres entre l'exutoire et le point le plus éloigné du bassin,

H = Dénivelée en mètres entre l'exutoire et le point le plus éloigné du bassin.

Les paramètres permettant de calculer le temps de concentration sont regroupés dans le tableau N°20 ci-dessous :

Tableau 20: Paramètres physiques du bassin versant

Bassin		Paramètres physiques			
		Surface	Dénivelé	Pente	Longueur d'écoulement
N°	PK	km ²	m	m/m	km
1	53+860	2.97	59	0.02	2.50

$$T_c = \frac{1}{52} \frac{L^{1.15}}{H^{0.38}}$$

$$T_c = \frac{1}{52} \times \frac{2500^{1.15}}{59^{0.38}} = 33.01 \text{ mn}$$

¹² VAN TUU.

$$T_c = 33.01 \text{ mn}$$

L'intensité de la pluie (I) :

L'intensité I sera déterminée à l'aide de la formule de Montana :

$$I = at_c^{-b}$$

Où a et b sont les coefficients de Montana qui dépendent de la région d'étude et de la période de retour.

Pour notre dalot le temps de retour retenu est de 10 ans ; ainsi les coefficients de Montana pour les pays de l'Afrique de l'ouest sont les suivants :

$$a = 7.5 \text{ et } b = 0.5$$

L'intensité I sera égale à :

$$I = at_c^{-b} = 7.5 \times 33.01^{-0.5} = 1.31 \text{ mm/mn}$$

$$I = 78.6 \text{ mm/h}$$

Le coefficient de ruissellement :

C'est le rapport de volume d'eau qui ruisselle (arrive à l'exutoire) sur la surface du bassin versant au volume d'eau reçu sur cette même surface. Le coefficient de ruissellement dépend de l'étendue relative des surfaces imperméabilisées par rapport à la surface drainée.¹³

Le coefficient de ruissellement diminue lorsque la superficie du bassin versant augmente. D'autre part, il varie dans le même sens que la pente du bassin.

Un terrain perméable, une couverture végétale dense abaisse considérablement le coefficient de ruissellement.

Le coefficient de ruissellement de notre bassin sera déterminé à partir de la figure N°13 donnée par : J-L. BONNENFANT et R. PELTIER dont l'application a donné des résultats cohérents avec les mesures expérimentales.

¹³ VAN TUU.

Nature de la couverture végétale	Valeur de C							
	Petits bassins de 0 à 10 ha présentant une pente de				Bassins moyens de 10 à 400 ha 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 routes ; cours.....	0,95	»	»	»	»	»	»	»
Terrains dénudés, ou à végétation non couvrante.....	0,80	0,85	0,90	0,95	0,70	0,75	0,80	0,85
Terrains déjà attaqués par l'érosion.....								
Labours frais.....								
Cultures couvrantes, céréales hautes.....	0,75	0,80	0,85	0,90	0,52	0,60	0,72	0,80
Terrains de parcours, chiendent ras.....								
Petite brousse clairsemée.....								
Prairies.....	0,70	0,75	0,80	0,85	0,30	0,36	0,42	0,50
Brousse dense. Savane à sous-bois.....								
Forêt ordinaire en futaie. Sous-bois touffus.....	0,30	0,50	0,60	0,70	0,13	0,20	0,25	0,30
Grande forêt primaire.....	0,20	0,25	0,30	0,40	0,15	0,18	0,22	0,25

Figure 13: Coefficient de ruissellement

Le terrain est constitué de cultures couvrantes et de hautes céréales ; le coefficient de ruissellement tiré du tableau ci-dessus a pour valeur 0.52 car la pente est de 2% et la superficie du bassin (290 ha) comprise entre 10 et 400 ha.

D'où :

$$Q = 0.278 \text{ CIA}$$

$$Q = \frac{0.278 \times 0.52 \times 78.6 \times 2.9}{3.6}$$

$$Q = 9.15 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.1.3.2.2. Méthode ORSTOM

L'objectif de la méthode est d'évaluer le débit de la crue décennale sur les bassins du sahel et de la zone tropicale sèche. La zone géographique couverte s'étend de Dakar(Sénégal) jusqu'à la frontière du Soudan entre les isohyète annuelles 150-120 mm au nord et 1200 au sud. La méthode s'applique à des bassins dont la superficie est située entre quelques dizaines d'hectares et jusqu'à 1500 km².¹⁴Notre zone de projet se situant dans l'espace de validité de la méthode, nous utiliserons donc cette méthode pour évaluer nos débits de crue.

¹⁴ FAO, Crues et apports, *Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche*, 1996.

Le débit de pointe de ruissellement superficiel de la crue décennale est donné par la formule suivante :

$$Q_{r10} = A \times P_{10} \times K_{r10} \times \alpha_{10} \times S / T_{b10}$$

Q_{r10} : débit de pointe de ruissellement superficiel de la crue décennale

A : coefficient d'abattement

S : superficie du bassin versant

P_{10} : pluie décennale journalière

K_{r10} : coefficient de ruissellement décennal

α_{10} : coefficient de pointe de la crue décennale

T_{b10} : temps de base de la crue décennale

Détermination des paramètres pour le calcul du débit par la méthode ORSTOM

Coefficient d'abattement ou coefficient de VUILLAUME (A):

Il traduit la distribution spatiale non homogène de la pluie sur un bassin versant. Ce coefficient permet donc de déterminer la pluie moyenne sur tout le bassin.

$$A = 1 - 0.001(9\log_{10}T - 0.042P_{an} + 152)\log_{10}S$$

T : période de retour ($T = 10$ ans)

S : superficie du bassin versant (km^2)

P_{an} : pluviométrie annuelle (la zone est comprise entre les isohyètes 300 et 450 mm, ce qui implique une pluie moyenne annuelle de 375 mm) (Voir [ANNEXE 6](#) pour la carte des isohyètes)

$$A = 1 - 0.001(9\log_{10}10 - 0.042 \times 375 + 152)\log_{10}(2.9) = 0.93$$

$$A = 0.93$$

La hauteur de l'averse décennale ponctuelle :

Elle est déterminée grâce à l'étude statistique des pluies journalières aux stations pluviométriques régionales. Sa valeur correspond à la valeur de la pluie décennale humide, qui chaque année a seulement 10% de chance d'être dépassée. Soit une probabilité ou fréquence annuelle de dépassement $P = 0.1$ (ou probabilité de non dépassement $P = 0.9$). Les intervalles de confiance à 95% sont consignées dans le tableau N°21 ci-dessous :

Tableau 21: Intervalles de confiances à 95%

F(Xi)	Up	Xi	Xi min	Xi max
0.001	-1.93	20.40	11.09	29.71
0.01	-1.53	25.46	17.84	33.08
0.05	-1.1	30.91	24.85	36.97
0.1	-0.83	34.32	29.07	39.57
0.9	2.25	73.31	59.83	86.79
0.95	2.97	82.42	66.28	98.56
0.99	4.60	103.06	80.9	125.22
0.999	6.91	132.30	97.47	167.13

Grâce à l'ajustement fait avec la loi de Gumbel, nous sommes en mesure de donner la valeur de la pluie journalière maximale pour une durée de retour fixée. Dans ce cas nous avons besoin de la pluie journalière décennale ; elle est donnée avec un intervalle de confiance de 95%.

Donc $P_{10} = 73.31 \pm 13.48$

Nous prenons $P_{10} = 86.79$ mm

Coefficient de ruissellement décennal (K_{r10}) :

Le coefficient de ruissellement décennal est conditionné par plusieurs facteurs tels que la hauteur pluviométrique, la classe d'infiltrabilité du bassin ainsi que l'indice global de pente Ig. Pour une précipitation décennale ponctuelle P_{10} différente de 70 et 100 mm, l'estimation du coefficient de ruissellement K_{r10} est faite par interpolation linéaire entre les valeurs K_{r70} et K_{r100} . Ces valeurs sont déterminées graphiquement à l'aide de courbes empiriques ou de formules analytiques de forme générale :¹⁵

$$K_{r70} \text{ ou } K_{r100} = \frac{a}{(s+b)} + c$$

Notre bassin ayant une superficie inférieure à 10 km², la détermination de K_{r70} et K_{r100} se fera graphiquement à l'aide donc de courbes empiriques.

Pour ce faire la classe d'infiltrabilité du bassin versant doit être déterminée en adoptant la classification qualitative de Rodier

La classification qualitative adoptée par Rodier comprend six classes (l'indice placé entre parenthèses correspond à l'ancienne nomenclature utilisée par Rodier et Auvray, 1965) :

- ✚ **TI (P1)** : bassin rigoureusement imperméable, sans irrégularités, n'existant pas à l'état naturel (aire en béton non fissuré) ;

¹⁵ FAO, Crues et apports.

- ✚ **I (P2)**: bassin imperméable. Pas moins de 85 à 90% de la surface sont constitués par des sols imperméables ;
- ✚ Un bassin naturel particulièrement imperméable **PI**, qui se situe à la frontière des classes **TI** et **I** ;
- ✚ **RI (P3)** : bassin relativement imperméable. Mélange en proportions à peu près égales de sols imperméables (**I**) et de sols perméables (**P**, voir ci-après) ;
- ✚ **P (P4)** : bassin perméable ;
- ✚ **TP** : bassin très perméable.

NB : Les études pédologiques et géologiques effectuées dans la zone que couvre notre bassin versant nous montre que nous avons un bassin perméable constitué de sol sableux sans pellicule et de sable grossiers.

L'indice global de pente I_g du bassin :

Cet indice est déterminé par la relation suivante :

$$I_g = \frac{D}{L}$$

Avec :

D : dénivelée, exprimée en mètres, séparant les altitudes ayant approximativement 5% et 95% de la surface du bassin (m)

L : longueur du rectangle équivalent (km)

L'indice global de pente I_g se calcule après construction de la courbe hypsométrique du bassin qui donne le pourcentage de la superficie S du bassin versant situé au-dessus d'une altitude donnée H, en fonction de cette même altitude. Puisque dans une région de géomorphologie homogène, la pente diminue de l'amont vers l'aval, l'indice I_g diminue lorsque S augmente. Néanmoins, la longueur du rectangle équivalent étant généralement proche de celle du plus long cours d'eau, I_g reste voisin de la pente longitudinale.¹⁶

On considère la classe de pente I_g bornant supérieurement la valeur de l'indice de pente choisie, dans notre cas I_g aura comme valeur moyenne supérieure égale à 7.

Les paramètres caractéristiques a, b et c des bassins en fonction de l'indice global de pente I_g et de la perméabilité sont présentés dans le tableau N°22 suivant :

¹⁶ FAO, Crues et apports.

Tableau 22: Paramètres de l'équation de Kr en fonction en zone sahélienne en fonction la perméabilité et de l'indice de pente

Perméabilité du bassin	Indice global	Kr70 pour pluie journalière décennale			Kr100 pour pluie journalière décennale		
		a	b	c	a	b	c
PI	15	3650	51	27	5528	69	28
	7	2636	41	23	3656	51	26
	3	2239	39	22	2727	44	25
I	15	1455	33	21	1833	38	24
	7	1140	30	20	1476	37	22
	3	825	25	19	1125	32.5	20
RI	15	329	18.5	16.5	421	20.5	17.5
	7	239	17.7	14.5	300	20	15
	3	164	17	10.5	250	20	12
P	15				200	20	8
	7	131	13.8	5	150	20	6
TP	7	35	5	1.5	67	14	2

Détermination de Kr₇₀

$$Kr_{70} = \frac{a}{(s+b)} + c$$

$$Kr_{70} = \frac{131}{(2.9+13.8)} + 5 = 12.84\%$$

Détermination de Kr₁₀₀

$$Kr_{100} = \frac{a}{(s+b)} + c$$

$$Kr_{100} = \frac{150}{(2.9+20)} + 6 = 12.55 \%$$

Interpolation linéaire entre Kr₇₀ et Kr₁₀₀ pour avoir la valeur de Kr₁₀

$$\begin{cases} P_{10} = 70 \text{ mm} \Rightarrow Kr_{70} = 12.84 \% \\ P_{10} = 86.79 \text{ mm} \Rightarrow Kr_{10} = ? \\ P_{10} = 100 \text{ mm} \Rightarrow Kr_{100} = 12.55 \% \end{cases} \Rightarrow \frac{Kr_{70} - Kr_{10}}{Kr_{70} - Kr_{100}} = \frac{70 - 86.79}{70 - 100}$$

$$Kr_{10} = Kr_{70} - \frac{(Kr_{70} - Kr_{100}) \times (70 - 86.79)}{70 - 100}$$

$$Kr_{10} = 12.84 - \frac{(12.84 - 12.55) \times (70 - 86.79)}{70 - 100} = 12.68 \%$$

$$Kr_{10} = 12.68 \%$$

Coefficient de pointe de la crue décennale (α_{10}) :

La valeur de ce coefficient tient compte de la forme de l'hydrogramme de ruissellement. En climat sahélien, les valeurs moyennes sont données dans le tableau N°23 ci-après :

Tableau 23: Coefficient de pointe de la crue décennale

Surface du bassin en km ²	2	10	25	50	100
Coefficient α_{10}	2.6	2.6	2.5	3	3.1

Le bassin de notre étude ayant une superficie de 2.9 km², $\alpha_{10} = 2.6$

Temps de base de la crue décennale (Tb_{10}) :

C'est le temps compris entre le début et la fin du ruissellement rapide ; il sera déterminé en utilisant la formule ci-après :

Pour un indice d'infiltrabilité **P** on a : $Tb_{10} = 19.6 \times S + 218$ avec $\begin{cases} S < 6 \text{ km}^2 \\ Ig = 7 \text{ m/km} \end{cases}$

On a :

$$S = 2.9 \text{ km}^2 \Rightarrow Tb_{10} = 19.6 \times 2.9 + 218 = 274.84 \text{ mn ; pour } Ig7P.$$

$$Tb_{10} = 274.84 \text{ mn}$$

Calcul du débit de pointe décennal ou débit de crue décennale :

Après avoir déterminé tous les paramètres en amont, le débit de pointe de ruissellement superficiel de la crue décennale est donné par :

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

$$Q_{r10} = 0.93 \times 0.08679 \times 0.1268 \times 2.6 \times \frac{2.9 \times 10^6}{(274.84 \times 60)} = 4.68 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{r10} = 4.68 \text{ m}^3/\text{s}$$

En zone sahélienne pour un indice d'infiltrabilité **P**, le débit de crue décennale est donné par la formule suivante :

$$Q_{10} = 1.06 \times Q_{r10}$$

$$Q_{10} = 1.06 \times 4.68$$

$$Q_{10} = 4.96 \text{ m}^3/\text{s}$$

Choix du débit de drainage

Après le calcul du débit par deux méthodes distinctes, nous dressons un tableau récapitulatif ci-dessous. Des deux méthodes le débit sera choisi pour la condition la plus défavorable à savoir celle présentant le plus grand débit à évacuer.

Le tableau N°24 ci-dessous récapitule les différents débits calculés :

Tableau 24: Récapitulatif des débits calculés

Bassin versant	Superficie (km ²)	Méthode rationnelle (m ³ /s)	Méthode ORSTOM(m ³ /s)	Débit projet(m ³ /s)
1	2.9	9.15	4.96	9.15

4.2. Etude hydraulique

L'étude hydraulique de l'ouvrage de franchissement est réalisée dans le but de conférer à la structure une ouverture et un gabarit suffisants pour faire évacuer la crue de projet arrêtée par l'étude hydrologique.

4.2.1. Types de dalot

Les dalots sont des ouvrages en béton armé qui présentent une section rectangulaire ou carrée. Ce sont des ouvrages sous chaussée qui ne nécessitent aucun remblai : une circulation à même la dalle peut être envisagée moyennant des précautions lors de la construction. Ils ne peuvent en général admettre qu'une faible épaisseur de remblai (de l'ordre d'un ou deux mètres), à moins d'être spécialement calculés pour les surcharges. Ces remblais sont à proscrire si la chaussée doit être revêtue.¹⁷

Trois types de dalots sont couramment utilisés :

- ✚ Les dalots ordinaires constitués de piédroits verticaux fondés sur semelles ou radier général et sur lesquels repose une dalle en béton armé.
- ✚ Les dalots cadres dans lesquels la dalle, les piédroits et le radier constituent une structure rigide en béton armé (cadre).
- ✚ Les dalots portiques analogues aux dalots cadres mais sans radier (piédroits verticaux fondés sur semelles).

Nous choisirons ici des dalots cadres puisque ce sont des structures monolithiques, en ce sens que les traverses et les piédroits forment un tout, d'où leur simplicité et leur robustesse tout-à-fait avantageuses.

4.2.1.1. Condition de fonctionnement

Afin de déterminer les dimensions des ouvrages hydrauliques d'une route tel que le dalot, il convient de bien connaître les conditions dans lesquelles l'ouvrage va fonctionner et les diverses formes que peut prendre l'écoulement à travers ces ouvrages.

Pour notre dalot la sortie est libre, c'est-à-dire que le niveau de l'eau à l'exutoire immédiat de l'ouvrage est en dessous du bord supérieur de l'ouvrage. Le type d'écoulement dans le cas de

¹⁷ VAN TUU, *Hydraulique routière*.

la sortie aval libre dépend du niveau amont. Dans ce cas le niveau amont doit vérifier la condition suivante :

$$H_1/D \leq 1.25, D \text{ étant la hauteur du dalot.}$$

Le type de dalot choisi est donc un dalot à sortie dénoyée en écoulement à surface libre.

4.2.1.2. Dimensionnement hydraulique du dalot

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

Les valeurs B, D et Q étant connues, on calcule $Q^* = Q/BD \sqrt{2gD}$ ou on détermine Q^* grâce au graphique à points alignés. A l'aide de l'abaque fourni en annexe, on a alors $H_1^* = H_1/D$ dont on vérifiera la compatibilité avec le projet.

On recommencera le cas échéant avec une autre valeur de la largeur B, supérieure à la première valeur essayée.

Nous essayons en premier lieu trois dalots de hauteur D = 1 m et de largeur B = 1.5 m chacun.

Détermination de la profondeur d'eau en amont de l'ouvrage

La profondeur d'eau en amont de l'ouvrage pour le débit $Q = 9.15 \text{ m}^3/\text{s}$ soit un débit par dalot de

$$q = 9.15/3 = 3.05 \text{ m}^3/\text{s} \text{ se calcule par l'intermédiaire de :}$$

$$Q^* = q/A \sqrt{2gD} = \frac{3.05}{1 \times 1.5 \sqrt{2 \times 9.8 \times 1}} = 0.46$$

$$Q^* = 0.46$$

La courbe de A en [ANNEXE 7](#) donne alors :

$$H_1^* = 1.17 = H_1/D \Rightarrow H_1 = 1.17 \text{ m}$$

On a : $H_1 = 1.17 \text{ m} > D = 1 \text{ m} \Rightarrow$ La profondeur n'est pas acceptable.

Reprenons les calculs avec nos trois dalots (dalot à 3 ouvertures), cette fois en augmentant la valeur de B $\Rightarrow B = 2 \text{ m}$.

$$Q^* = q/A \sqrt{2gD} = \frac{3.05}{1 \times 2 \sqrt{2 \times 9.8 \times 1}} = 0.34$$

$$Q^* = 0.34$$

La courbe de A de l'abaque (sortie libre, dalot rectangulaire) donne alors :

$$H_1^* = 0.92 = H_1/D \Rightarrow \mathbf{H_1 = 0.92 \text{ m}}$$

On a : $H_1 = 0.92 \text{ m} < D = 1 \text{ m} \Rightarrow$ La profondeur est parfaitement acceptable.

Calcul de la pente critique du dalot

Il est nécessaire de s'assurer que l'ouvrage est capable d'évacuer le débit critique, correspondant à la hauteur amont. Dans ce cas, il faut au moins que la pente du canal soit au moins égale à la pente critique.

Connaissant le débit Q et la largeur B , on calcule donc :

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

La courbe de la pente critique en fonction du débit du dalot donne alors la valeur correspondante de : (Voir [ANNEXE 8](#))

$$I^*_c = \frac{I_c}{g/k^2 \times B^{1/3}}$$

On déduira la valeur de I_c cherchée, K étant égal à 67 pour les dalots en béton.

$$Q^* = \frac{q}{\sqrt{gB^5}} = \frac{3.05}{\sqrt{9.8 \times 2^5}} = 0.17$$

$$D'où I^*_c = \frac{I_c}{g/k^2 \times B^{1/3}} = 2.8 \Rightarrow I_c = 2.8 \times 9.8/67^2 \times 2^{1/3} = 7.7 \times 10^{-3}$$

$$I_c = 0.0077$$

Vérification de la vitesse d'écoulement dans le dalot

Pour obtenir la vitesse V , on calcule en premier lieu :

$$Q^* = \frac{q}{k I_c^{1/2} B^{8/3}}$$

Connaissant le débit Q à évacuer, la pente I et la largeur B du dalot ; la valeur V^* donnée par l'abaque en [ANNEXE 9](#) donne alors la vitesse.

$$V = k I^{1/2} B^{2/3} V^* \quad \text{Avec } k = 67.$$

Donc :

$$Q^* = \frac{q}{k I_c^{1/2} B^{8/3}} = \frac{3.05}{67 \times 0.0077^{1/2} \times 2^{8/3}} = 0.082$$

$$V^* = 0.305 \Rightarrow V = 67 \times 0.0077^{1/2} \times 2^{2/3} \times 0.305 = 2.85 \text{ m/s}$$

$$V = 2.85 \text{ m/s}$$

$V < 3 \text{ m/s} \Rightarrow$ La vitesse est acceptable pour le dalot étudié et peut être adopté pour le franchissement du cours d'eau concerné.

4.3. Dimensionnement structural du dalot (3 × 2 × 1)

L'objectif est de vérifier que le dimensionnement adopté pour le dalot lui confère le niveau de fiabilité requis compte tenu de la qualité exigée des matériaux qui seront utilisés et du niveau de contrôle prévu lors de l'exécution.

4.3.1. Pré dimensionnement du dalot

Cette étape permet de définir les épaisseurs des différents éléments constitutifs du dalot. L'épaisseur sera considérée uniforme pour le tablier, le radier et les piédroits.

Généralement, l'épaisseur du dalot est environ égale à :

$$e = \frac{l}{15} \text{ Où } l \text{ est la plus grande dimension de la cellule hydraulique.}$$

$$\text{Dans notre cas } l = 2 \text{ m} \Rightarrow e = \frac{200}{15} = 13.33 \text{ cm}$$

Pour nous assurer qu'il n'y aura pas d'acier comprimé et transversal dans le tablier, on peut utiliser la condition sur l en fonction de la hauteur de remblai H :

$$H < 2 \text{ m} ; e = l/10 - 5 \text{ cm}$$

$$e = 200/10 - 5 = 15 \text{ cm}$$

Finalement l'épaisseur e sera égale à :

$$e = \max(13.33; 15) = 15 \text{ cm}$$

$$e = 15 \text{ cm}$$

Vu l'absence de goussets sur le dalot, il sera nécessaire d'épaissir les traverses et les piédroits. Donc nous prendrons une épaisseur finale de :

$$e = 20 \text{ cm}$$

Pour la note de calcul détaillée du dimensionnement du dalot, se référer à [l'ANNEXE 10](#). Le plan de ferrailage du dalot est en [ANNEXE 11](#).

Le tableau N°25 récapitule les sollicitations et le choix des armatures du dalot 3 × 2 × 1 :

Tableau 25: Récapitulatif du ferrailage du dalot type 3*2*1

	Sollicitations		Valeurs (kN.m et kN)	Aciers principaux (cm ²)	Choix des armatures	Sections totalisées (cm ²)	Aciers de répartition	Choix des armatures	Sections totalisées (cm ²)
Tablier	Moment fléchissant	Travée A-B et CD (lit inférieur)	59.51	20.08	10HA16	20.11	5.02	10HA8	5.03
		Travée B-C (lit inférieur)	43.1	14.54	10HA14	15.39	4.35	4HA12	4.52
		Appuis B et C (lit supérieur)	69.254	23.46	8HA20	25.13	5.86	8HA10	6.28
Radier	Moment fléchissant	Travée A-B et CD (lit supérieur)	22.23	7.5	5HA14	7.7	4.35	4HA12	4.52
		Travée B-C (lit supérieur)	13.73	4.63	3HA14	4.62	4.35	4HA12	4.52
		Travée A-B et CD (lit inférieur)	26.48	8.93	8HA12	9.05	4.35	4HA12	4.52
Piédroits centraux B et C	Effort normal		463.1	9.6	9HA12	10.18	4.35	4HA12	4.52
Piédroits extérieurs A et D	Flexion composée		M = 46.65 N = 129.58	13.43	9HA14	13.85	3.36	7HA8	3.52

CHAPITRES V : SIGNALISATION ET SÉCURITÉ ROUTIÈRE, ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET COUT DU PROJET

Dans ce chapitre, l'aspect sécurité routière sera adopté notamment avec la prise en compte de la signalisation verticale et horizontale. Une étude d'impact environnemental permettra de mettre en lumière les impacts négatifs et positifs du projet afin de proposer des mesures d'atténuation et de correction. Enfin l'aspect budgétaire sera pris en considération pour estimer le coût de réalisation prévisionnel.

5.1. Signalisation et sécurité routière

La signalisation routière a pour objet :

- + De rendre plus sûre la circulation routière,
- + De faciliter cette circulation,
- + D'indiquer ou de rappeler diverses prescriptions particulières,
- + De donner des informations relatives à l'usage de la route.

Bien conçue et réalisée, elle réduit les causes d'accident et facilite la circulation. Insuffisante, trop abondante ou impropre, elle est facteur de gêne et d'insécurité.

Les principaux critères d'efficacité sont : l'uniformité, l'homogénéité et la simplicité.

- + L'uniformité implique l'interdiction d'utiliser, sur toutes les voiries, des signaux non réglementaires.
- + L'homogénéité exige que, dans des conditions identiques, l'utilisateur rencontre des signaux de même valeur et de même portée, implantés suivant les mêmes règles.
- + La simplicité s'obtient en évitant une surabondance de signaux qui fatigue l'attention de l'utilisateur, lequel tend alors à négliger les indications données ou même ne peut les lire, les comprendre ou les enregistrer.

En considérant les fonctions assurées par la signalisation, on distingue :

- + La signalisation permanente : Elle a trait aux conditions courantes de circulation : dangers, intersections et priorités,
- + La signalisation temporaire : Elle a trait aux modifications momentanées des conditions de circulation.

5.1.1. Signalisation temporaire

Pour sauvegarder la sécurité de l'utilisateur et celle des agents travaillant sur la chaussée ou ses abords immédiats, tout en maintenant la fluidité du trafic, il est nécessaire :

- D'informer l'utilisateur,

- De le guider,
- De le convaincre de modifier son comportement pour l'adapter à une situation qui lui est inhabituelle.

La signalisation temporaire se subdivise en trois catégories :

- ✚ La signalisation d'approche (danger, indication, prescriptions),
- ✚ La signalisation de position,
- ✚ La signalisation de fin de prescription (généralement placée en aval du chantier).

Sur notre chantier, vu la quantité de travail à effectuer, des déviations sont proposées le long du tronçon pour permettre d'écouler le trafic existant. Ces itinéraires de détournement sont obligatoires pour notamment éviter le passage des véhicules sur la chaussée en cours de réalisation. Passages qui peuvent conduire à l'apparition de flaches par exemple sur la couche d'imprégnation entre autres. La signalisation d'un détournement est composée :

- ✚ Signalisation du site d'entrée (position, pré signalisation...),
- ✚ D'une signalisation de jalonnement (changements de direction, ...),
- ✚ Signalisation de limite de vitesse.

Une distance de 100 m entre les panneaux est préconisée pour permettre leur mémorisation par les usagers.

5.1.2. Signalisation permanente

La signalisation permanente est installée de manière définitive dans l'optique d'assurer la sécurité des usagers pendant toute la période d'exploitation de la route. Elle comprend :

- ✚ Les signalisations horizontales,
- ✚ Les signalisations verticales.

5.1.2.1. Les signalisations horizontales

La signalisation horizontale est constituée des marques sur chaussées qui ont pour but d'indiquer sans ambiguïté les parties de la chaussée réservées aux différents sens de la circulation ou à certaines catégories d'usagers, ainsi que, dans certains cas, la conduite que doivent observer les usagers.¹⁸

Aussi la couleur blanche est la couleur utilisée par défaut pour les marquages sur chaussées.

On distingue :

- ✚ Lignes discontinues

¹⁸ Ministère des transports, « Instruction interministérielle sur la signalisation routière », arrêté du juin 1977.

Pour les routes en rase campagne, en section courante, hors points singuliers, la ligne discontinue de guidage est de type T1 et de largeur $2u$. Il est à noter que quand la largeur de la chaussée est inférieure à 5.2 m, il est déconseillé de réaliser un marquage axial.

Lignes continues

Elles sont utilisées à des endroits spécifiques de l'axe de la chaussée ou des parties de chaussée très dangereuses tels les virages ou autres zones de non dépassement.

Lignes de rive

Elles séparent la chaussée de l'accotement, et sont utilisées lorsque la chaussée ne comporte pas de bordures. Sur route et en section courante, la ligne de rive est de type T2 avec une largeur $3u$.

NB : La largeur des lignes est définie par rapport à une largeur unité « u » différente selon le type de route. On adopte la valeur $u = 5$ cm, dans notre cas.

5.1.2.2. Les signalisations verticales

La signalisation verticale regroupe les panneaux et les balises. Ces panneaux se distinguent par la variété de leurs formes, couleurs, contenus, emplacement... ; ils transmettent toutes sortes d'informations indispensables à la sécurité de l'utilisateur. Les panneaux suivants sont utilisés dans notre projet :

- Les panneaux de danger (type A),
- Les panneaux d'intersection et de priorité (type AB),
- Les panneaux de prescription (panneaux d'interdiction, d'obligation, de fin de prescription)

Vu que l'enduit superficiel résiduel en place sera complètement recyclé avec les couches existantes, on procèdera donc à la mise en œuvre de nouvelles marques de chaussée sur le nouvel enduit bicouche. Quant aux panneaux de signalisation, la route existante datant de 1983, la presque totalité est absente à part quelques très rares exceptions. Les rares panneaux encore existants seront remis à neuf pour être réemployés sur le tronçon avec évidemment un apport de nouveaux panneaux pour offrir une sécurité optimale aux usagers.

Pour les schémas des différentes signalisations, voir [ANNEXE 13](#).

5.2. Etude d'impact environnemental

5.2.1. Cadre politique, juridique et institutionnel

5.2.1.1. Cadre politique

Au Niger, la protection de l'environnement est une priorité de l'environnement qui l'a exprimé dans plusieurs de ses textes de lois, mais aussi à travers les politiques et programmes, indispensables pour assurer les objectifs du développement.

5.2.1.2. Cadre juridique

Pour asseoir le cadre politique de mise en œuvre de la politique environnementale du Niger, il est fondamental de l'accompagner d'un cadre juridique et institutionnel chargé de définir et d'exécuter les grandes orientations stratégiques et politiques du Niger en matière de protection de l'environnement. Il s'agit des conventions internationales, des traités, et règlements signés ou ratifiés par le Niger, mais également du cadre juridique national qui s'appuie sur la loi fondamentale qui est la constitution du 25 novembre 2010. En son article 35, elle consacre le droit à chaque citoyen, à un environnement sain et son devoir, ainsi que celui de l'Etat d'œuvrer pour assurer la protection de l'environnement.

Le tableau N°26 ci-dessous résume le cadre juridique national qui s'applique sur notre projet.

Tableau 26: Cadre juridique national

Intitulé du texte	Dates d'adoption	Références contextuelles
Constitution de la 7^e république du Niger	25 novembre 2010	Article 35 « L'Etat a l'obligation de protéger l'environnement dans l'intérêt des générations présentes et futures. Chacun est tenu de contribuer à la sauvegarde et à l'amélioration de l'environnement dans lequel il vit [...]. L'Etat veille à l'évaluation et au contrôle des impacts de tout projet et programme de développement sur l'environnement ».
Loi n°98-56 portant Loi Cadre sur la gestion de l'environnement	29 décembre 1998	Article 31 : « Les activités, projets et programmes de développement qui, par l'importance de leurs dimensions ou leurs incidences sur les milieux naturel et humain, peuvent porter atteinte à ces derniers sont soumis à une autorisation préalable du ministre chargé de l'environnement [...] ».
Loi n°2001-32 portant orientation de la Politique d'Aménagement du Territoire.	31 décembre 2001	Article premier « La présente loi a pour objet de fixer le cadre juridique de toute intervention ayant pour effet la structuration, l'occupation et l'utilisation du territoire national et de ses ressources ». Par ailleurs, il identifie et suscite la mise en valeur de toutes les potentialités susceptibles de favoriser l'ancrage des populations dans leurs zones. Article 34 : « l'État veille à la prise en compte de la dimension environnementale lors de la formulation des programmes et des projets en y incluant notamment des études d'impact environnemental intégrant les aspects biologiques, socioéconomiques et culturels. Il veille également, au respect des conventions internationales en la matière par tous les acteurs au développement ».
Loi 2004-040 portant sur le régime forestier au Niger	08 juin 2004	Article 28 « Les forêts domaniales sont gérées par l'administration chargée des forêts ou sous son contrôle, en associant les populations concernées, dans des conditions déterminées par la présente loi et ses textes d'application ». Certaines espèces forestières du fait de leur statut, ne doivent pas être coupées sans autorisation préalable délivrée par des services compétents en la matière.
Ordonnance n°93-13 instituant un Code d'hygiène publique	2 mars 1993	Les articles 87, 91 et 92 traitent de l'hygiène du milieu naturel et prescrivent qu'en zone rurale, l'enfouissement et l'incinération des ordures ne doit pas être à l'origine de la pollution de la nappe souterraine. L'article 106 interdit « l'installation des ateliers bruyants ou toute autre source de bruit intense aux abords des établissements scolaires, formations sanitaires, lieux saints et autres services administratifs ».

Ordonnance n°97-001 portant institutionnalisation des EIE	10 janvier 1997	Article 4 : « Les activités, projets ou programmes de développement qui, par l'importance de leurs dimensions ou leurs incidences sur les milieux naturel et humain, peuvent porter atteinte à ces derniers, sont soumises à une autorisation préalable du Ministre chargé de l'Environnement. Cette autorisation est accordée sur la base d'une appréciation des conséquences des activités, du projet ou du programme mis à jour par une EIE élaborée par le Promoteur ».
Ordonnance n°2010-09 portant code de l'eau au Niger	1 ^{er} avril 2010	Article 6 : « la présente ordonnance reconnaît que l'eau est un bien écologique, social et économique dont la préservation est d'intérêt général [...] ». Article 12 : « Ceux qui de par leurs activités utilisent la ressource en eau, doivent contribuer au financement de la gestion de l'eau, selon leur usage, en vertu du principe Préleveur-payeur ».
Décret n°97-006/PRN/MAG/E portant sur la mise en valeur des ressources naturelles rurales	10 Janvier 1997	Il définit la mise en valeur comme « toute activité ou action matérielle engagée par l'homme sur une ressource naturelle en vue de son exploitation rationnelle et durable suivant des moyens propres à la protéger, la restaurer et en améliorer la qualité productive et le rendement ».
Décret 2000-272/PRN/PM du 4 Août 2000 modifié et complété par le Décret n°2011-057 portant sur la Coordination des actions gouvernementales en matière de convention post Rio	27 janvier 2011	Article 3 (nouveau) : « Le CNEDD est l'organe de coordination et de suivi des activités relatives aux conventions post-Rio [...]. De ce fait, il est le point focal politique national du suivi de la mise en œuvre desdites conventions »
Décret n°2000-397/PRN/ME/LCD portant sur la procédure administrative d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement	20 octobre 2000	Ce décret précise la démarche administrative à suivre pour une intégration des préoccupations environnementales dans la planification des programmes, projets et activités de développement socio-économique
Décret n°2000-398/PRN/ME/LCD déterminant la Liste des activités, travaux et documents de planification assujettis aux EIE	20 octobre 2000	Liste des Activités, Travaux et Documents de planification assujettis aux EIE
Décret n°2011-404 déterminant la Nomenclature des aménagements, installations, ouvrages [... concession d'utilisation d'eau	31 août 2011	Annexe 2 : Type d'aménagements, installations, ouvrages, travaux et activités pouvant être un « Réseau de canalisations ouvertes ou fermées de transport d'eau brute ou traitée » sont sous le régime d'une autorisation avec EIE
Décret n°2011-404 fixant les modalités et procédures de déclaration, d'autorisation et de concession d'utilisation d'eau	31 août 2011	Article 19 : « Dans le cas d'une opération soumise à une EIE, la demande est adressée au ministre en charge de l'environnement, qui l'instruit conformément aux dispositions du décret 2000-397/PRN/ME/LCD du 20 octobre »

5.2.1.3. *Cadre institutionnel*

L'exécution de la politique nationale de protection de l'environnement pour un développement durable est sous la responsabilité d'une multitude d'acteurs, dont le ministère chargé de l'environnement est le chef de file, à travers sa Direction Générale de l'Environnement et des Eaux et Forêts (DGE/EF) et ses directions nationales. Outre le ministère chargé de l'environnement, d'autres ministères dont les avis sont pertinents entre dans la mise en œuvre des activités relevant de ce projet :

- ✚ Le ministère de l'équipement,
- ✚ Le ministère du plan, de l'aménagement du territoire et du développement communautaire,
- ✚ Le ministère de l'agriculture,
- ✚ Le ministère de l'élevage.

5.2.2. Identification des impacts du projet

L'approche méthodologique utilisée pour l'identification des impacts du projet est basée sur l'analyse des effets résultant des interactions entre le milieu récepteur et les équipements à implanter ou les activités à réaliser. Cette analyse permet de mettre en liaison les activités sources d'impact associées au projet et les composantes environnementales des différents milieux susceptibles d'être affectés.

5.2.2.1. *Les activités sources d'impacts*

Ce sont l'ensemble des activités prévues lors des phases de préparation, de construction et d'exploitation du projet.

5.2.2.2. *Les éléments de l'environnement*

Les éléments de l'environnement pouvant être affectés par la réalisation du projet sont regroupés en deux composantes à savoir :

- ✚ Biophysiques (les sols, l'air, les ressources en eau, la végétation, la faune et le paysage)
- ✚ Humaines (la santé et la sécurité, la mobilité, l'emploi et les revenus, l'agriculture et l'élevage, les infrastructures).

Une matrice d'interrelations permet d'appréhender les interactions entre les éléments impactés et les activités sources d'impacts. (Voir [ANNEXE 12](#) : Matrice d'interrelations)

5.2.3. Evaluation des impacts du projet

Comme impacts positifs potentiels sur le milieu humains on peut citer entre autres :

- ✚ La création d'emploi temporaire au profit des bras valides, particulièrement ceux des villages environnants. Cela permettra la réduction du taux de chômage qui est déjà très important, et une redistribution des bénéfices liés aux travaux. ;
- ✚ Facilitation de l'accès des populations aux services ;

- + Réduction des durées de déplacement entre les agglomérations situées le long de la route ;
- + Augmentation des flux des hommes d'affaire dans la zone ;
- + Relance des activités socio-économiques ;
- + Amélioration des revenus des plus démunis et création d'emplois.

Le tableau N°27 ci-après constitue le bilan des impacts négatifs de la route sur son environnement.

Tableau 27: Bilan des impacts négatifs

Composante affectée	Périodes	Source de l'impact	Description de l'impact
Milieu biophysique			
Eau	Phase de construction de la route ; Phase d'exploitation de la route.	Ponction d'eau ; Fonctionnement des ouvrages.	Risque d'affaissement de la nappe ; Transport de gravats, huile et autres déchets issu du chantier
Air	Phase de construction de la route	Poussières, fumées	Maladies respiratoires
Flore	Phase de construction de la route	Déblayage des herbacées	Abattage des touffes herbacées dans le koris et dépression
Sols	Phase de construction de la route	Travaux de préparation des emprises ; Travaux d'ouverture des carrières et sites d'emprunts	Modification de la topographie des sols des sites des carrières et pistes d'accès ; Erosion du sol.
Milieu humain			
Santé et bien-être des populations	Phase de construction et d'entretien de la route	Présence de la main d'œuvre	Transmission des MST-SIDA
Bruit	Phase de construction de la route	Tavaux de préparation des emprises et travaux connexes	Nuisances sonores pour les travailleurs de chantier et pour les populations locales
Sécurité et santé	Phase de construction	Travaux de construction de la route	Accidents de travail lors des travaux, Accidents de circulation, Apparition de certaines maladies liée aux émissions de poussières etc.

5.2.4. Mesures d'atténuation

Pour minimiser les dommages, il est proposé un certain nombre de mesures correctives et préventives qui seront nécessaires pour donner au projet sa raison d'être et atteindre ses objectifs de développement socio-économique et environnemental.

Le tableau N°28 ci-dessous résume les impacts négatifs les plus significatifs et leurs mesures d'atténuations

Tableau 28: Mésures d'atténuation des impacts négatifs

Milieux	Récepteur	Activités sources d'impact	Impacts potentiels	Mesures d'atténuation
Milieu biophysique	Eaux	<ul style="list-style-type: none"> -Travaux de terrassement, remblayage, rechargement compactage, reprofilage -Circulation des véhicules. 	<ul style="list-style-type: none"> -Répercussions sur la disponibilité en eau durant les travaux de chantier ; -Pollution des eaux par les hydrocarbures ; -Eutrophisation des eaux des mares ; -Contamination des points d'eau par les dépôts des poussières ; - Pollution des eaux souterraines. 	<ul style="list-style-type: none"> -Construction des forages routiers ; -Effectuer des vidanges avec à la base vie de l'entreprise ou dans les espaces agréés ; -Mise en place d'un système de traitement et de recyclage des eaux usées ; -Entreposage adéquat des produits huileux et pétroliers.
	Sols	<ul style="list-style-type: none"> -Travaux préparatoires des emprises et installation connexes ; -Décapage des couches superficielles des sols au niveau de la carrière et zone d'emprunts. 	<ul style="list-style-type: none"> -Pollution par les hydrocarbures et autres déchets ; -Modification de la structures et texture des sols des sites de carrière ; -Erosion des sols. 	<ul style="list-style-type: none"> -Installer un bac métallique pour les huiles de vidanges ; -Installer un collecteur des eaux usées provenant des garages ; -Installer un bac à ordures dans la base vie ; -Aménagement des carrières ; -Fixation des dunes de sables.

	Air	Travaux de préparation des emprises	-Dégradation de la qualité de l'air ambiante par les émissions de poussières.	-Information et sensibilisation des populations locales sur l'altération de la qualité de l'air ambiant ; -Port d'IEP par le personnel ; -Arrosage régulier des pistes d'accès aux carrières ; -Mise en œuvre d'un plan de circulation des engins ; -Arrosage systématique des déviations.
	Revenus	Travaux de construction	-Création d'emplois pour la main d'œuvre non qualifiée lors des travaux de construction ; -Création d'emplois directs et frein à l'exode rural ; -Développement des transactions commerciales (petit commerce, embauche, vente des produits artisanaux, maraichers...).	-Donner un quota important aux locaux lors du recrutement de la main d'œuvre ; -Valorisation de l'emploi en donnant aux travailleurs un revenu mensuel consistant.
Milieu humain	Bruit	Travaux de préparation des emprises et travaux connexes	Nuisances sonores pour les travailleurs de chantier et pour les populations locales.	-Interdire de réaliser des travaux bruyants en dehors des heures normales de travail ; -Respect des normes internationales d'émissions sonores ; Entretien régulier des équipements.

Santé, sécurité et bien-être des populations et des travailleurs	Travaux de construction de cette route	<ul style="list-style-type: none"> -Apparition des certaines maladies liée aux émissions de poussières ; -Accroissement du taux des IST/SIDA dans la zone du projet ; Accidents de travail lors des travaux ; -Accidents de circulation ; -Dégradation de la santé des travailleurs suite aux dégagements des poussières. 	<ul style="list-style-type: none"> -Mise en œuvre d'un plan d'urgence de sécurité et d'une équipe de sécurité ; -Mise en place d'une boîte pharmaceutique des soins d'urgence ; -Mise en place de ralentisseurs de vitesse à l'entrée et sortie des agglomérations proche de la route ; -Organisation des séances de formation à l'intention des travailleurs de chantier en matière de sécurité et santé. -Faire une visite médicale à l'embauche ; -Immatriculer les travailleurs à la caisse de sécurité sociale ; -La mise en place des installations sanitaires convenables dans la base vie.
	Affectation des terres	Travaux de construction de routes et ouverture de déviations	<ul style="list-style-type: none"> Occupation des terres et cultures par les déviations. -Indemnisation des propriétaires des terres de cultures conformément à la loi portant expropriation pour cause d'utilité publique.

5.3. Études estimatives

Cette étude vise à donner une tranche de prix pour l'ensemble des travaux à exécuter. Les prix donnés sont à titres indicatifs et susceptibles de changer suivant le cours des monnaies, la fluctuation du prix des marchandises. Mais la connaissance de ces prix est très utile lors de l'étude de faisabilité, permettant de savoir si la structure a ou non les moyens de mener à bien les travaux.

Les travaux à réalisés sont décomposés en plusieurs tranches et regroupés dans le tableau N°29 suivant :

Tableau 29: Répartition du coût par poste de travail

Séries	Poste de travaux	Montant HT	%HT
000	Installation des bases	1 270 486 728	51.44
100	Terrassement	81 823 050	3.31
200	Travaux corps de chaussée	209 825 560	8.50
300	Revêtements en enduits superficiels	473 569 427	19.17
400	Assainissement	130 626 194	5.29
500	Ouvrages	21 126 788	0.86
600	Signalisation	63 946 248	2.59
700	Environnement et travaux connexes	218 427 459	8.84
Total hors taxes		2 469 831 454	100.00
Imprévus 7%		172 888 202	
Contrôle 10%		246 983 145	
Coût du projet		2 889 702 801	

Nous remarquons que l'installation des bases représente à elle seule plus de la moitié de l'enveloppe du projet, ceci s'explique par le fait que le projet de réhabilitation du tronçon Balleyara-Filingué fait une distance de 83 km, et l'installation de ces bases vie couvre donc la totalité du tronçon.

Le cadre de devis quantitatif et estimatif est en [ANNEXE 14](#) pour plus de détails.

CONCLUSION GÉNÉRALE

La question centrale traitée par cette étude est la réhabilitation d'un tronçon de 10 Km de la route Balleyara-Filingué situé entre le PK 45+00 et le PK 55+00. Cette solution de réhabilitation est préférée à la réalisation d'une structure neuve du fait du coût élevé de réalisation des travaux neufs entre autres, mais aussi de la viabilité d'une réhabilitation qui offre une durée de vie honorable à la route.

Au terme de cette étude, la solution de renforcement retenue est bien à même d'écouler le trafic total de la zone de projet. Il s'agit d'un renforcement en grave non traité d'une épaisseur de 20 cm sur les couches de fondation et de base existante d'épaisseur respective 15 cm, préalablement recyclées.

Ainsi l'ouvrage hydraulique dimensionné concourt à assurer la mise hors eau de la chaussée. C'est un dalot cadre de $3 \times 2 \times 1$ situé au PK 53+860 en béton armé totalisant une section d'aciers de 143.46 cm^2 .

Ensuite le volet signalisation et sécurité routière permet le choix de signalisations adéquates qui facilitent la circulation routière et la rendent plus sûre pour les usagers. L'aspect environnemental est également pris en compte pour que le projet ne soit pas un frein mais plutôt un levier tant pour la population que pour la flore et la faune en atténuant le plus possible les impacts négatifs du projet.

Enfin, une étude quantitative et estimative a permis d'estimer le coût global du projet à **2 889 702 801 F CFA HT**. Cependant l'aspect entretien doit être privilégié pour que la route puisse assurer sa fonction le long de sa durée de vie. Cet aspect entretien doit être primordial afin d'éviter de répéter les mêmes erreurs que dans le passé.

BIBLIOGRAPHIE

- ✚ CEBTP – LCPC : « Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux », Mai 1985 ;
- ✚ CEBTP : « Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux », 1980 ;
- ✚ FAO, Crues et apports : « Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche », 1996 ;
- ✚ Mahamane Nouri ABDOULAYE DAOUDA, 2iE, « Etude des travaux de réhabilitation / construction de la route nationale N°11 Sud ZINDER – MAGARIA – FRONTIERE NIGERIA : Tronçon du PK 18+000 au PK 28+000, Lot 2 », mémoire de fin de cycle de Master, 2016.
- ✚ MEKADDEM Ali, GOUGARI Abdessamie, Université Aboubekr Belkaid Tlemcen, « Réhabilitation de la route nationale N°97 entre Sidi Bel Abbes et Mascara sur 19 Km », mémoire de fin de cycle Master, 2014 ;
- ✚ Ministère de l'équipement et du logement, et Ministère de l'économie et des finances, « Fascicule n°61 Titre II du CCTG : Programmes de charges et épreuves des ponts routes », Texte officiel, 1981 ;
- ✚ Ministère de l'équipement, des transports et du logement, « Fascicule n°62-Titre I Section I du CCTG : Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites-BAEL 91 révisé 99 », Texte officiel, 1999 ;
- ✚ Ministère des transports, « instruction interministérielle sur la signalisation routière », arrêté du 7 juin 1977 ;
- ✚ Nguyen VAN TUU, « hydraulique routière » janvier 1979 ;
- ✚ SETRA – LCPC : « Conception et dimensionnement des structures de chaussée », décembre 1994.
- ✚ SETRA : « Aménagement des routes principales », Août 1994 ;

ANNEXES

LISTE DES FIGURES

Figure 1:déformations et contraintes verticales	3
Figure 2: Structure retenue	4
Figure 3:Ajustement de la loi de Gumbel	10
Figure 4: Intervalles de confiance à 95%	16
Figure 5: Carte isohyète	17
Figure 6: Sortie libre dalot rectangulaire.....	18
Figure 7: Pente critique	19
Figure 8: Vitesse dans un dalot	20
Figure 9:Disposition de deux camions dans le sens longitudinal (Système Bc)	25
Figure 10:Disposition de deux camions dans le sens transversal (Sous-système Bc)	25
Figure 11:Valeurs du coefficient bc	25
Figure 12:Disposition sous - système Bt.....	27
Figure 13: Configuration sous - système Br.....	28

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Moyenne mobile.....	7
Tableau 2: Fréquences expérimentales et variables réduites.....	8
Tableau 3: Paramètres de la loi de Gumbel.....	9
Tableau 4: Test de validité de l'ajustement	11
Tableau 5: Récapitulatif fréquences expérimentales et quantiles	15
Tableau 6: Classification selon le Fascicule 61 titre 2 du CPC	24
Tableau 7: Chargement sous - système Bc par voie.....	26
Tableau 8: Charge Bt par essieu.....	27
Tableau 9: Matrice d'interrelations.....	50
Tableau 10: Devis quantitatif et estimatif	53

TABLES DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	i
LISTE DES TABLEAUX	ii
ANNEXE 1 : FAMILLES DE DÉGRADATIONS RECENCÉES SUR LA CHAUSSÉE EXISTANTE	1
1. Les fissurations.....	1
2. Les déformations	1
3. Les nids de poule.....	1
4. Les réparations	2
ANNEXE 2 : NOTE DE CALCUL ALIZÉ LCPC	3
ANNEXE 3 : EXTRAIT DU TRACÉ COMBINÉ DE L'AXE PRINIPAL	5
ANNEXE 4 : PROFIL EN TAVERS TYPE.....	6
ANNEXE 5 : NOTE DE CALCUL DÉTAILLÉE ÉTUDE HYDROLOGIQUE.....	7
1. Moyenne mobile.....	7
2. Ajustement de la loi de Gumbel	8
3. Test de validité de l'ajustement (test d'adéquation χ^2).....	10
4. Calcul des intervalles de confiance des quantiles.....	11
4.1 Détermination des pluies journalières maximales avec un intervalle de confiance de 95% :	12
ANNEXE 6 : CARTE DES ISOHYÈTES	17
ANNEXE 7 : SORTIE LIBRE DALOT RECTANGULAIRE	18
ANNEXE 8 : CALCUL DE LA PENTE CRITIQUE.....	19
ANNEXE 9 : CALCUL DE VITESSE DANS UN DALOT	20
ANNEXE 10 : NOTE DE CALCUL DALOT 3 × 2 × 1	21
1. Hypothèses de calcul	21
2. Evaluation des charges permanentes et surcharges routières	21
2.1. Calcul des charges permanentes	22
2.2. Calcul des charges variables.....	22
3. Détermination des efforts et sollicitations	29
3.1. Au niveau du tablier	29
3.2. Au niveau du radier	30
3.3. Au niveau des piédroits centraux B et C	31
3.4. Au niveau des piédroits extérieurs A et D.....	31
4. Calcul des sections d'armatures	32

4.1.	Calcul des armatures du tablier	32
4.2.	Calcul des armatures du radier	38
4.3.	Calcul des armatures des piédroits centraux B et C	43
4.4.	Calcul des armatures des piédroits extérieurs A et D.....	44
ANNEXE 11 : PLAN DE FERRAILLAGE DALOT 3 × 2 × 1		49
ANNEXE 12 : MATRICE D'INTERRELATIONS		50
ANNEXE 13 : SIGNALISATION ROUTIÈRE		52
ANNEXE 14 : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF		53

ANNEXE 1 : FAMILLES DE DÉGRADATIONS RECENCÉES SUR LA CHAUSSÉE EXISTANTE

1. Les fissurations

Elles sont organisées en plusieurs types : les fissurations transversales, les fissurations longitudinales, les fissurations circulaires ou obliques et les faïençages à mailles fines et à mailles larges etc. On les remarque pratiquement sur 70% de notre tronçon.



2. Les déformations

Elles sont caractérisées par les flaches, les affaissements, les bourrelets et les ornières. Leur gravité (2 dans notre cas) est appréciée par rapport à la profondeur. Elles apparaissent sur quasiment 94% du tronçon.



Elles sont souvent dues au défaut de résistance d'une couche inférieure de la chaussée, ou de la fondation. Elles peuvent également être dues à une insuffisance de stabilité d'une couche de surface ou enrobés.

3. Les nids de poule

Ce sont des cavités à bords francs plus ou moins profondes, caractérisées par la destruction complète de la couche de roulement et de l'éjection de quantités importantes de matériaux du corps de chaussée. Ils se répartissent sur la totalité du tronçon avec un degré de gravité 3.



Ils sont dus à :

- L'éclatement d'une ou plusieurs mailles de faïençage ;
- Un défaut localisé de la couche de roulement (mauvaise déformation, surchauffe du bitume, vieillissement du bitume etc.).

4. Les réparations

Elles sont généralement exécutées pour pallier aux défauts de la chaussée de façon provisoire ou définitive, leur fréquence, leur étendue et leur nombre sont des éléments du diagnostic. Elles apparaissent le plus souvent à la suite des nids de poule qui résultent des fissurations.



ANNEXE 2 : NOTE DE CALCUL ALIZÉ LCPC

La vérification du calcul du dimensionnement est faite avec le logiciel Alizé – LCPC, elle nous permettra de confirmer ou d’infirmer la structure de chaussée choisi.

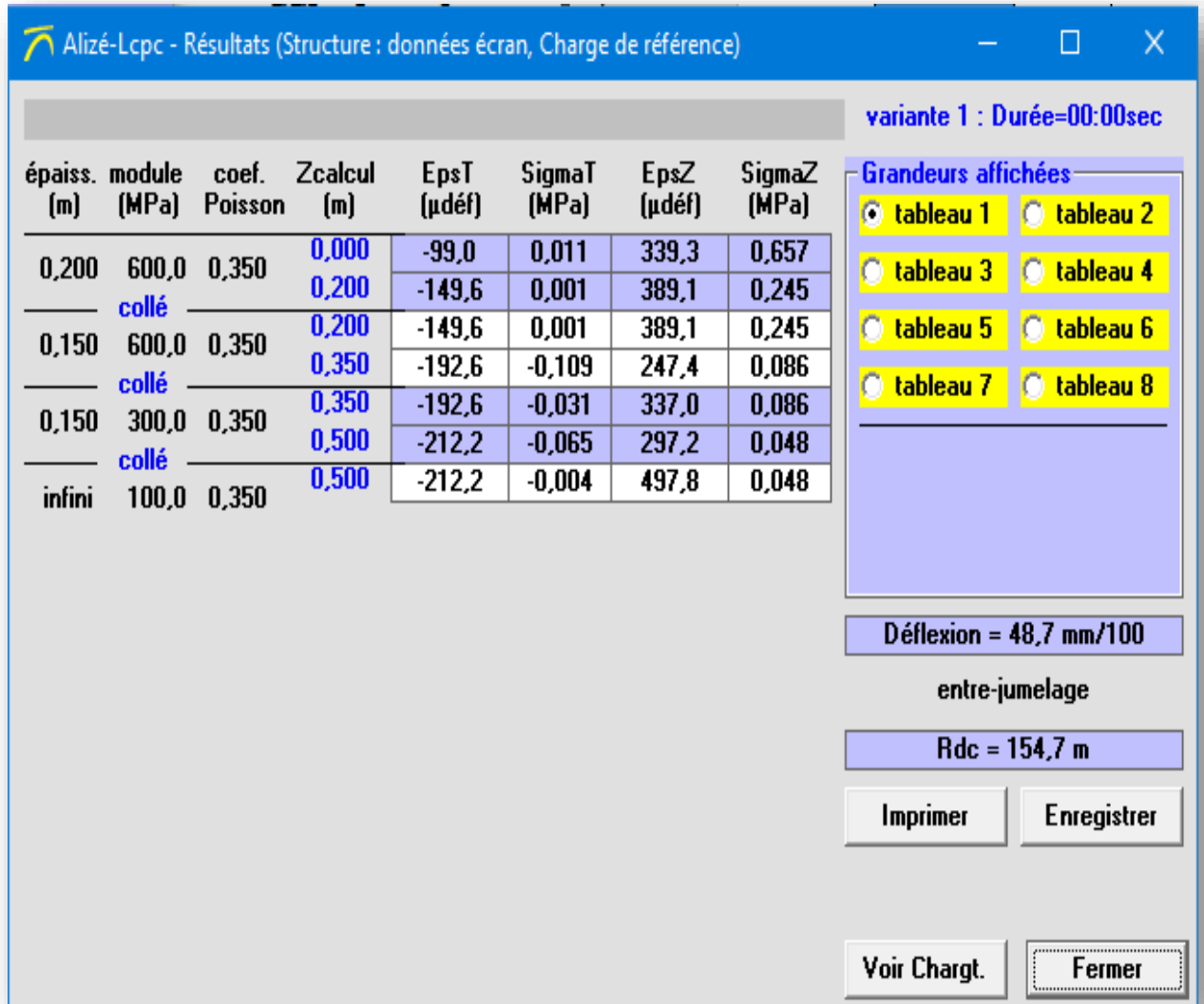


Figure 1 : déformations et contraintes verticales

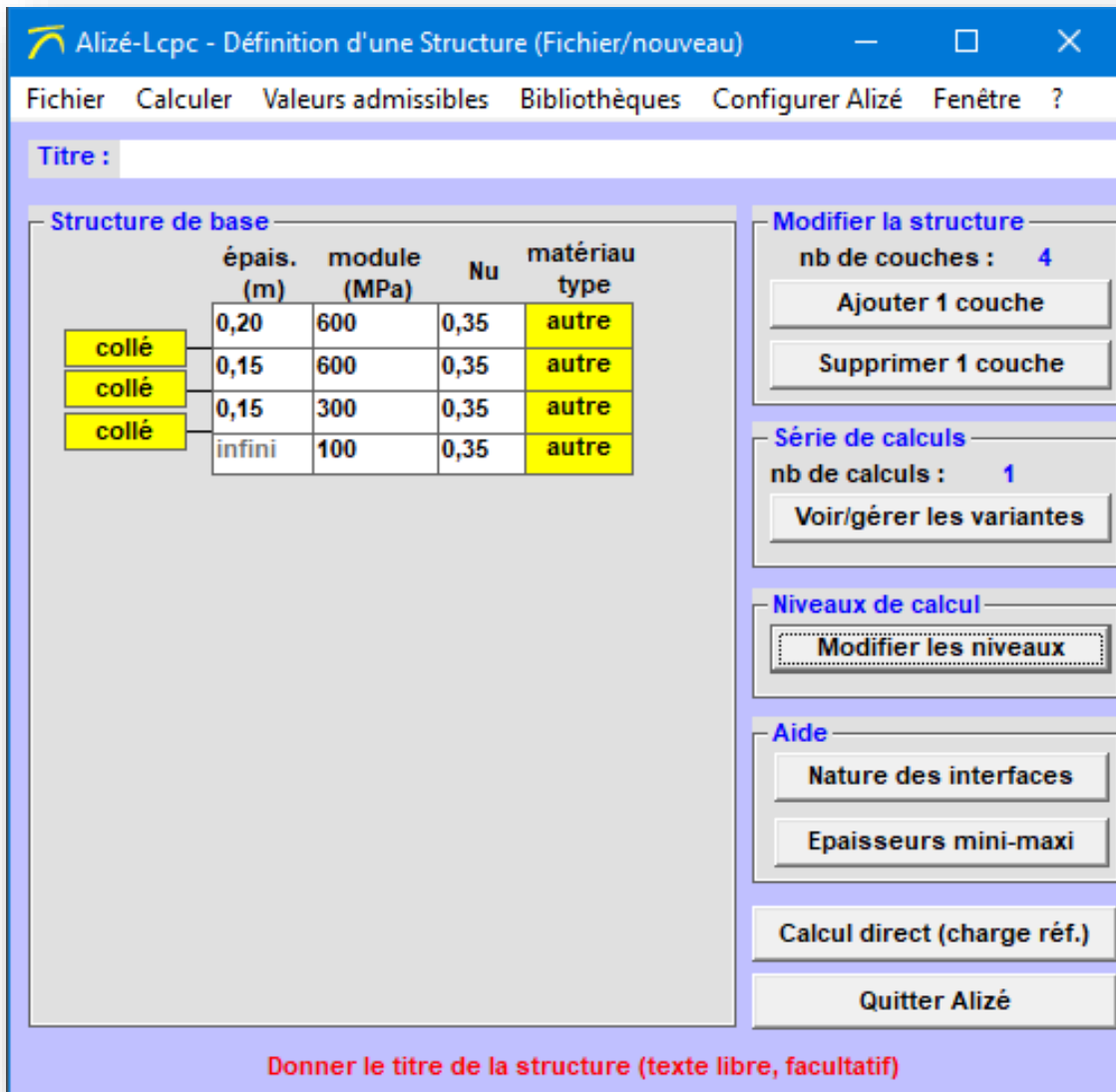


Figure 2 : Structure retenue

ANNEXE 3 : EXTRAIT DU TRACÉ COMBINÉ DE L'AXE PRINIPAL

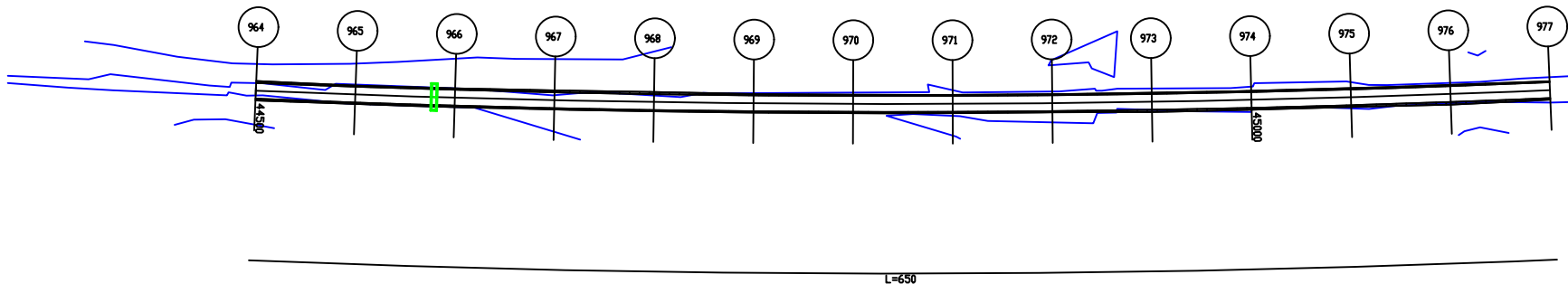


PLANCHE 8/18
 ECHELLE EN S 1/ 2000
 ECHELLE EN Z 1/ 200
 PLAN DE COMPARAISON

	0.25	0.25	0.24	0.26	0.25	0.25	0.26	0.25	0.24	0.28	0.23	0.25	0.23	0.24
	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977
COTES TERRAIN	213.14 213.15	213.19 213.19	213.21 213.21	213.20 213.20	213.22 213.22	213.24 213.24	213.24 213.24	213.27 213.27	213.30 213.30	213.28 213.28	213.34 213.34	213.34 213.34	213.36 213.36	213.35 213.35
DISTANCES PARTIELLES		50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
DISTANCES CUMULEES	44500.00 44500.76	44550.00 44553.76	44600.00	44650.00	44700.00 44700.80	44750.00	44800.00	44850.00 44850.10	44900.00	44950.00	45000.00	45050.00 45051.73	45100.00	45150.00
COTES PROJET	213.29 213.40	213.44 213.44	213.45	213.46	213.47 213.47	213.48	213.50	213.53 213.53	213.54	213.56	213.57	213.59 213.59	213.59	213.59
DECLIVITES PROJET	P=0.09% L=44.476	P=0.02%			P=0.03% L=145.437			P=0.04% L=149.102				P=0% L=198.174		L=98.273
ALIGNEMENTS ET COURBES	R=7794.7 L=650													



REPUBLIQUE DU NIGER
 Fraternité-Travail-Progress

ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX DE
 REHABILITATION DE LA ROUTE BALLEYARA- FILINGUE:
 TRONCON DU PK 45+000 AU PK 55+000

TRACE COMBINE DE L'AXE PRINCIPAL

Date: Mars 2013

Ech : Ajust au Format	Plan : N°1
--------------------------	------------

Dessiné par : Groupe Art & Génie

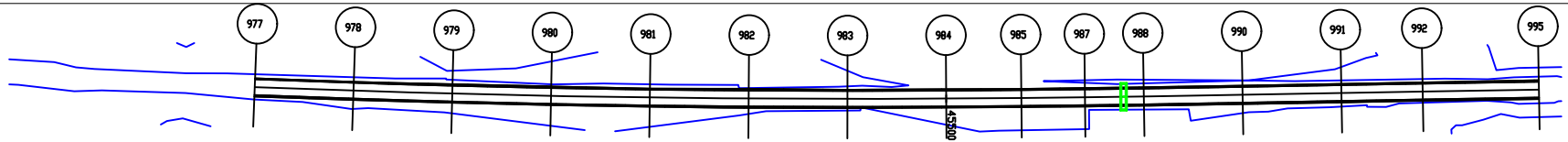


PLANCHE 9/18
 ECHELLE EN S 1/ 2000
 ECHELLE EN Z 1/ 200
 PLAN DE COMPARAISON

	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995
COTES TERRAIN	213.55	213.24	213.34 213.34	213.35	213.36	213.37	213.35	213.35 213.35	213.35	213.35	213.24	213.24 213.34	213.35	213.35	213.37	213.37	213.36	213.35	213.35
DISTANCES PARTIELLES		50	50	50	50	50	50	38.02	12	20.2	29.8	46.86	50	41.19		50			
DISTANCES CUMULEES	45150.00	45200.00	45250.00 45250.05	45300.00	45350.00	45400.00	45450.00	45500.00 45500.10	45538.01	45550.00	45570.20	45600.00 45603.14	45650.00	45700.00	45741.19	45750.00	45800.00		
COTES PROJET	213.59	213.59	213.59 213.59	213.59	213.59	213.60	213.60	213.60 213.60	213.60	213.60	213.59	213.59 213.59	213.60	213.60	213.60	213.61	213.61	213.61	213.61
DECLIVITES PROJET	P=0%	L=99.95		P=0%	L=249.845			L=102.509	P=0%		P=0.01%		L=196.331						
ALIGNEMENTS ET COURBES	R=7794.7 L=388.016																		
	R=12.041 L=32.187						R=5000 L=32.939		R=11.621 L=138.047			R=11.679 L=54.311							



REPUBLIQUE DU NIGER
 Fraternité-Travail-Progress

ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX DE
 REHABILITATION DE LA ROUTE BALLEYARA- FILINGUE:
 TRONCON DU PK 45+000 AU PK 55+000

TRACE COMBINE DE L'AXE PRINCIPAL

Date: Mars 2013

Ech :
 Ajust au Format

Plan : N°2

Dessiné par : Groupe Art & Génie

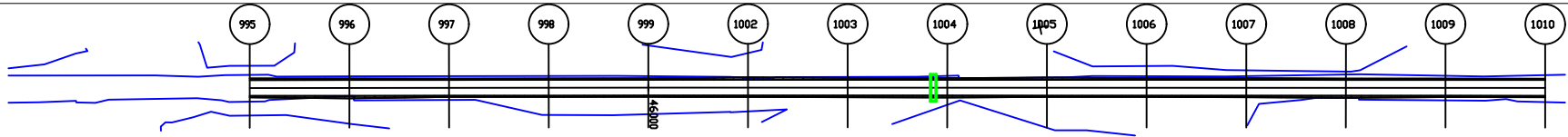


PLANCHE 10/18
 ECHELLE EN S 1/ 2000
 ECHELLE EN Z 1/ 200
 PLAN DE COMPARAISON

	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	
COTES TERRAIN	213.35	213.35	213.37	213.38	213.38	213.38	213.39	213.39	213.39	213.38	213.39	213.39	213.36	213.37	213.38	213.40	
DISTANCES PARTIELLES	50	50	50	50	50	12	32.25	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
DISTANCES CUMULEES	45800.00	45850.00	45900.00	45950.00	45950.00	46000.00	46011.97	46077.5	46050.00	46100.00	46150.00	46200.00	46250.00	46300.00	46350.00	46400.00	46450.00
COTES PROJET	213.61	213.62	213.62	213.63	213.63	213.63	213.63	213.63	213.64	213.64	213.64	213.64	213.63	213.62	213.63	213.64	
DECLIVITES PROJET	P=0.01%			P=0.01%				P=0.01%			P=0.02%		P=0.02%				
ALIGNEMENTS ET COURBES	r=11.679 L=211.971			L=149.932				L=248.684			L=146.8		r=11.752 L=432.252		L=98.048		



REPUBLIQUE DU NIGER Fraternité-Travail-Progrès		Date: Mars 2013	
ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX DE REHABILITATION DE LA ROUTE BALLEYARA- FILINGUE: TRONCON DU PK 45+000 AU PK 55+000		Ech : Ajust au Format	Plan : N°3
TRACE COMBINE DE L'AXE PRINCIPAL		Dessiné par : Groupe Art & Génie	

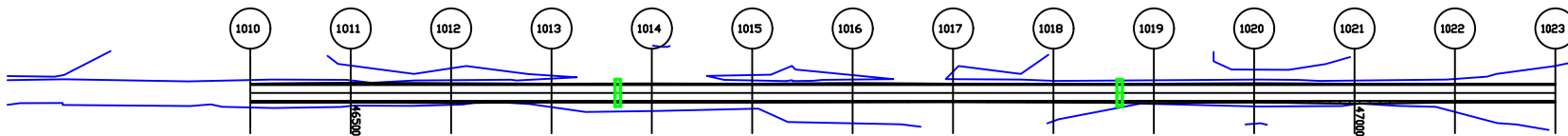
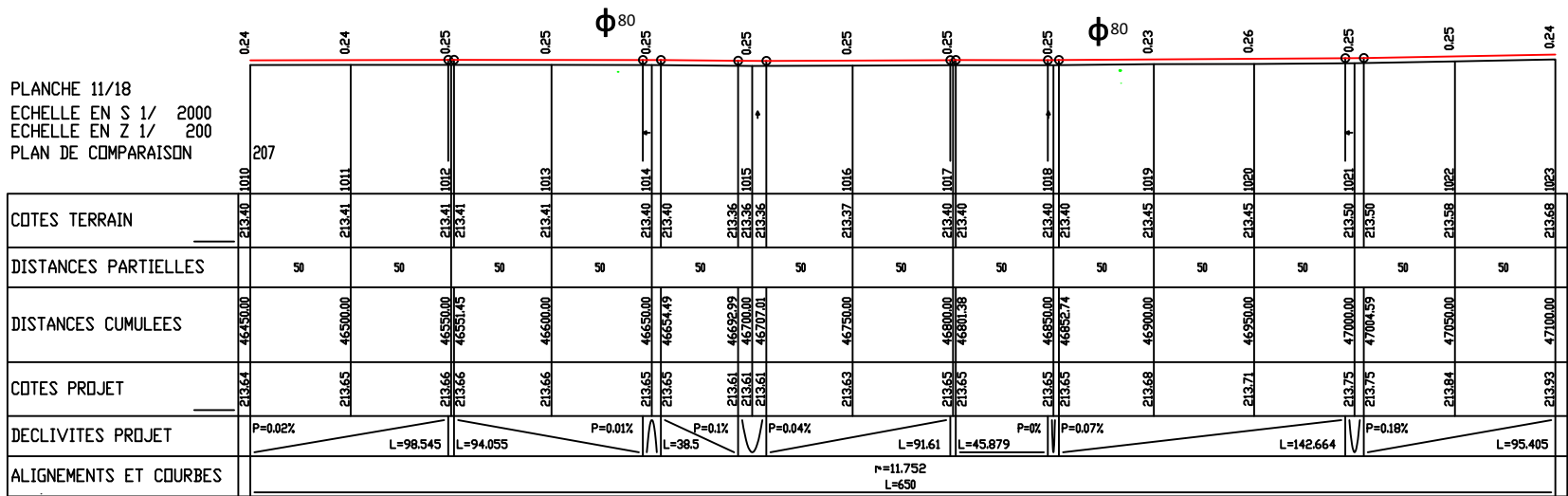


PLANCHE 11/18
 ECHELLE EN S 1/ 2000
 ECHELLE EN Z 1/ 200
 PLAN DE COMPARAISON



REPUBLIQUE DU NIGER
 Fraternité-Travail-Progress

ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX DE
 REHABILITATION DE LA ROUTE BALLEYARA- FILINGUE:
 TRONCON DU PK 45+000 AU PK 55+000

TRACE COMBINE DE L'AXE PRINCIPAL

Date: Mars 2013

Ech : Ajust au Format	Plan : N°4
Dessiné par : Groupe Art & Génie	

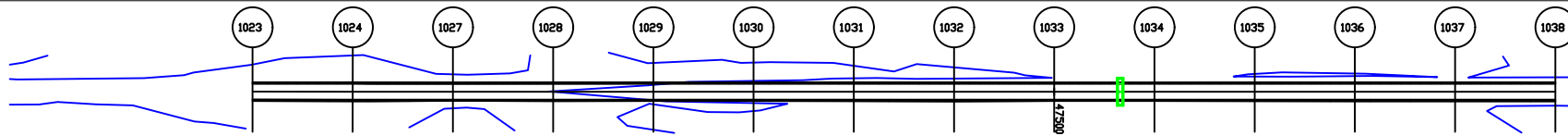


PLANCHE 12/18
 ECHELLE EN S 1/ 2000
 ECHELLE EN Z 1/ 200
 PLAN DE COMPARAISON

	1023	1024	1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035	1036	1037	1038
COTES TERRAIN	213.68	213.77	213.82	214.00	214.12	214.27	214.40	214.50	214.60	214.64	214.68	214.72	214.75	214.77
DISTANCES PARTIELLES	50	8.57	39.72	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
DISTANCES CUMULEES	47100.00	47150.00	47192.25	47200.00	47206.75	47250.00	47300.00	47350.00	47400.00	47442.79	47450.00	47457.20	47500.00	47550.00
COTES PROJET	213.93	214.02	214.03	214.07	214.09	214.10	214.22	214.37	214.52	214.64	214.82	214.87	214.92	214.97
DECLIVITES PROJET	P=0.18% L=47.728	P=0.12% L=40.979	P=0.29%			L=141.437	P=0.25%		L=90.982	P=0.1%		L=190.71	P=0.06% L=45.225	P=0.01% L=47.31
ALIGNEMENTS ET COURBES	r=11.752 L=51.711									r=11.697 L=589.718				



REPUBLIQUE DU NIGER
 Fraternité-Travail-Progress

ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX DE
 REHABILITATION DE LA ROUTE BALLEYARA- FILINGUE:
 TRONCON DU PK 45+000 AU PK 55+000

TRACE COMBINE DE L'AXE PRINCIPAL

Date: Mars 2013

Ech :
 Ajust au Format

Plan : N°5

Dessiné par : Groupe Art & Génie

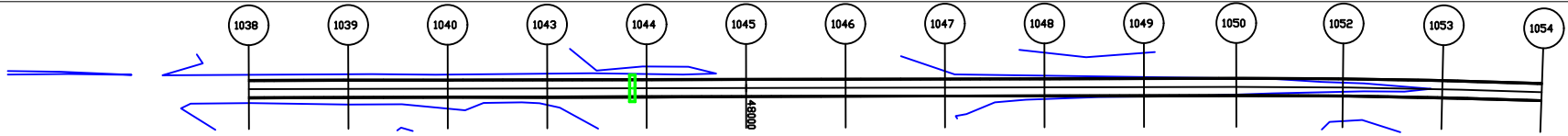


PLANCHE 13/18
 ECHELLE EN S 1/ 2000
 ECHELLE EN Z 1/ 200
 PLAN DE COMPARAISON

	0.24	0.25	0.23	0.23	0.24	0.25	0.24	0.25	0.23	0.25	0.27	0.25	0.25	0.22	0.25	0.26
	207															
	1038	1039	1040	1043	1044	1045	1046	1047	1048	1049	1050	1052	1053	1054		
COTES TERRAIN	214.77	214.76	214.72	214.65	214.58	214.51	214.43	214.37	214.28	214.18	214.13	214.10	213.99	213.98	213.90	213.90
DISTANCES PARTIELLES	50	50	46.87	50	50	50	50	50	50	46.44	50	50	50	50	50	50
DISTANCES CUMULEES	47750.00	47799.79	47850.00	47900.00	47950.00	48000.00	48050.00	48100.00	48150.00	48200.00	48246.44	48283.18	48300.00	48351.58	48400.00	48400.00
COTES PROJET	215.00	215.01	214.95	214.89	214.83	214.76	214.68	214.60	214.53	214.45	214.38	214.32	214.24	214.23	214.16	214.16
DECLIVITES PROJET	P=0.01%	L=43.793	L=141.975	P=0.12%	L=331.36						P=0.15%	L=62.681	P=0.13%	L=48.423	P=0.16%	
ALIGNEMENTS ET COURBES		r=11.697 L=101.372					r=11.720 L=393.314						R=3993.125 L=153.561			



REPUBLIQUE DU NIGER
 Fraternité-Travail-Progress

ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX DE
 REHABILITATION DE LA ROUTE BALLEYARA- FILINGUE:
 TRONCON DU PK 45+000 AU PK 55+000

TRACE COMBINE DE L'AXE PRINCIPAL

Date: Mars 2013

Ech :
 Ajust au Format

Plan : N°6

Dessiné par : Groupe Art & Génie

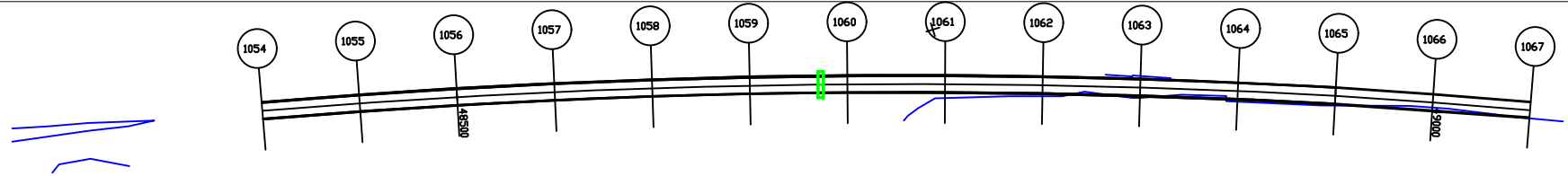


PLANCHE 14/18
 ECHELLE EN S 1/ 2000
 ECHELLE EN Z 1/ 200
 PLAN DE COMPARAISON

	0.26	0.26	0.25	0.26	0.24	0.26	0.25	0.23	0.25	0.25	0.26	0.26	0.27	0.26
	207						φ 80							
COTES TERRAIN	213.90	213.82	213.75 213.75	213.67	213.60	213.51	213.44 213.44	213.40	213.31	213.24 213.24	213.22	213.20	213.17	213.17
DISTANCES PARTIELLES		50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
DISTANCES CUMULEES	48400.00	48450.00	48500.00 48500.34	48550.00	48600.00	48650.00	48700.00 48700.34	48750.00	48800.00	48850.00 48854.87	48900.00	48950.00	49000.00	49050.00
COTES PROJET	214.16	214.08	214.00 214.00	213.92	213.85	213.77	213.69 213.69	213.63	213.56	213.49 213.49	213.48	213.46	213.44	213.43 213.43
DECLIVITES PROJET	L=99.657		P=0.16% L=198.72				P=0.15% L=144.19			P=0.13% L=183.825				P=0.04%
ALIGNEMENTS ET COURBES	R=3993.125 L=650													



REPUBLIQUE DU NIGER Fraternité-Travail-Progress		Date: Mars 2013	
ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX DE REHABILITATION DE LA ROUTE BALLEYARA- FILINGUE: TRONCON DU PK 45+000 AU PK 55+000		Ech : Ajust au Format	Plan : N°7
TRACE COMBINE DE L'AXE PRINCIPAL		Dessiné par : Groupe Art & Génie	

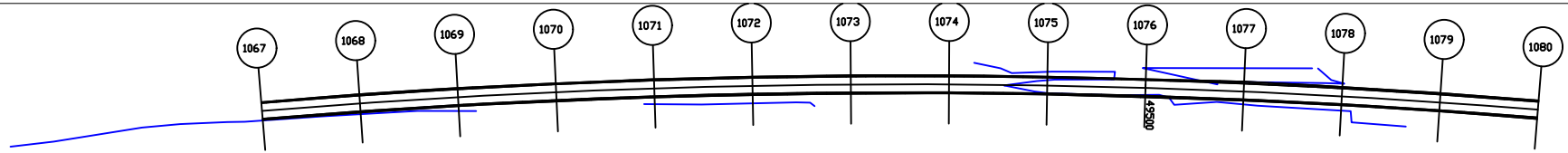


PLANCHE 15/18
 ECHELLE EN S 1/ 2000
 ECHELLE EN Z 1/ 200
 PLAN DE COMPARAISON

	0.26		0.28		0.29		0.29		0.25		0.25		0.27		0.26		0.25		0.26		0.27		0.25		0.25		0.25										
	207																																				
COTES TERRAIN	213.17 213.19	1067	213.24 1068		213.32 1069		213.41 1070		213.55 213.56	1071	213.67 1072		213.78 1073		213.92 1074		214.05 214.05	1075	214.17 1076		214.30 1077		214.45 1078		214.58 214.58	1079	214.70 1080										
DISTANCES PARTIELLES		50		50		50		50		50		50		50		50		50		50		50		50		50		50									
DISTANCES CUMULEES	49500.00 49561.30		49100.00		491500.00		492000.00		492500.00 49252.99		493000.00		493500.00		494000.00		494500.00 494506.2		495000.00		495500.00		496000.00		496500.00 496500.00		497000.00										
COTES PROJET	213.43 213.44		213.52		213.61		213.71		213.80 213.81		213.93		214.05		214.18		214.30 214.30		214.43		214.56		214.70		214.83 214.83		214.95										
DECLIVITES PROJET	P=0.19%		L=185.71					P=0.25%					L=196.39					P=0.26%					L=198.878					P=0.25%					L=49.5				
ALIGNEMENTS ET COURBES	R=3993.125 L=650																																				



REPUBLIQUE DU NIGER Fraternité-Travail-Progress		Date: Mars 2013	
ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX DE REHABILITATION DE LA ROUTE BALLEYARA- FILINGUE: TRONCON DU PK 45+000 AU PK 55+000		Ech : Ajust au Format	Plan : N°8
TRACE COMBINE DE L'AXE PRINCIPAL		Dessiné par : Groupe Art & Génie	

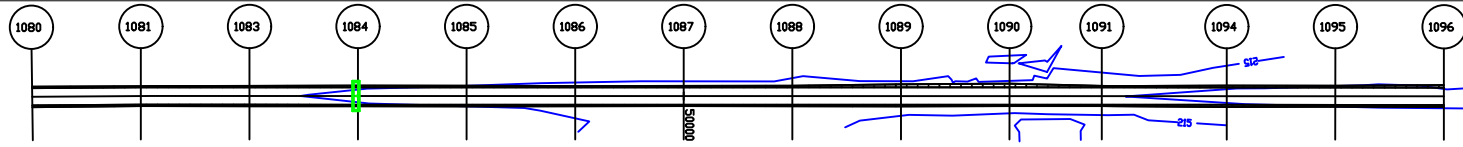


PLANCHE 16/18
 ECHELLE EN S 1/ 2000
 ECHELLE EN Z 1/ 200
 PLAN DE COMPARAISON

	1080	1081	1082	1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089	1090	1091	1094	1095	1096		
COTES TERRAIN	214.70	214.84	214.85	214.92	215.08 215.08	215.22	215.34	215.48	215.59	215.72	215.84	215.97	216.11	216.23	216.37		
DISTANCES PARTIELLES	50	45.64	50	50	50	50	50	50	50	50	42.46	7.54	49.43	50	50		
DISTANCES CUMULEES	497000.00	497500.00	497543.36	498000.00	498500.00 498502.20	499000.00	499500.00	500000.00	500500.00 500502.23	501000.00	501500.00	50192.46	50200.00 50200.57	502500.00	503000.00	503500.00	
COTES PROJET	214.95	215.08	215.09	215.20	215.33 215.33	215.46	215.59	215.72	215.84	215.97	216.10	216.22	216.24	216.24	216.49	216.62	
DECLIVITES PROJET	P=0.25%		L=149.795			P=0.26%		L=199.565			P=0.26%		L=149.61		P=0.26%		L=149.84
ALIGNEMENTS ET COURBES	R=3993.125 L=54.357					r=35.760 L=438.102							r=35.812 L=149.434				



REPUBLIQUE DU NIGER Fraternité-Travail-Progress		Date: Mars 2013	
ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX DE REHABILITATION DE LA ROUTE BALLEYARA- FILINGUE: TRONCON DU PK 45+000 AU PK 55+000		Ech : Ajust au Format	Plan : N°9
TRACE COMBINE DE L'AXE PRINCIPAL		Dessiné par : Groupe Art & Génie	

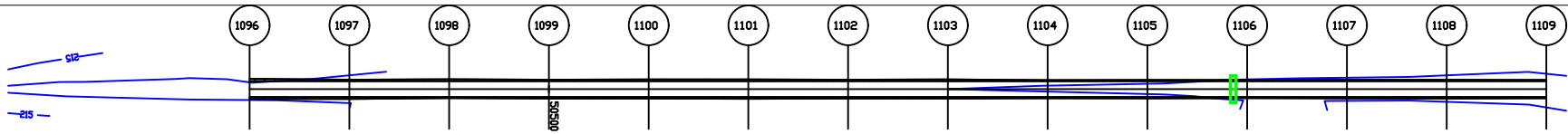
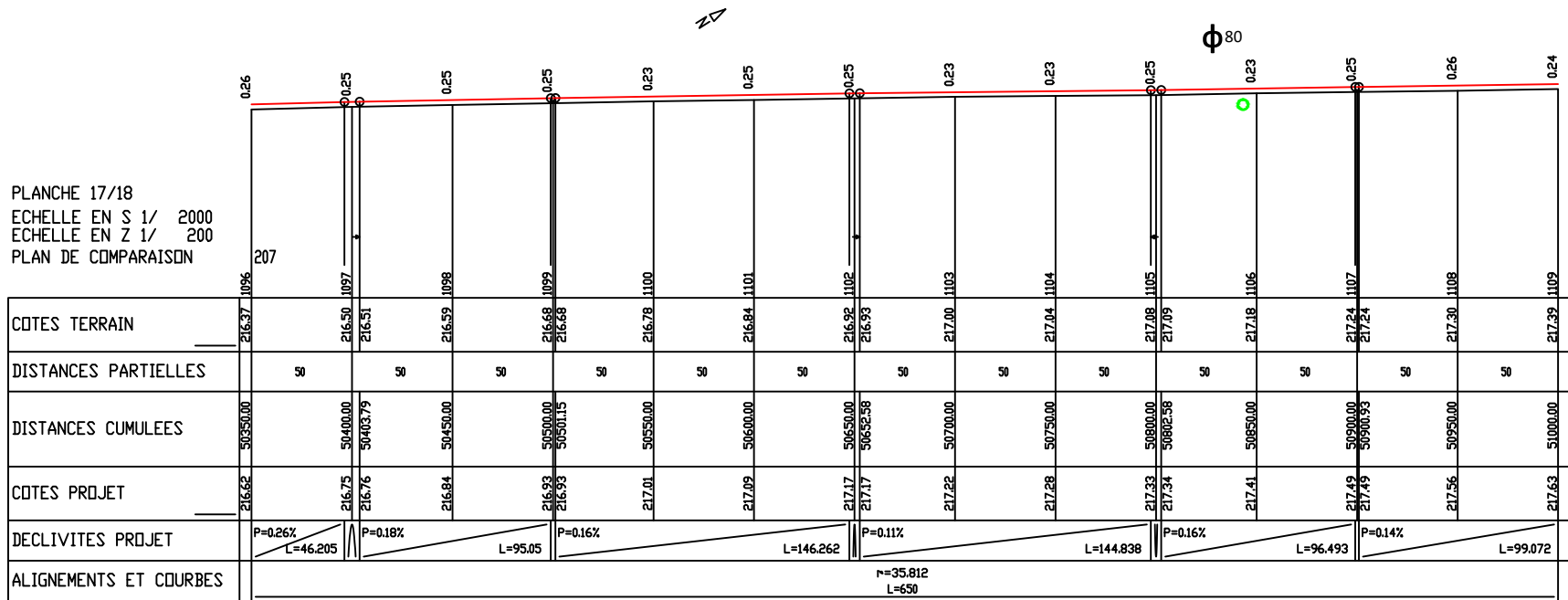


PLANCHE 17/18
 ECHELLE EN S 1/ 2000
 ECHELLE EN Z 1/ 200
 PLAN DE COMPARAISON



REPUBLIQUE DU NIGER
 Fraternité-Travail-Progress

ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX DE
 REHABILITATION DE LA ROUTE BALLEYARA- FILINGUE:
 TRONCON DU PK 45+000 AU PK 55+000

TRACE COMBINE DE L'AXE PRINCIPAL

Date: Mars 2013

Ech :
 Ajust au Format

Plan : N°10

Dessiné par : Groupe Art & Génie

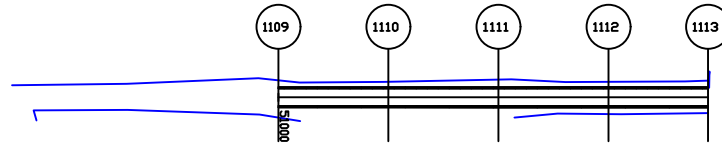
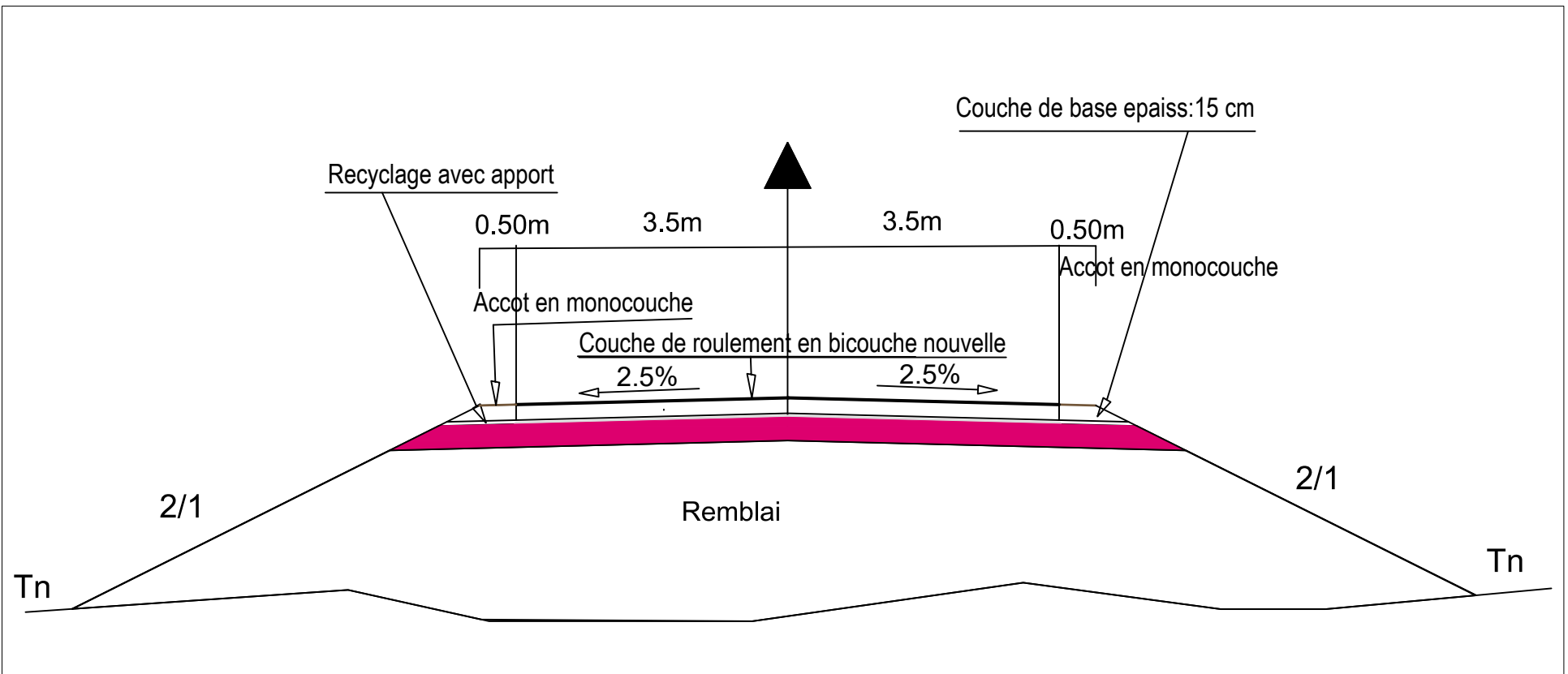


PLANCHE 18/18
 ECHELLE EN S 1/ 2000
 ECHELLE EN Z 1/ 200
 PLAN DE COMPARAISON

	0.24	0.25	0.23	0.24	0.25
	213				
	1109	1110	1111	1112	1113
COTES TERRAIN	217.39	217.45	217.55	217.63	217.70
DISTANCES PARTIELLES		50	50	50	45.2
DISTANCES CUMULEES	51000.00	51050.00	51100.00	51150.00	51195.20
COTES PROJET	217.63	217.70	217.79	217.87	217.95
DECLIVITES PROJET	P=0.14% L=48.432	P=0.17%	L=143.63		
ALIGNEMENTS ET COURBES	r=35.812 L=195.198				

 <p>GROUPH Art & Génie</p>	REPUBLIQUE DU NIGER Fraternité-Travail-Progress		Date: Mars 2013	
	ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX DE REHABILITATION DE LA ROUTE BALLEYARA- FILINGUE: TRONCON DU PK 45+000 AU PK 55+000		Ech : Ajust au Format	Plan : N°11
	TRACE COMBINE DE L'AXE PRINCIPAL		Dessiné par : Groupe Art & Génie	

ANNEXE 4 : PROFIL EN TAVERS TYPE



 GROUPE Art & Génie	REPUBLIQUE DU NIGER Fraternité-Travail-Progress		Date: Mars 2013	
	ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX DE REHABILITATION DE LA ROUTE BALLEYARA- FILINGUE: TRONCON DU PK 45+000 AU PK 55+000		Ech : Ajust au Format	Plan : N°12
	PROFIL EN TRAVERS TYPE		Dessiné par : Groupe Art & Génie	

ANNEXE 5 : NOTE DE CALCUL DÉTAILLÉE ÉTUDE HYDROLOGIQUE

1. Moyenne mobile

Le tableau N°1 ci-dessous présente les résultats obtenus lors du calcul des différentes moyennes mobiles. Ces moyennes sont utilisées pour contrôler l'homogénéité et la fiabilité des données pluviométriques.

Tableau 1: Moyenne mobile

Années	Pluies(mm)	Moy. Mob 5ans	Moy. Mob 11 ans	Moy. Mob 25 ans	Pluie Moy. Annuelle
1981	63.60				52.14
1982	36.50				52.14
1983	55.80	56.52			52.14
1984	68.00	53.34			52.14
1985	58.70	52.36			52.14
1986	47.70	48.90	51.83		52.14
1987	31.60	44.60	51.45		52.14
1988	38.50	43.06	50.29		52.14
1989	46.50	47.96	52.13		52.14
1990	51.00	53.54	49.40		52.14
1991	72.20	50.58	46.38		52.14
1992	59.50	56.48	48.59		52.14
1993	23.70	53.88	49.05	51.62	52.14
1994	76.00	44.54	52.61	51.24	52.14
1995	38.00	47.04	51.84	51.50	52.14
1996	25.50	49.62	54.02	52.41	52.14
1997	72.00	49.96	51.77	51.61	52.14
1998	36.60	49.96	52.91	51.26	52.14
1999	77.70	59.86	54.30		52.14
2000	38.00	54.96	51.03		52.14
2001	75.00	62.04	52.48		52.14
2002	47.50	54.30	54.07		52.14

2003	72.00	54.70	54.66		52.14
2004	39.00	50.50	55.70		52.14
2005	40.00	49.60	53.18		52.14
2006	54.00	50.90			52.14
2007	43.00	52.70			52.14
2008	78.50	54.70			52.14
2009	48.00				52.14
2010	50.00				52.14

2. Ajustement de la loi de Gumbel

Pour pouvoir déterminer les fréquences expérimentales, les données de pluies précédemment contrôlées font l'objet d'un classement suivant l'ordre croissant du fait que la loi de Gumbel utilise les probabilités au non dépassement. S'en suit le calcul de la variable réduite de Gumbel u .

Le calcul des fréquences expérimentales et des variables réduites est consigné dans le tableau N°2 suivant :

Tableau 2: Fréquences expérimentales et variables réduites

Années	Pluies(mm)	Classement	Rang	Fréq. exp	Var. réduite	
1981	63.60		23.70	1	0.03	-1.23
1982	36.50		25.50	2	0.06	-1.01
1983	55.80		31.60	3	0.10	-0.85
1984	68.00		36.50	4	0.13	-0.72
1985	58.70		36.60	5	0.16	-0.60
1986	47.70		38.00	6	0.19	-0.50
1987	31.60		38.00	7	0.23	-0.40
1988	38.50		38.50	8	0.26	-0.30
1989	46.50		39.00	9	0.29	-0.21
1990	51.00		40.00	10	0.32	-0.12
1991	72.20		43.00	11	0.35	-0.04

1992	59.50	46.50	12	0.39	0.05
1993	23.70	47.50	13	0.42	0.14
1994	76.00	47.70	14	0.45	0.23
1995	38.00	48.00	15	0.48	0.32
1996	25.50	50.00	16	0.52	0.41
1997	72.00	51.00	17	0.55	0.51
1998	36.60	54.00	18	0.58	0.61
1999	77.70	55.80	19	0.61	0.71
2000	38.00	58.70	20	0.65	0.82
2001	75.00	59.50	21	0.68	0.94
2002	47.50	63.60	22	0.71	1.07
2003	72.00	68.00	23	0.74	1.21
2004	39.00	72.00	24	0.77	1.36
2005	40.00	72.00	25	0.81	1.54
2006	54.00	72.20	26	0.84	1.74
2007	43.00	75.00	27	0.87	1.98
2008	78.50	76.00	28	0.90	2.28
2009	48.00	77.70	29	0.94	2.71
2010	50.00	78.50	30	0.97	3.42

Grace à la méthode des moments, les paramètres de la loi de Gumbel sont déterminés. Le tableau N°3 ci-dessous récapitule les paramètres de la loi de Gumbel :

Tableau 3: Paramètres de la loi de Gumbel

Paramètres de la loi de Gumbel	
1/a	12.66
X0	44.83

a

0.079

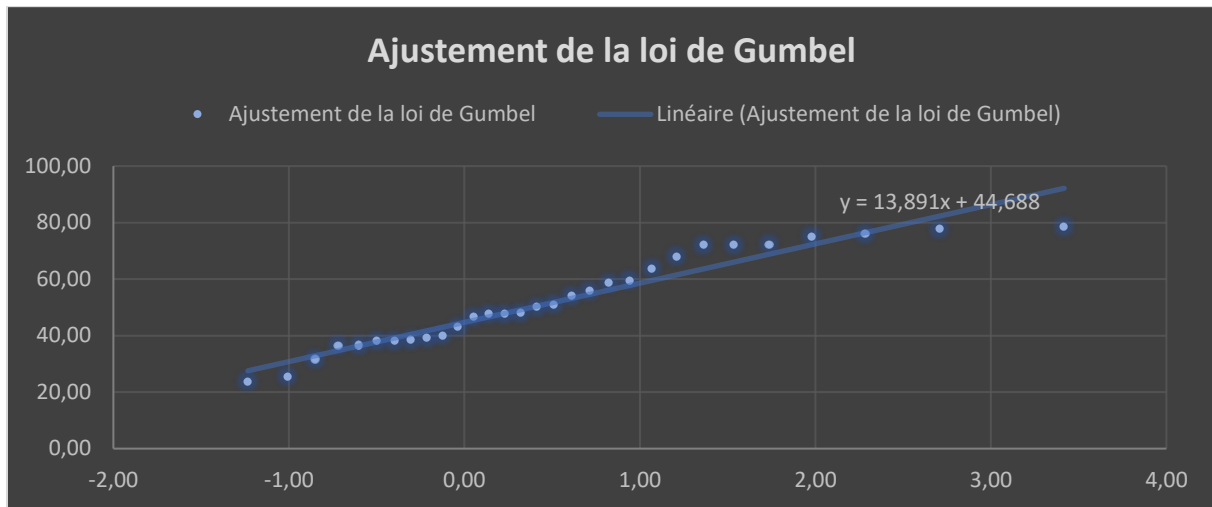


Figure 3 : Ajustement de la loi de Gumbel

3. Test de validité de l'ajustement (test d'adéquation χ^2)

On juge généralement l'adéquation d'une loi à un échantillon par le test du χ^2 , variable aléatoire dont la distribution a été étudiée par Pearson.

En pratique, on procède comme suit :

- 1) Découpage en k classes. Ce découpage doit introduire des classes d'égale probabilité théorique et d'un effectif d'au moins 5 valeurs par classe.
- 2) Calcul de $\chi^2 = \sum_1^k \frac{(n_i - n_{pi})^2}{n_{pi}}$

Avec n_i effectif observé de la classe i ;

n_{pi} effectif théorique de cette même classe $n_{pi} = \frac{N}{n_c} = \frac{\text{effectif total}}{\text{nombre de classes}}$

- 3) Calcul du nombre v de degrés de liberté

$$v = k - p - 1$$

Avec k le nombre de classes et p le nombre de paramètres de la loi.

L'adéquation est admise si $P(\chi^2) \geq \alpha$

α est le seuil du risque d'adéquation. α est choisi généralement égal à 0.05. L'adéquation est rejetée si $P(\chi^2) \leq 0.05$.

Le test de validité de l'ajustement de loi de Gumbel est résumé dans le tableau N°4 ci-après :

Tableau 4: Test de validité de l'ajustement

Test d'adéquation X^2						
Classes	ni	npi	ni-npi	$(ni-npi)^2$	$(ni-npi)^2/npi$	
37>	5	6	-1	1	0.17	
[38 - 43]	6	6	0	0	0.00	
[45 - 51]	6	6	0	0	0.00	
[53 - 64]	5	6	-1	1	0.17	
[64 - 78.50]	8	6	2	4	0.67	
					X^2_{cal}	1.00
					$X^2_{lu}(X^2_{0.05})$	5.99
					$X^2_{cal} < X^2_{lu}$	

La loi de Gumbel est acceptable pour représenter la distribution fréquentielle des pluies de Filingué.

4. Calcul des intervalles de confiance des quantiles

L'ajustement d'une loi à la répartition des pluies permet d'estimer la pluie correspondant à une faible fréquence de dépassement donnée, par exemple pluie décennale, pluie vicennale, pluie centennale...etc.

La valeur de la pluie estimée ne correspond pas à la vraie valeur qui ne peut être connue qu'avec un échantillonnage de dimension infinie.

Ceci nous amène à la notion d'intervalle de confiance, qui est l'intervalle dans lequel il y a un certain nombre de chances de trouver la vraie valeur du paramètre cherché.

Le choix du degré de confiance dépend du risque que le projeteur accepte. Le degré est choisi d'autant plus élevé que l'on recherche la sécurité.

Remarque : Dans un intervalle de confiance à 95 %, on a 95 % de chances de trouver la vraie valeur du paramètre estimé, mais il reste 5 % de chances de la trouver en dehors de l'intervalle, 2.5 % pour que cette valeur dépasse la marge supérieure de l'intervalle de confiance, 2.5 % pour qu'elle soit inférieure à la marge inférieure de cet intervalle de confiance.

Formule permettant de déterminer les intervalles de confiance selon la loi de Gumbel :

$$IC x_p = x_p \pm U_{\frac{1-\alpha}{2}} \frac{s}{\sqrt{N-1}} \sqrt{1 + 1.4K + 1.1K^2}$$

$$K = 0.780(U_p - 0.577)$$

4.1 Détermination des pluies journalières maximales avec un intervalle de confiance de 95% :

Fréquence décennale

Humide

$$F = 1 - \frac{1}{T}$$

$$F = 1 - \frac{1}{10} = 0.9$$

$$u = -\ln[-\ln(F(x))] \Rightarrow u_{0.9} = -\ln(-\ln 0.9) = 2.25$$

$$x_p = \frac{u_p}{a} + x_0 \Rightarrow x_{0.9} = \frac{2.25}{0.079} + 44.83 = 73.31$$

$$K = 0.780(U_p - 0.577) \Rightarrow K = 0.780(2.25 - 0.577) = 1.305$$

$$IC x_p = x_p \pm u_{\frac{1-\alpha}{2}} \frac{s}{\sqrt{N-1}} \sqrt{1 + 1.4K + 1.1K^2} \text{ avec } \alpha = 95\% \Rightarrow u_{\frac{1-0.95}{2}} = u_{0.025} = 1.96$$

$$IC x_{0.9} = x_{0.9} \pm u_{\frac{1-0.95}{2}} \frac{16.23}{\sqrt{30-1}} \sqrt{1 + 1.4 \times 1.305 + 1.1 \times 1.305^2}$$

$$IC x_{0.9} = 73.31 \pm 13.48$$

Sèche

$$F = \frac{1}{10} = 0.1$$

$$u = -\ln[-\ln(F(x))] \Rightarrow u_{0.1} = -\ln(-\ln(0.1)) = -0.83$$

$$x_p = \frac{u_p}{a} + x_0 \Rightarrow x_{0.1} = \frac{-0.83}{0.079} + 44.83 = 34.32$$

$$K = 0.780(U_p - 0.577) \Rightarrow K = 0.780(-0.83 - 0.577) = -1.1$$

$$IC x_p = x_p \pm u_{\frac{1-\alpha}{2}} \frac{s}{\sqrt{N-1}} \sqrt{1 + 1.4K + 1.1K^2} \text{ avec } \alpha = 95\% \Rightarrow u_{\frac{1-0.95}{2}} = u_{0.025} = 1.96$$

$$IC x_{0.1} = x_{0.1} \pm 1.96 \times \frac{16.23}{\sqrt{30-1}} \sqrt{1 + 1.4 \times (-1.1) + 1.1 \times (-1.1)^2}$$

$$IC x_{0.1} = 34.32 \pm 5.25$$

✚ Fréquence Vicennale

Humide

$$F = 1 - \frac{1}{T}$$

$$F = 1 - \frac{1}{20} = 0.95$$

$$u = -\ln[-\ln(F(x))] \Rightarrow u_{0.95} = -\ln(-\ln(0.95)) = 2.97$$

$$x_p = \frac{u_p}{a} + x_0 \Rightarrow x_{0.95} = \frac{2.97}{0.079} + 44.83 = 82.42$$

$$K = 0.780(U_p - 0.577) \Rightarrow K = 0.780(2.97 - 0.577) = 1.87$$

$$IC x_p = x_p \pm \frac{u_{1-\alpha}}{2} \frac{s}{\sqrt{N-1}} \sqrt{1 + 1.4K + 1.1K^2} \text{ avec } \alpha = 95\% \Rightarrow \frac{u_{1-0.95}}{2} = \frac{u_{0.025}}{2} = 1.96$$

$$IC x_{0.95} = x_{0.95} \pm \frac{u_{1-0.95}}{2} \frac{16.23}{\sqrt{30-1}} \sqrt{1 + 1.4 \times 1.87 + 1.1 \times 1.87^2}$$

$$IC x_{0.95} = 82.42 \pm 16.14$$

Sèche

$$F = \frac{1}{20} = 0.05$$

$$u = -\ln[-\ln(F(x))] \Rightarrow u_{0.05} = -\ln(-\ln(0.05)) = -1.1$$

$$x_p = \frac{u_p}{a} + x_0 \Rightarrow x_{0.05} = \frac{-1.1}{0.079} + 44.83 = 30.91$$

$$K = 0.780(U_p - 0.577) \Rightarrow K = 0.780(-1.1 - 0.577) = -1.31$$

$$IC x_p = x_p \pm \frac{u_{1-\alpha}}{2} \frac{s}{\sqrt{N-1}} \sqrt{1 + 1.4K + 1.1K^2} \text{ avec } \alpha = 95\% \Rightarrow \frac{u_{1-0.95}}{2} = \frac{u_{0.025}}{2} = 1.96$$

$$IC x_{0.05} = x_{0.05} \pm 1.96 \times \frac{16.23}{\sqrt{30-1}} \sqrt{1 + 1.4 \times (-1.31) + 1.1 \times (-1.31)^2}$$

$$IC x_{0.05} = 30.91 \pm 6.06$$

✚ Fréquence centennale

Humide

$$F = 1 - \frac{1}{T}$$

$$F = 1 - \frac{1}{100} = 0.99$$

$$u = -\ln[-\ln(F(x))] \Rightarrow u_{0.99} = -\ln(-\ln(0.99)) = 4.6$$

$$x_p = \frac{u_p}{a} + x_0 \Rightarrow x_{0.99} = \frac{4.6}{0.079} + 44.83 = 103.06$$

$$K = 0.780(U_p - 0.577) \Rightarrow K = 0.780(4.26 - 0.577) = 2.87$$

$$IC x_p = x_p \pm \frac{u_{1-\alpha}}{2} \frac{s}{\sqrt{N-1}} \sqrt{1 + 1.4K + 1.1K^2} \text{ avec } \alpha = 95\% \Rightarrow \frac{u_{1-0.95}}{2} = u_{0.025} = 1.96$$

$$IC x_{0.99} = x_{0.99} \pm \frac{u_{1-0.95}}{2} \frac{16.23}{\sqrt{30-1}} \sqrt{1 + 1.4 \times 2.87 + 1.1 \times 2.87^2}$$

$$IC x_{0.99} = 103.06 \pm 22.16$$

Sèche

$$F = \frac{1}{100} = 0.01$$

$$u = -\ln[-\ln(F(x))] \Rightarrow u_{0.01} = -\ln(-\ln(0.01)) = -1.53$$

$$x_p = \frac{u_p}{a} + x_0 \Rightarrow x_{0.01} = \frac{-1.53}{0.079} + 44.83 = 25.46$$

$$K = 0.780(U_p - 0.577) \Rightarrow K = 0.780(-1.53 - 0.577) = -1.64$$

$$IC x_p = x_p \pm \frac{u_{1-\alpha}}{2} \frac{s}{\sqrt{N-1}} \sqrt{1 + 1.4K + 1.1K^2} \text{ avec } \alpha = 95\% \Rightarrow \frac{u_{1-0.95}}{2} = u_{0.025} = 1.96$$

$$IC x_{0.01} = x_{0.01} \pm 1.96 \times \frac{16.23}{\sqrt{30-1}} \sqrt{1 + 1.4 \times (-1.64) + 1.1 \times (-1.64)^2}$$

$$IC x_{0.01} = 25.46 \pm 7.62$$

Fréquence milléniale

Humide

$$F = 1 - \frac{1}{T}$$

$$F = 1 - \frac{1}{1000} = 0.999$$

$$u = -\ln[-\ln(F(x))] \Rightarrow u_{0.999} = -\ln(-\ln(0.999)) = 6.91$$

$$x_p = \frac{u_p}{a} + x_0 \Rightarrow x_{0.999} = \frac{6.91}{0.079} + 44.83 = 132.30$$

$$K = 0.780(U_p - 0.577) \Rightarrow K = 0.780(6.91 - 0.577) = 4.94$$

$$IC x_p = x_p \pm u_{\frac{1-\alpha}{2}} \frac{s}{\sqrt{N-1}} \sqrt{1 + 1.4K + 1.1K^2} \text{ avec } \alpha = 95\% \Rightarrow u_{\frac{1-0.95}{2}} = u_{0.025} = 1.96$$

$$IC x_{0.999} = x_{0.999} \pm u_{\frac{1-0.95}{2}} \frac{16.23}{\sqrt{30-1}} \sqrt{1 + 1.4 \times 4.94 + 1.1 \times 4.94^2}$$

$$IC x_{0.999} = 132.30 \pm 34.83$$

Sèche

$$F = \frac{1}{1000} = 0.001$$

$$u = -\ln[-\ln(F(x))] \Rightarrow u_{0.001} = -\ln(-\ln(0.001)) = -1.93$$

$$x_p = \frac{u_p}{a} + x_0 \Rightarrow x_{0.001} = \frac{-1.93}{0.079} + 44.83 = 20.40$$

$$K = 0.780(U_p - 0.577) \Rightarrow K = 0.780(-1.93 - 0.577) = -1.96$$

$$IC x_p = x_p \pm u_{\frac{1-\alpha}{2}} \frac{s}{\sqrt{N-1}} \sqrt{1 + 1.4K + 1.1K^2} \text{ avec } \alpha = 95\% \Rightarrow u_{\frac{1-0.95}{2}} = u_{0.025} = 1.96$$

$$IC x_{0.001} = x_{0.001} \pm 1.96 \times \frac{16.23}{\sqrt{30-1}} \sqrt{1 + 1.4 \times (-1.96) + 1.1 \times (-1.96)^2}$$

$$IC x_{0.001} = 20.40 \pm 9.31$$

Soit le tableau N°5 récapitulatif des fréquences expérimentales et des quantiles suivants :

Tableau 5: Récapitulatif fréquences expérimentales et quantiles

F(Xi)	Up	Xi	Xi min	Xi max
0.001	-1.93	20.40	11.09	29.71
0.01	-1.53	25.46	17.84	33.08
0.05	-1.1	30.91	24.85	36.97
0.1	-0.83	34.32	29.07	39.57
0.9	2.25	73.31	59.83	86.79
0.95	2.97	82.42	66.28	98.56
0.99	4.60	103.06	80.9	125.22
0.999	6.91	132.30	97.47	167.13

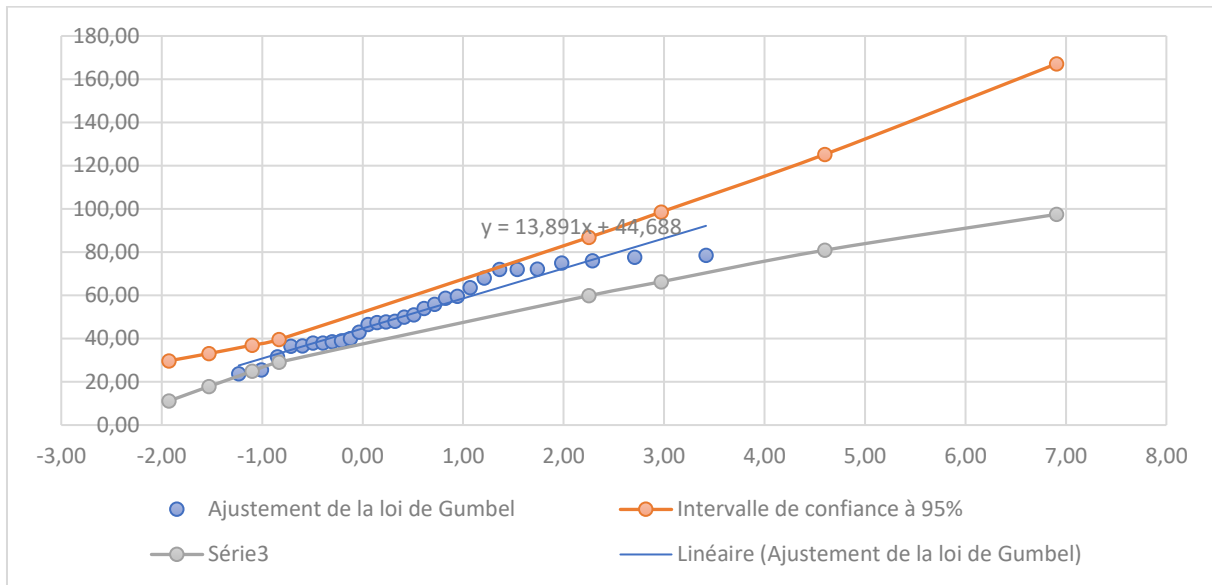


Figure 4 : Intervalles de confiance à 95%

Analyse et interprétation du graphique : La loi de Gumbel donne une distribution statistique des pluies parfaitement acceptable, réparties de façon homogène le long de la droite linéaire. Les points représentés sont tous dans la bande de confiance de 95%.

ANNEXE 6 : CARTE DES ISOHYÈTES

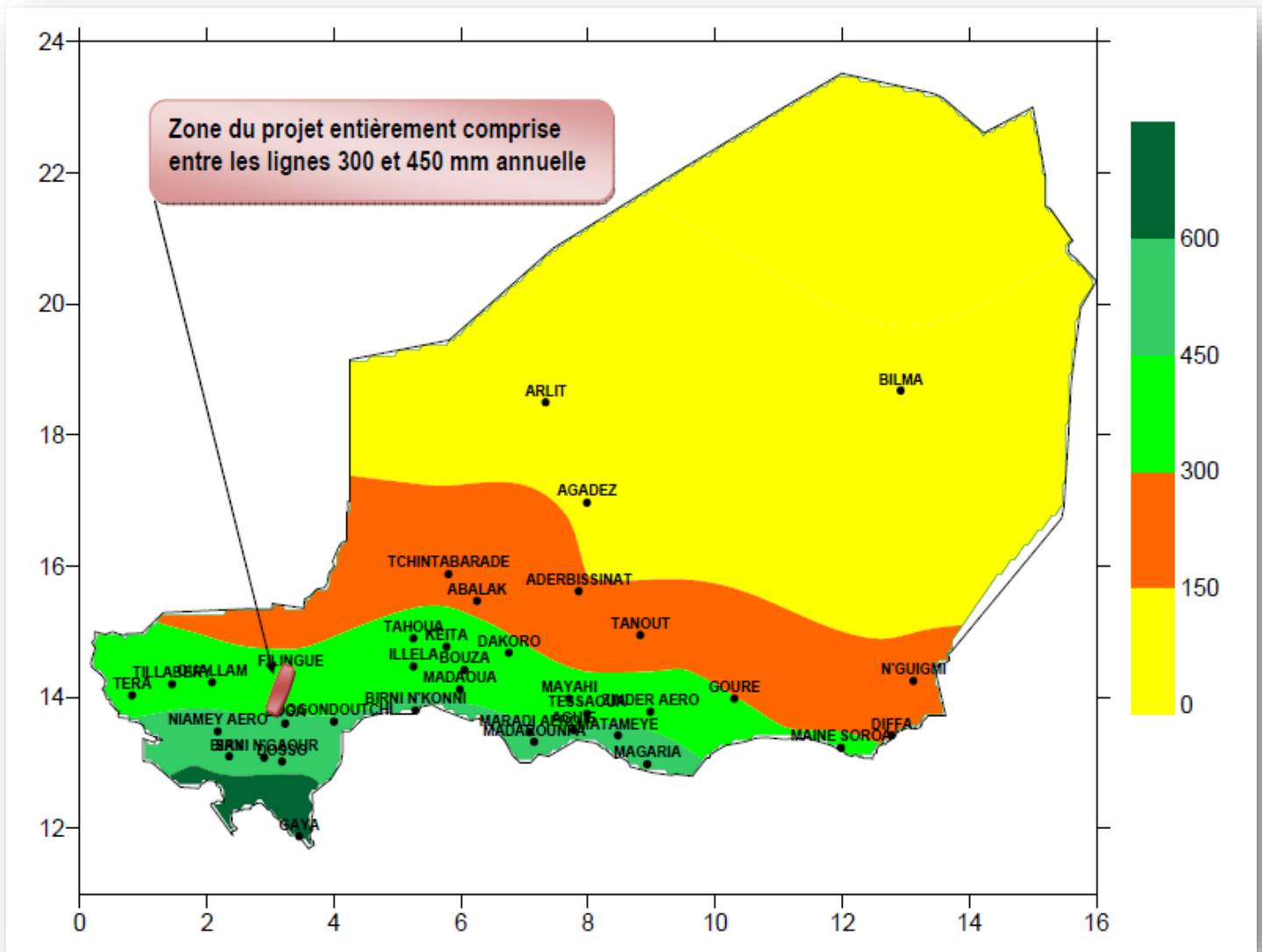


Figure 5 : Carte isohyète

ANNEXE 7 : SORTIE LIBRE DALOT RECTANGULAIRE

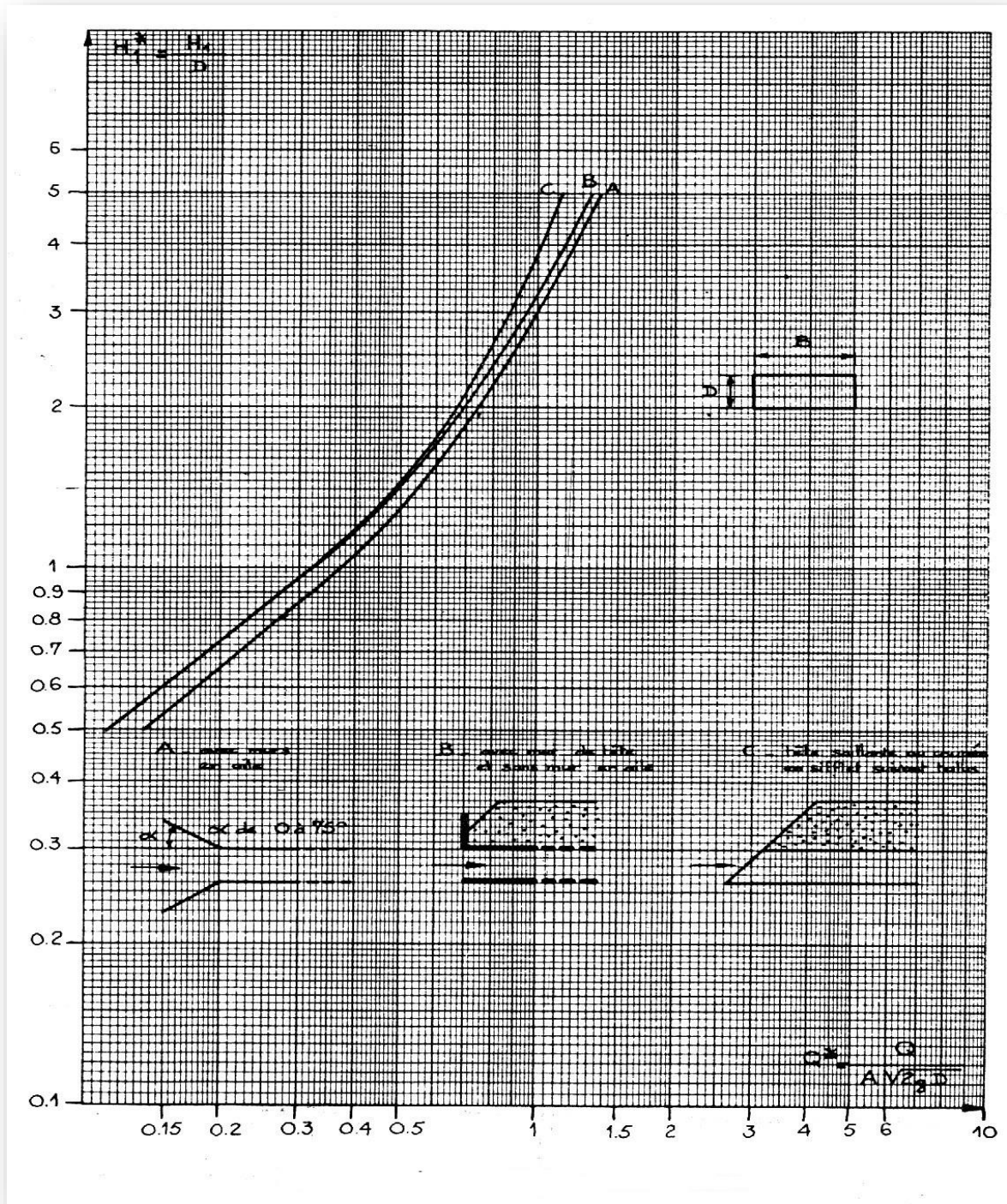


Figure 6 : Sortie libre dalot rectangulaire

ANNEXE 8 : CALCUL DE LA PENTE CRITIQUE

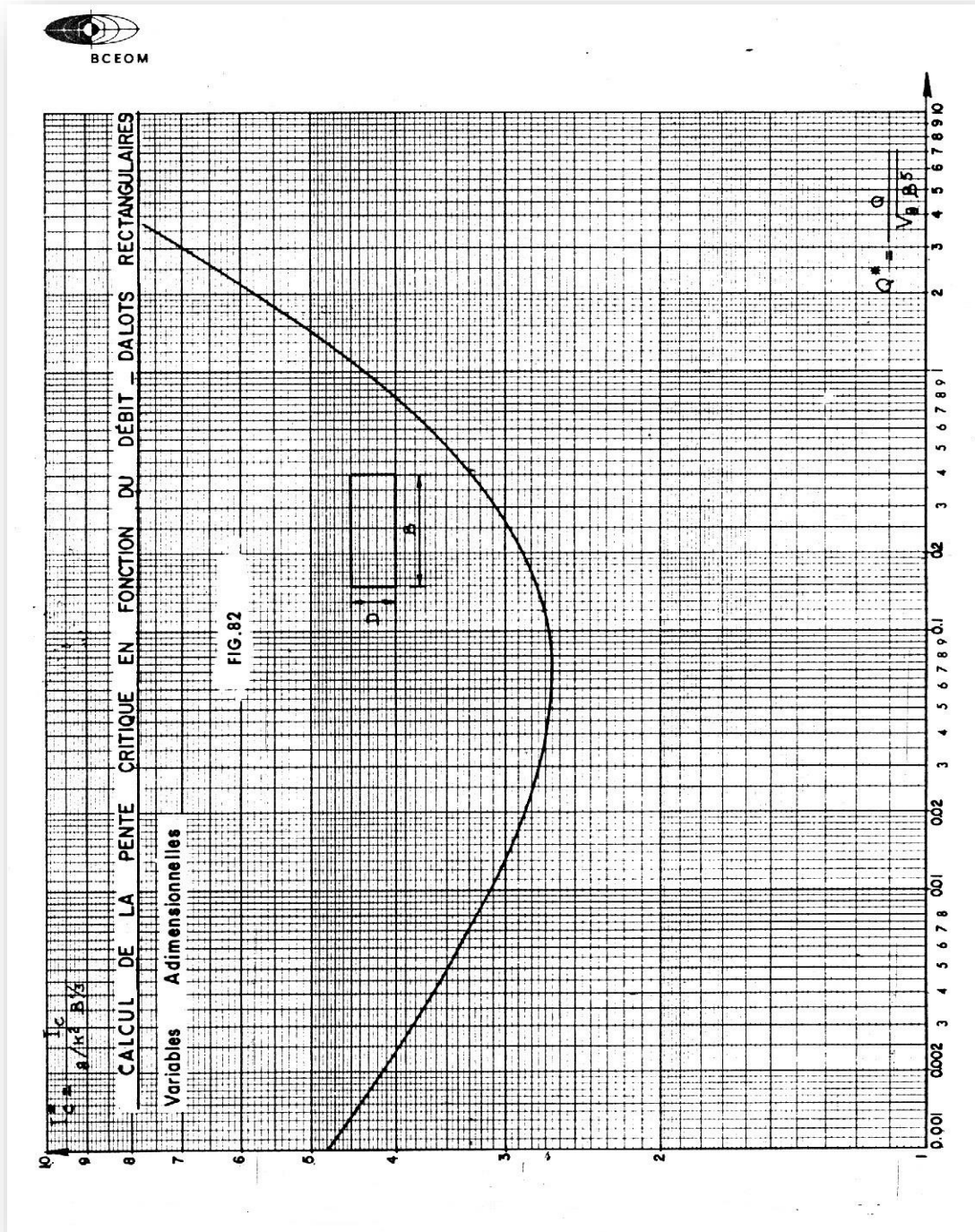


Figure 7 : Pente critique

ANNEXE 9 : CALCUL DE VITESSE DANS UN DALOT

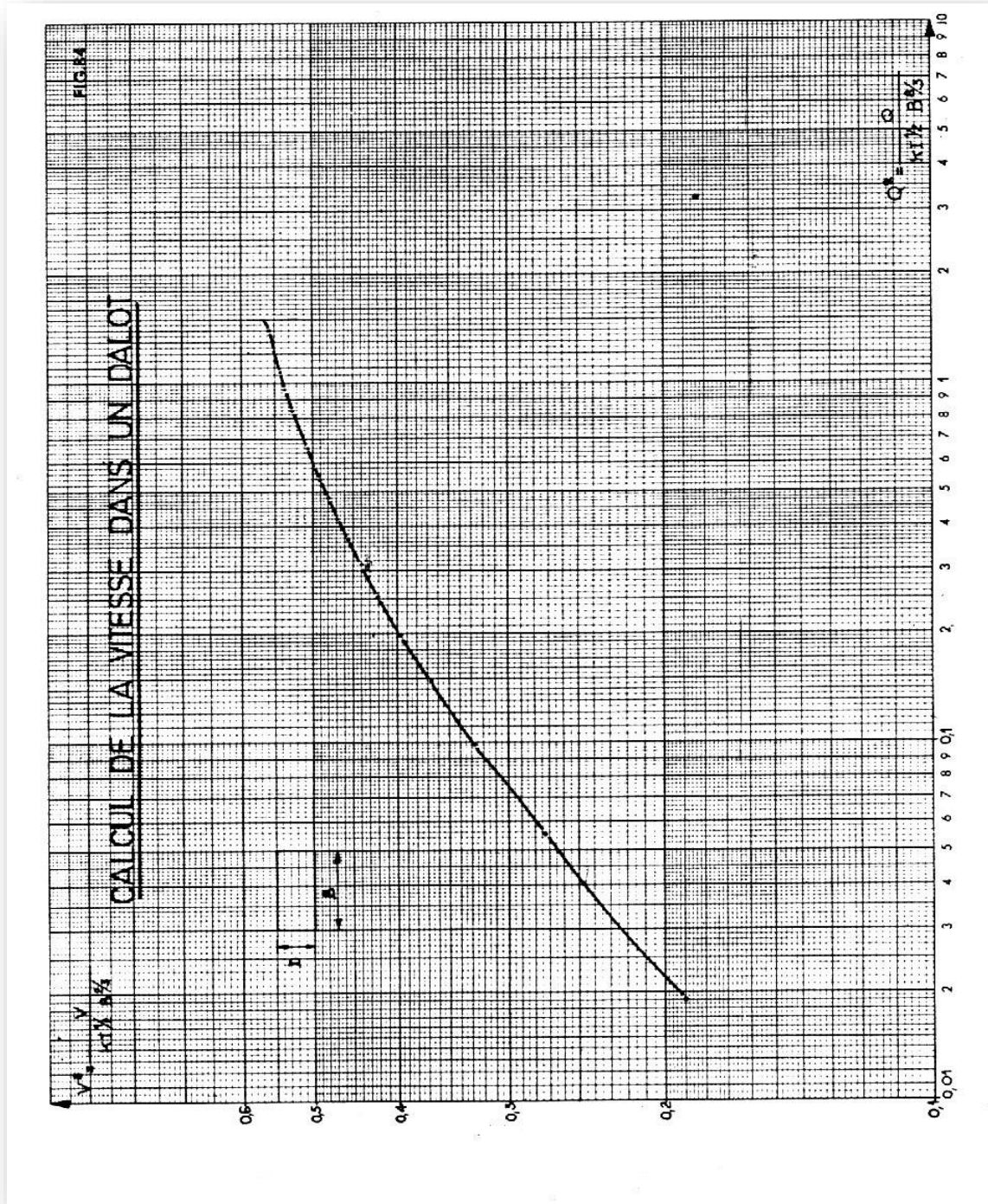


Figure 8 : Vitesse dans un dalot

ANNEXE 10 : NOTE DE CALCUL DALOT 3 × 2 × 1

1. Hypothèses de calcul

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

Les structures routières seront définies conformément aux prescriptions du titre II du fascicule 61 du cahier des prescriptions communes (C.P.C) français en la matière.

Les ouvrages seront calculés par rapport aux systèmes de charges A(L) et B (Bc, Bt et Br). Toutefois pour les dalots et ponts de longueur à 10 m, A(L) n'est pas envisagé (fascicule 61 chap. 1^{er}).

On mènera les calculs par bande de 1.00 m linéaire.

✚ Acier :

- Nuance : Acier à haute adhérence Fe 400
- Limite d'élasticité garantie Fe = 400 MPa
- Contrainte de calcul de l'acier à l'ELU $\sigma_s = \frac{F_e}{1.15} = \frac{400}{1.15} = 348 \text{ MPa}$
- Contrainte de calcul de l'acier à l'ELS $\bar{\sigma}_s = \min \left\{ \frac{2}{3} f_e; \max(0.5f_e; 110\sqrt{1.6 \times f_{c28}}) \right\} = 200 \text{ MPa}$
- Enrobage = 3 cm.

✚ Béton :

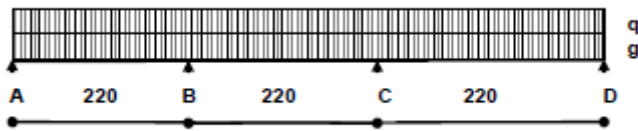
- Poids volumique : 25 kN/m³
- Fissuration préjudiciable pour notre dalot triple ouvertures.
- Résistance nominale à 28j :
 - A la compression $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$
 - A la traction $f_{tj} = 0.6 + 0.06f_{c28}$
- Contrainte limite du béton : $\bar{\sigma}_{bc} = 0.6f_{c28} = 0.6 \times 25 = 15 \text{ MPa}$

✚ Remblai :

- Vu la présence de remblai sur le tablier, on prend comme densité de terre ~ 20 kN/m³
- Le coefficient de poussée des terres sera $K_a = 0.33$

2. Evaluation des charges permanentes et surcharges routières

Schéma de calcul équivalent



2.1. Calcul des charges permanentes

✚ Au niveau du tablier

Poids propre du tablier : $P = 25 \times e \times 1 = 25 \times 0.2 \times 1 = 5 \text{ kN/m}$

Remblai sur dalot, $e = 0.2 \text{ m} \Rightarrow P = 20 \times e \times 1 = 20 \times 0.2 = 4 \text{ kN/m}$

Couche de roulement $e = 0.03 \text{ m} \Rightarrow P = 24 \times e \times 1 = 24 \times 0.03 = 0.72 \text{ kN/m}$

On a $P_1 = \sum P_i = 5 + 4 + 0.72 = 9.72 \text{ kN/ml}$

✚ Au niveau du radier

Le radier reçoit les charges permanentes du tablier P_1 et des piédroits.

Poids propre du piédroit : $P = 25 \times 0.2 \times 1 = 5 \text{ kN/m}$

Poids propre du radier : $P = 25 \times e \times 1 = 25 \times 0.2 \times 1 = 5 \text{ kN/m}$

$P_2 = 9.72 + 5 + \frac{5 \times 4}{(2 \times 3) + (0.2 \times 4)} = 17.66 \text{ kN/ml}$

2.2. Calcul des charges variables

Elles sont définies par le fascicule 61 titre 2 du C.P.C et concerne les charges et effets suivants :

- Les charges d'exploitation sans caractères particuliers ou charges routières normales ;
- Les charges d'exploitation à caractères particuliers ;
- Les effets du vent ;
- Les actions de la température ;
- Les actions climatiques ;
- Les actions en cours d'exécution.

Cependant dans notre cas nous nous intéresserons uniquement aux charges routières normales.

2.2.1. Surcharges routières

Elles regroupent l'ensemble des systèmes de chargements routiers définies par le Fascicule 61 titre 2 du C.P.C et sont constituées du :

- Système A ;
- Système B comprenant les charges de type Bc, Bt, Br.

Il nous faudra définir certaines notions qui seront utiles pour la suite.

Largeur roulable (Lr) : c'est la largeur du tablier comprise entre dispositifs de retenue, s'il y'en a ou bordures. Elle comprend donc la chaussée proprement dite et les sur largeurs éventuelles, telles que les bandes d'arrêt d'urgence (BAU), Bandes dérasées (BD) etc...

Dans le cas du présent projet, la largeur roulable est :

$$Lr = 7 \text{ m}$$

Largeur Chargeable Lch : la largeur chargeable se déduit à partir de la largeur roulable :

En enlevant une bande de 0.50 m le long de chaque dispositif de retenue (glissière ou barrière) lorsqu'il en existe ; cependant si une chaussée est encadrée par deux (2) bordures, la largeur chargeable est confondue avec la largeur roulable et si elle est bordée d'un côté par un dispositif de retenue, de l'autre par une bordure, c'est une bande de 0.50 m qui sera soustraite.

$$Lch = Lr - n \times 0.50$$

Avec : Lch : largeur chargeable en m et n : nombre de dispositifs de retenue et $n \leq 2$

$$Lch = 7 - (0 \times 0.5)$$

$$Lch = 7 \text{ m}$$

Nombre de voies N_v : par convention le nombre de voies de circulation N_v des chaussées est tel que :

$$N_v = \text{Entier} \left(\frac{L_{ch}}{3} \right)$$

$$N_v = \text{Entier} \left(\frac{7}{3} \right) = 2$$

$$N_v = 2 \text{ Voies}$$

Largeur d'une voie (V) : la largeur d'une voie de circulation V est donnée par :

$$V = \frac{L_{ch}}{N_v}$$

$$V = \frac{7}{2}$$

V = 3.5 m

Classe des ponts : les ponts sont classés en trois (3) classes selon leur largeur roulable Lr et leur destination :

- 1ère Classe : tout le pont supportant une largeur roulable supérieure ou égale à 7 m et ceux portant des bretelles d'accès à de telles chaussées, ainsi que les autres ponts éventuellement désignés par le cahier des Prescriptions Spéciales (C.P.S), tels que les ponts urbains ou en zone industrielle avec risque d'accumulation de poids lourds quel que soit leur largeur.
- 2ème Classe : tous les ponts autres que ceux de la 1ère classe supportant des chaussées de largeur roulable comprise entre 5.50 m et 7 m ;
- 3ème Classe : les ponts autres que ceux-ci-dessus portant des chaussées de 1 ou 2 voies de largeur roulable inférieure ou égale à 5.5 m.

En se référant à cette classification des ponts du Fascicule 61 Titre 2, nous remarquons que le dalot du projet est un dalot de 1ère classe car ayant une largeur roulable supérieure à 7.00 m. Soit le tableau (N°6) récapitulatif suivant :

Tableau 6: Classification selon le Fascicule 61 titre 2 du CPC

Désignation	Caractéristiques
Classe de pont	Pont de 1ère Classe
Nombre de Voie Nv	Nv = 2 voies
Largeur Roulable Lr	Lr = 7 m
Largeur Chargeable Lch	Lch = 7 m

Comme défini précédemment, on ne s'intéressera qu'au système B, le système A n'est pas envisagé pour les dalots de longueur inférieure à 10 m.

2.2.1.1. Système B

Le système B comprend trois (3) sous-systèmes dont les effets pour chaque élément des ponts sont examinés indépendamment :

- Le système Bc composé de camions types ;
- Le système Br composé d'une roue isolée ;

- Le système Bt composé de groupes de deux (2) essieux.

Dans la suite, il sera présenté une description de chaque type de système avant de passer aux différents calculs.

2.2.1.1.1. Le Système Bc

Le sous-système Bc se compose de camions de poids individuel égal à 300 KN. On dispose autant de files de deux camions au maximum que de voies de circulation, il est affecté un coefficient de pondération bc (dégressivité transversale).

Le sous-système Bc est représenté sur les figures (N°9 et 10) ci-dessous :

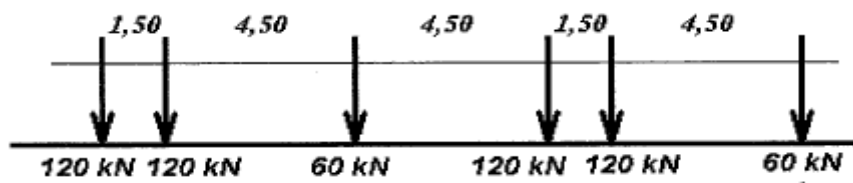


Figure 9 : Disposition de deux camions dans le sens longitudinal (Système Bc)

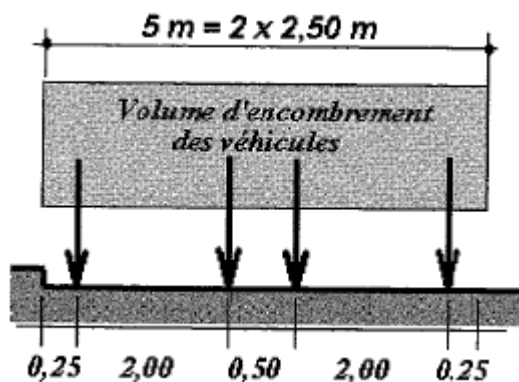


Figure 10 : Disposition de deux camions dans le sens transversal (Sous-système Bc)

La détermination du coefficient bc se fait en fonction de la classe du pont et du nombre de voies chargées, les différentes valeurs du coefficient bc sont présentées dans la figure N°11 qui suit :

Classe du pont	Nombre de voies chargées				
	1	2	3	4	5
I	1,2	1,1	0,95	0,80	0,70
II	1	1	-	-	-
III	1	0,8			

Figure 11 : Valeurs du coefficient bc

Dans le cas du présent projet, le pont est de première classe avec deux files donc le coefficient bc est respectivement égal à 1.20 pour une file et 1.10 pour deux (2) files. Nous avons deux camions transversalement et deux files de deux essieux de 120 kN.

Le tableau N°7 qui suit présente le calcul de la charge engendrée par le sous-système Bc :

Tableau 7: Chargement sous - système Bc par voie

Nombre de Voies Chargées	bc	Charge par Essieu (KN)		
1 Voie	1.20	E. AV	$1 \times 60 \times 1.20$	72
		E.AR	$1 \times 120 \times 1.20$	144
2 Voies	1.10	E. AV	$2 \times 60 \times 1.10$	132
		E.AR	$2 \times 120 \times 1.10$	264

$$S = 2 \times 120 \times 2 \times 1.1 = 264 \times 2 = 528 \text{ kN}$$

2.2.1.1.2. Le Système Bt

Le sous-système Bt se compose de deux tandems à deux essieux de quatre roues chacun, le poids de chaque essieu étant de 160 KN :¹⁹

- Il ne s'applique qu'aux ponts de première et deuxième classe ;
- Le nombre de camions est limité à deux dans le sens transversal ;
- Il est affecté d'un coefficient de pondération bt égal à 1 pour les ponts de première classe et 0.90 pour ceux de deuxième classe.

La figure qui suit présente la disposition dudit système :

¹⁹ Ministère de l'équipement et du logement, et Ministère de l'économie des finances, « Fascicule 61 titre II du CCTG : Programmes de charges et épreuves des ponts routes », 1981.

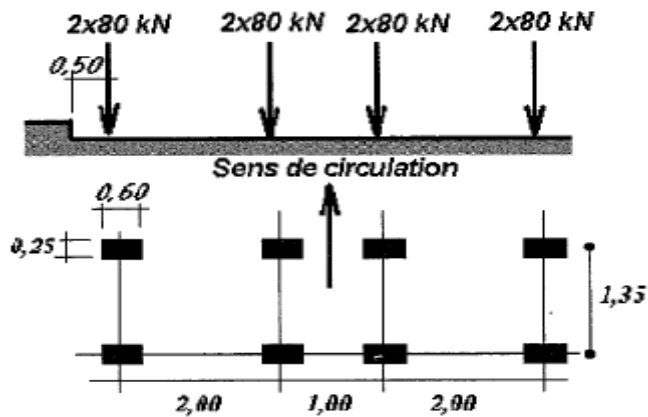


Figure 12 : Disposition sous - système Bt

Le dalot soumis à cette étude étant de 1ère classe, le coefficient bt est alors égal à $b_t = 1$.

Le poids total maximal S des essieux du système Bt est alors égal à :

$$S = S_1 \times b_t$$

$$S = 2 \times 16 \times 2 \times 1 = 64 \text{ t} = 640 \text{ kN}$$

Le tableau N°8 qui suit récapitule la charge Bt par essieu :

Tableau 8: Charge Bt par essieu

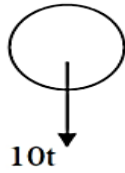
Nombre de Tandem	BT	Charge par essieu (KN)	
1	1	$160 \times 1 \times 1$	160
2	1	$160 \times 2 \times 1$	320

2.2.1.1.3. Le Système Br

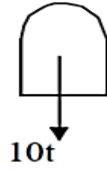
Le sous-système Br se compose d'une roue isolée transmettant un effort de 100 KN à travers une surface d'impact rectangulaire de $0,60 \times 0,30$ m (la dimension 0,60 perpendiculaire à l'axe de déplacements des véhicules, représente la surface au sol de roues jumelées), il est représenté par la figure qui suit :²⁰

²⁰ Ministère de l'équipement et du logement, et Ministère de l'économie des finances.

Longitudinalement



Transversalement



En plan

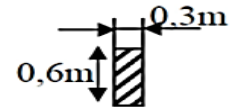


Figure 13 : Configuration sous - système Br

Le système Br se calcule comme suit :

Deux voies chargées : $\rightarrow B_r = 10t = 100 \text{ kN}$

$$S = \max\{S_{BC}; S_{BT}; S_{Br}\} = \max\{528; 640; 100\} = 640 \text{ kN}$$

Pour la suite, nous prendrons la valeur de la surcharge B_t comme surcharge routière $q_L = 640 \text{ kN}$.

Au niveau du tablier :

Calcul de la charge répartie : $q_1 = \frac{640 \times 1}{2.2 \times 5} = 58.18 \text{ kN/m}^2$

Coefficient de majoration dynamique :

$$\delta = 1 + \frac{0.40}{1+0.2L} + \frac{0.60}{1+4\frac{G}{S}}$$

Avec :

- L : longueur de la travée étudiée, $L = 2 \text{ m}$
- G : Poids total de ladite travée, $G = P_1 \times L = 9.72 \times 2 = 19.44 \text{ kN}$
- S : Poids total maximal des essieux du Système Bt, $S = S = 58.18 \times 2 = 116.36 \text{ kN}$

$$\delta = 1 + \frac{0.40}{1+(0.2 \times 2)} + \frac{0.60}{1+4 \times \frac{19.44}{116.36}} \cong 1.65$$

D'où une surcharge uniformément répartie :

$$q = q_1 \times \delta = 58.18 \times 1.65 = 95.99 \text{ kN/ml}$$

Au niveau du radier :

Calcul de la charge répartie : $q_2 = \frac{640 \times 1}{6.8 \times 5} = 18.82 \text{ kN/m}^2$

Coefficient de majoration dynamique :

$$\delta = 1 + \frac{0.40}{1+0.2L} + \frac{0.60}{1+4\frac{G}{S}}$$

Avec :

- L : longueur de la travée étudiée, $L = 2$ m
- G : Poids total de ladite travée, $G = P_1 \times L = 17.662 \times 2 = 35.32$ kN
- S : Poids total maximal des essieux du Système Bt, $S = S = 18.82 \times 2 = 37.64$ kN

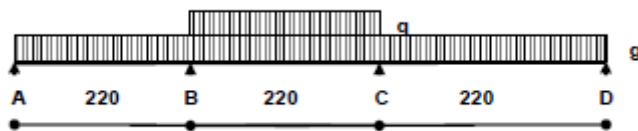
$$\delta = 1 + \frac{0.40}{1+(0.2 \times 2)} + \frac{0.60}{1+4 \times \frac{35.32}{37.64}} \cong 1.41$$

D'où une surcharge uniformément répartie :

$$q = q_2 \times \delta = 18.82 \times 1.41 = 26.54 \text{ kN/ml}$$

3. Détermination des efforts et sollicitations

Ils seront déterminés selon les formules découlant des équations des trois moments. Pour les cas des surcharges routières, selon le principe des lignes d'influence, on chargera les travées appropriées pour obtenir suivant les sections considérées, les effets les plus défavorables.



3.1. Au niveau du tablier

3.1.1. Sous charges permanentes

$$g = 9.72 \text{ kN/ml}$$

Moments à mi- travée A-B, B-C, C-D

$$M(A - B) = M(C - D) = 0.080 \times g \times L^2 = 0.080 \times 9.72 \times 2.20^2 = 3.76 \text{ kN.m/ml}$$

$$M(B - C) = 0.025 \times g \times l^2 = 0.025 \times 9.72 \times 2.20^2 = 1.18 \text{ kN.m/ml}$$

Moments sur appuis B et C

$$M(B) = M(C) = -0.100 \times g \times l^2 = -0.1 \times 9.72 \times 2.2^2 = -4.70 \text{ kN.m/ml}$$

Réactions d'appuis

$$R(A) = R(D) = 0.4 \times g \times l = 0.4 \times 9.72 \times 2.2 = 8.55 \text{ kN}$$

$$R(B) = R(C) = 1.1 \times g \times l = 1.1 \times 9.72 \times 2.2 = 23.52 \text{ kN}$$

3.1.2. Sous surcharges routières

$$q = 95.99 \text{ kN/ml}$$

Moments à mi- travée A-B, B-C, C-D

$$M(A - B) = M(C - D) = 0.100 \times q \times L^2 = 0.100 \times 95.99 \times 2.20^2 = 46.46 \text{ kN.m/ml}$$

$$M(B - C) = q \times l^2 / 13.3 = 95.99 \times 2.20^2 / 13.30 = 34.93 \text{ kN.m/ml}$$

Moments sur appuis B et C

$$M(B) = M(C) = -q \times l^2 / 8.6 = -95.99 \times 2.2^2 / 8.6 = -54.02 \text{ kN.m/ml}$$

Réactions d'appuis

$$R(A) = R(D) = 0.45 \times q \times l = 0.45 \times 95.99 \times 2.2 = 95.03 \text{ kN}$$

$$R(B) = R(C) = 1.2 \times q \times l = 1.2 \times 95.99 \times 2.2 = 253.41 \text{ kN}$$

3.2. Au niveau du radier

3.2.1. Sous charges permanentes

$$g = 17.66 \text{ kN/ml}$$

Moments à mi- travée A-B, B-C, C-D

$$M(A - B) = M(C - D) = g \times L^2 / 12.50 = 17.66 \times 2.20^2 / 12.50 = 6.81 \text{ kN.m/ml}$$

$$M(B - C) = g \times l^2 / 40 = 17.66 \times 2.20^2 / 40 = 2.14 \text{ kN.m/ml}$$

Moments sur appuis B et C

$$M(B) = M(C) = -0.100 \times g \times l^2 = -0.100 \times 17.66 \times 2.2^2 = -8.55 \text{ kN.m/ml}$$

Réactions d'appuis

$$R(A) = R(D) = 0.4 \times g \times l = 0.4 \times 17.66 \times 2.2 = 15.54 \text{ kN}$$

$$R(B) = R(C) = 1.1 \times g \times l = 1.1 \times 17.66 \times 2.2 = 42.73 \text{ kN}$$

3.2.2. Sous surcharges routières

$$q = 26.54 \text{ kN/ml}$$

Moments à mi- travée A-B, B-C, C-D

$$M(A - B) = M(C - D) = 0.100 \times q \times L^2 = 0.100 \times 26.54 \times 2.20^2 = 12.85 \text{ kN. m/ml}$$

$$M(B - C) = q \times l^2 / 13.3 = 26.54 \times 2.20^2 / 13.30 = 9.66 \text{ kN. m/ml}$$

Moments sur appuis B et C

$$M(B) = M(C) = -q \times l^2 / 8.6 = -26.54 \times 2.2^2 / 8.6 = -14.94 \text{ kN. m/ml}$$

Réactions d'appuis

$$R(A) = R(D) = 0.45 \times q \times l = 0.45 \times 26.54 \times 2.2 = 26.27 \text{ kN}$$

$$R(B) = R(C) = 1.2 \times q \times l = 1.2 \times 26.54 \times 2.2 = 70.07 \text{ kN}$$

3.3. Au niveau des piédroits centraux B et C

3.3.1. Sous charges permanentes

$$\text{Réaction d'appui du radier } N = R(B) = R(C) = 42.73 \text{ kN}$$

3.3.2. Sous surcharges routières

$$\text{Réaction d'appui du tablier } N = R(B) = R(C) = 253.41 \text{ kN}$$

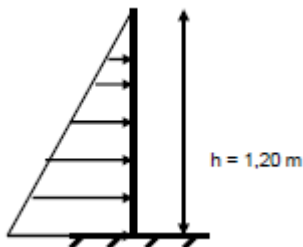
3.4. Au niveau des piédroits extérieurs A et D

3.4.1. Sous charges permanentes

Effort normal

$$\text{Réaction d'appui du radier } N = R(A) = R(D) = 15.54 \text{ kN}$$

Moment dû à la poussée des terres



$$M = \gamma \times h^3 \times K_a / 6 = 20 \times 1.2^3 \times \frac{0.33}{6} = 1.9 \text{ kN. m/ml}$$

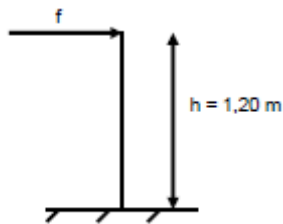
3.4.2. Sous surcharges routières

Effort normal

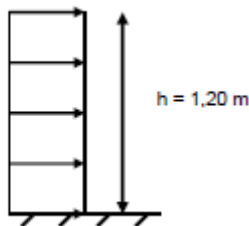
Réaction d'appui du tablier $N = R(A) = R(D) = 95.03 \text{ kN}$

Moment dû à la force de freinage

On répartit l'effort $F = 58.18 \text{ kN}$ (calculé précédemment) sur les deux pénétrations extérieures d'où $f = 29.09 \text{ kN}$.



$$M = f \times h = 29.09 \times 1.2 = 34.91 \text{ kN.m/ml}$$

Moment dû à la surcharge routière de remblai ($\sigma = 10 \text{ kN/m}^2$)

$$M = \sigma \times h^2 \times \frac{K_a}{2} = 10 \times 1.2^2 \times \frac{0.33}{2} = 2.38 \text{ kN.m/ml}$$

4. Calcul des sections d'armatures

4.1. Calcul des armatures du tablier

Données de calcul : $b = 2.00 \text{ m}$; $h = 0.20 \text{ m}$; $d = 0.9h = 0.18 \text{ m}$; $d' = 0.1h = 0.02 \text{ m}$;

$$f_{bu} = \frac{0.85f_{c28}}{\theta\gamma_b} = \frac{0.85 \times 25}{1 \times 1.5} = 14.17 \text{ MPa} ; f_{su} = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{400}{1.15} = 347.83 \text{ MPa}$$

4.1.1. Travée A-B et C-D (lit inférieur)

Calcul à l'Etat limite Ultime (ELU)

$$M_u = 1.35G + 1.6 Q$$

$$M_u = 1.35 \times 3.76 + 1.6 \times 46.46 = 79.41 \text{ kN.m}$$

Calcul du moment réduit μ_u

$$\mu_u = \frac{M_u}{bd^2 f_{bu}} = \frac{79.41}{2 \times 0.18^2 \times 14.17 \times 10^3} = 0.086$$

$$\alpha_u = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.086}) = 0.113$$

Recherche du Pivot

$$\mu_u = 0.086 < \mu_{AB} = 0.186 \Rightarrow \text{Pivot A}$$

Détermination du bras de levier

$$Z_u = d(1 - 0.4\alpha_u) = 0.18(1 - 0.4 \times 0.113) = 0.172$$

Calcul de la section d'acier

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}} = \frac{79.41}{0.172 \times 347.83 \times 10^3} = 13.29 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'Etat Limite de Service (ELS)

$$M_{ser} = G + 1.2Q$$

$$M_{ser} = 3.76 + 1.2 \times 46.46 = 59.51 \text{ kN.m}$$

Le moment résistant

$$M_{r_{ser,b}} = \frac{bd^2}{2} \bar{\sigma}_{bc} \times \bar{\alpha}_{ser} \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right)$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n\bar{\sigma}_{bc}}{n\bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 200} = 0.53$$

D'où

$$M_{r_{ser,b}} = \frac{2 \times 0.18^2}{2} \times 15 \times 0.53 \times \left(1 - \frac{0.53}{3}\right)$$

$$M_{r_{ser,b}} = 0.212 \text{ MN.m} > M_{ser} \Rightarrow \text{pas d'aciers comprimés}$$

Section d'aciers principaux

$$A_{pr} = \frac{M_{ser}}{d \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{st}}$$

$$A_{pr} = \frac{59.51 \times 10^{-3}}{0,18 \left(1 - \frac{0,53}{3}\right) \times 200} = 2.01 \times 10^{-3} \text{ m}^2 = 20.08 \text{ cm}^2$$

$$A_{pr} = 20.08 \text{ cm}^2$$

Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4}$$

$$A_{rep} = \frac{20.08}{4} = 5.02 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{min} = \frac{0.23 \times f_{t28} \times b \times d}{F_e}$$

$$A_{min} = \frac{0.23 \times 2,1 \times 2 \times 0,18}{400} = 4.35 \text{ cm}^2$$

Sections retenues pour le ferrailage des armatures du tablier en travée :

Section d'aciers principaux :

$$A_{pr} = 20.08 \text{ cm}^2$$

Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = 5.02 \text{ cm}^2$$

4.1.2. Travée B-C (lit inférieur)

Calcul à l'Etat limite Ultime (ELU)

$$M_u = 1.35G + 1.6Q$$

$$M_u = 1.35 \times 1.18 + 1.6 \times 34.93 = 57.48 \text{ kN.m}$$

Calcul du moment réduit μ_u

$$\mu_u = \frac{M_u}{bd^2f_{bu}} = \frac{57.48}{2 \times 0.18^2 \times 14.17 \times 10^3} = 0.0626$$

$$\alpha_u = 1.25 \left(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}\right) = 1.25 \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.0626}\right) = 0.0808$$

Recherche du Pivot

$$\mu_u = 0.0626 < \mu_{AB} = 0.186 \Rightarrow \text{Pivot A}$$

Détermination du bras de levier

$$Z_u = d(1 - 0.4\alpha_u) = 0.18(1 - 0.4 \times 0.0808) = 0.174$$

Calcul de la section d'acier

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}} = \frac{57.48}{0.174 \times 347.83 \times 10^3} = 9.49 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'Etat Limite de Service (ELS)

$$M_{ser} = G + 1.2Q$$

$$M_{ser} = 1.18 + 1.2 \times 34.93 = 43.1 \text{ kN.m}$$

Le moment résistant

$$M_{r_{ser}b} = \frac{bd^2}{2} \bar{\sigma}_{bc} \times \bar{\alpha}_{ser} \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right)$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n\bar{\sigma}_{bc}}{n\bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 200} = 0.53$$

D'où

$$M_{r_{ser}b} = \frac{2 \times 0.18^2}{2} \times 15 \times 0.53 \times \left(1 - \frac{0.53}{3}\right)$$

$$M_{r_{ser}b} = 0.212 \text{ MN.m} > M_{ser} \Rightarrow \text{pas d'aciers comprimés}$$

Section d'aciers principaux

$$A_{pr} = \frac{M_{ser}}{d \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{st}}$$

$$A_{pr} = \frac{43.1 \times 10^{-3}}{0.18 \left(1 - \frac{0.53}{3}\right) \times 200} = 1.45 \times 10^{-3} \text{ m}^2 = 14.54 \text{ cm}^2$$

$$A_{pr} = 14.54 \text{ cm}^2$$

Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4}$$

$$A_{\text{rep}} = \frac{14.54}{4} = 3.64 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{\text{min}} = \frac{0.23 \times f_{t28} \times b \times d}{F_e}$$

$$A_{\text{min}} = \frac{0.23 \times 2,1 \times 2 \times 0,18}{400} = 4.35 \text{ cm}^2$$

Sections retenues pour le ferrailage des armatures du tablier en travée :

Section d'aciers principaux :

$$A_{\text{pr}} = 14.54 \text{ cm}^2$$

Section d'aciers de répartition :

$$A_{\text{rep}} = 4.35 \text{ cm}^2$$

4.1.3. Sur appuis B et C (lit supérieur)

Calcul à l'Etat limite Ultime (ELU)

$$M_u = 1.35G + 1.6 Q$$

$$M_u = 1.35 \times 4.7 + 1.6 \times 54.02 = 92.78 \text{ kN.m}$$

Calcul du moment réduit μ_u

$$\mu_u = \frac{M_u}{bd^2 f_{bu}} = \frac{92.78}{2 \times 0.18^2 \times 14.17 \times 10^3} = 0.101$$

$$\alpha_u = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.101}) = 0.133$$

Recherche du Pivot

$$\mu_u = 0.101 < \mu_{AB} = 0.186 \Rightarrow \text{Pivot A}$$

Détermination du bras de levier

$$Z_u = d(1 - 0.4\alpha_u) = 0.18(1 - 0.4 \times 0.133) = 0.170$$

Calcul de la section d'acier

$$A_{\text{st}} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}} = \frac{92.78}{0.170 \times 347.83 \times 10^3} = 15.65 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'Etat Limite de Service (ELS)

$$M_{\text{ser}} = G + 1.2Q$$

$$M_{\text{ser}} = 4.7 + 1.2 \times 54.02 = 69.254 \text{ kN.m}$$

Le moment résistant

$$M_{r_{\text{ser}b}} = \frac{bd^2}{2} \bar{\sigma}_{bc} \times \bar{\alpha}_{\text{ser}} \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{\text{ser}}}{3}\right)$$

$$\bar{\alpha}_{\text{ser}} = \frac{n\bar{\sigma}_{bc}}{n\bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 200} = 0.53$$

D'où

$$M_{r_{\text{ser}b}} = \frac{2 \times 0.18^2}{2} \times 15 \times 0.53 \times \left(1 - \frac{0.53}{3}\right)$$

$$M_{r_{\text{ser}b}} = 0.212 \text{ MN.m} > M_{\text{ser}} \Rightarrow \text{pas d'aciers comprimés}$$

Section d'aciers principaux

$$A_{\text{pr}} = \frac{M_{\text{ser}}}{d \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{\text{ser}}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{st}}$$

$$A_{\text{pr}} = \frac{69.254 \times 10^{-3}}{0,18 \left(1 - \frac{0,53}{3}\right) \times 200} = 23.46 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{pr}} = 23.46 \text{ cm}^2$$

Section d'aciers de répartition :

$$A_{\text{rep}} = \frac{A_{\text{pr}}}{4}$$

$$A_{\text{rep}} = \frac{23.46}{4} = 5.86 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{\text{min}} = \frac{0.23 \times f_{t28} \times b \times d}{F_e}$$

$$A_{\text{min}} = \frac{0.23 \times 2,1 \times 2 \times 0,18}{400} = 4.35 \text{ cm}^2$$

Sections retenues pour le ferrailage des armatures du tablier en travée :

Section d'aciers principaux :

$$A_{pr} = 23.46 \text{ cm}^2$$

Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = 5.86 \text{ cm}^2$$

4.2. Calcul des armatures du radier

4.2.1. Travée A-B et C-D (lit supérieur)

Calcul à l'Etat limite Ultime (ELU)

$$M_u = 1.35G + 1.6 Q$$

$$M_u = 1.35 \times 6.81 + 1.6 \times 12.85 = 29.75 \text{ kN.m}$$

Calcul du moment réduit μ_u

$$\mu_u = \frac{M_u}{bd^2f_{bu}} = \frac{29.75}{2 \times 0.18^2 \times 14.17 \times 10^3} = 0.0324$$

$$\alpha_u = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.0324}) = 0.04$$

Recherche du Pivot

$$\mu_u = 0.0324 < \mu_{AB} = 0.186 \Rightarrow \text{Pivot A}$$

Détermination du bras de levier

$$Z_u = d(1 - 0.4\alpha_u) = 0.18(1 - 0.4 \times 0.04) = 0.177$$

Calcul de la section d'acier

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}} = \frac{29.75}{0.177 \times 347.83 \times 10^3} = 4.83 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'Etat Limite de Service (ELS)

$$M_{ser} = G + 1.2Q$$

$$M_{ser} = 6.81 + 1.2 \times 12.85 = 22.23 \text{ kN.m}$$

Le moment résistant

$$M_{r_{ser}b} = \frac{bd^2}{2} \bar{\sigma}_{bc} \times \bar{\alpha}_{ser} \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right)$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n\bar{\sigma}_{bc}}{n\bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 200} = 0.53$$

D'où

$$M_{r_{ser}b} = \frac{2 \times 0.18^2}{2} \times 15 \times 0.53 \times \left(1 - \frac{0.53}{3}\right)$$

$$M_{r_{ser}b} = 0.212 \text{ MN.m} > M_{ser} \Rightarrow \text{pas d'aciers comprimés}$$

Section d'aciers principaux

$$A_{pr} = \frac{M_{ser}}{d \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{st}}$$

$$A_{pr} = \frac{22.23 \times 10^{-3}}{0,18 \left(1 - \frac{0,53}{3}\right) \times 200} = 7.5 \text{ cm}^2$$

$$A_{pr} = 7.5 \text{ cm}^2$$

Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4}$$

$$A_{rep} = \frac{7.5}{4} = 1.875 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{min} = \frac{0.23 \times f_{t28} \times b \times d}{F_e}$$

$$A_{min} = \frac{0.23 \times 2,1 \times 2 \times 0,18}{400} = 4.35 \text{ cm}^2$$

Sections retenues pour le ferrailage des armatures du tablier en travée :

Section d'aciers principaux :

$$A_{pr} = 7.5 \text{ cm}^2$$

Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = 4.35 \text{ cm}^2$$

4.2.2. Travée B-C (lit supérieur)

Calcul à l'Etat limite Ultime (ELU)

$$M_u = 1.35G + 1.6 Q$$

$$M_u = 1.35 \times 2.14 + 1.6 \times 9.66 = 18.345 \text{ kN.m}$$

Calcul du moment réduit μ_u

$$\mu_u = \frac{M_u}{bd^2 f_{bu}} = \frac{18.345}{2 \times 0.18^2 \times 14.17 \times 10^3} = 0.0199$$

$$\alpha_u = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.0199}) = 0.025$$

Recherche du Pivot

$$\mu_u = 0.0199 < \mu_{AB} = 0.186 \Rightarrow \text{Pivot A}$$

Détermination du bras de levier

$$Z_u = d(1 - 0.4\alpha_u) = 0.18(1 - 0.4 \times 0.025) = 0.178$$

Calcul de la section d'acier

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}} = \frac{18.345}{0.178 \times 347.83 \times 10^3} = 2.96 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'Etat Limite de Service (ELS)

$$M_{ser} = G + 1.2Q$$

$$M_{ser} = 2.14 + 1.2 \times 9.66 = 13.73 \text{ kN.m}$$

Le moment résistant

$$M_{r_{ser,b}} = \frac{bd^2}{2} \bar{\sigma}_{bc} \times \bar{\alpha}_{ser} \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right)$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n\bar{\sigma}_{bc}}{n\bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 200} = 0.53$$

D'où

$$M_{r_{ser,b}} = \frac{2 \times 0.18^2}{2} \times 15 \times 0.53 \times \left(1 - \frac{0.53}{3}\right)$$

$$M_{r_{serb}} = 0.212 \text{ MN. m} > M_{ser} \Rightarrow \text{pas d'aciers comprimés}$$

Section d'aciers principaux

$$A_{pr} = \frac{M_{ser}}{d \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{st}}$$

$$A_{pr} = \frac{13.73 \times 10^{-3}}{0,18 \left(1 - \frac{0,53}{3}\right) \times 200} = 4.63 \text{ cm}^2$$

$$A_{pr} = 4.63 \text{ cm}^2$$

Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4}$$

$$A_{rep} = \frac{4.63}{4} = 1.16 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{min} = \frac{0.23 \times f_{t28} \times b \times d}{F_e}$$

$$A_{min} = \frac{0.23 \times 2,1 \times 2 \times 0,18}{400} = 4.35 \text{ cm}^2$$

Sections retenues pour le ferrailage des armatures du tablier en travée :

Section d'aciers principaux :

$$A_{pr} = 4.63 \text{ cm}^2$$

Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = 4.35 \text{ cm}^2$$

4.2.3. Sur appuis B et C (lit inférieur)

Calcul à l'Etat limite Ultime (ELU)

$$M_u = 1.35G + 1.6 Q$$

$$M_u = 1.35 \times 8.55 + 1.6 \times 14.94 = 35.45 \text{ kN. m}$$

Calcul du moment réduit μ_u

$$\mu_u = \frac{M_u}{bd^2f_{bu}} = \frac{35.45}{2 \times 0.18^2 \times 14.17 \times 10^3} = 0.0386$$

$$\alpha_u = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.0386}) = 0.0492$$

Recherche du Pivot

$$\mu_u = 0.0386 < \mu_{AB} = 0.186 \Rightarrow \text{Pivot A}$$

Détermination du bras de levier

$$Z_u = d(1 - 0.4\alpha_u) = 0.18(1 - 0.4 \times 0.0492) = 0.176$$

Calcul de la section d'acier

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times f_{su}} = \frac{35.45}{0.178 \times 347.83 \times 10^3} = 5.78 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'Etat Limite de Service (ELS)

$$M_{ser} = G + 1.2Q$$

$$M_{ser} = 8.55 + 1.2 \times 14.94 = 26.48 \text{ kN.m}$$

Le moment résistant

$$M_{r_{ser}b} = \frac{bd^2}{2} \bar{\sigma}_{bc} \times \bar{\alpha}_{ser} \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right)$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n\bar{\sigma}_{bc}}{n\bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 200} = 0.53$$

D'où

$$M_{r_{ser}b} = \frac{2 \times 0.18^2}{2} \times 15 \times 0.53 \times \left(1 - \frac{0.53}{3}\right)$$

$$M_{r_{ser}b} = 0.212 \text{ MN.m} > M_{ser} \Rightarrow \text{pas d'aciers comprimés}$$

Section d'aciers principaux

$$A_{pr} = \frac{M_{ser}}{d \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{st}}$$

$$A_{pr} = \frac{26.48 \times 10^{-3}}{0,18 \left(1 - \frac{0,53}{3}\right) \times 200} = 8.93 \text{ cm}^2$$

$$A_{pr} = 8.93 \text{ cm}^2$$

Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4}$$

$$A_{rep} = \frac{8.93}{4} = 2.23 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{min} = \frac{0.23 \times f_{t28} \times b \times d}{F_e}$$

$$A_{min} = \frac{0.23 \times 2,1 \times 2 \times 0,18}{400} = 4.35 \text{ cm}^2$$

Sections retenues pour le ferrailage des armatures du tablier en travée :

Section d'aciers principaux :

$$A_{pr} = 8.93 \text{ cm}^2$$

Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = 4.35 \text{ cm}^2$$

4.3. Calcul des armatures des piédroits centraux B et C

Le piédroit sera considéré au mètre linéaire comme un poteau de 100×20

Effort normal sollicitant le poteau :

$$N_u = 1.35 \times 42.7 + 1.6 \times 253.41 = 463.10 \text{ kN}$$

Calcul de l'élancement

$$\lambda = \frac{L_f}{i} = \frac{2\sqrt{3}}{a} L_f = \frac{2\sqrt{3}}{0.2} \times 0.7 \times 1 = 12.12$$

Calcul de α

$$\lambda < 50 \Rightarrow \alpha = \frac{0.85}{1+0.2\left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} = \frac{0.85}{1+0.2\left(\frac{12.12}{35}\right)^2} = 0.83$$

Calcul de la section réduite Br

$$Br = (0.2 - 0.02) (1 - 0.02) = 0.18 \text{ m}^2$$

Calcul des armatures longitudinales

$$A_{sc} = \left[\frac{Nu}{\alpha} - \frac{Br f_{c28}}{0.9 \gamma_b} \right] \times \frac{\gamma_s}{f_e} = \left[\frac{0.463}{0.83} - \frac{0.18 \times 25}{0.9 \times 1.5} \right] \times \frac{1.15}{400} = -79.80 \text{ cm}^2$$

Le béton a lui seul peut reprendre les efforts de compression mais les dispositifs constructifs recommandent le minimum d'aciers.

Calcul de la section minimale

$$A_{s_{min}} = \max \left(4U; \frac{0.2B}{100} \right) = \max \left(4(0.2 + 1) \times 2; \frac{0.2 \times 20 \times 100}{100} \right) = \max(9.6 ; 4) \\ = 9.6 \text{ cm}^2$$

$$A_{s_{min}} = 9.6 \text{ cm}^2$$

On prendra 7HA14.

Calcul des armatures transversales

$$\phi_t \geq \frac{\phi_{lmax}}{3} \Rightarrow \phi_t \geq \frac{14}{3} = 4.67$$

$$\phi_t \geq 4.67 \text{ mm} \Rightarrow \phi_t = 8 \text{ mm}$$

Calcul de l'espacement des cours

$$St = \min (15\phi; 40 \text{ cm}; a + 10\text{cm}) = \min(15 \times 0.467 ; 40 \text{ cm} ; 20 + 10 = \\ \min(7 \text{ cm}; 40 \text{ cm} ; 30 \text{ cm}) = 7 \text{ cm}$$

On prendra $St = 7 \text{ cm}$.

4.4. Calcul des armatures des piédroits extérieurs A et D

Données de calcul : $b = 1 \text{ m}$; $h = 0.2 \text{ m}$; $d = 0.9h = 0.18 \text{ m}$; $d' = 0.1h = 0.02 \text{ m}$;

$$f_{bu} = \frac{0.85 f_{c28}}{\theta \gamma_b} = \frac{0.85 \times 25}{1 \times 1.5} = 14.17 \text{ MPa} ; f_{su} = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{400}{1.15} = 347.83 \text{ MPa}$$

Calcul à l'Etat Limite Ultime

$$M_u = 1.35G + 1.6Q$$

$$M_u = 1.35 \times 1.9 + 1.6 \times (34.91 + 2.38) = 62.23 \text{ kN.m}$$

$$N_u = 1.35 \times 15.54 \text{ kN} + 1.6 \times 95.03 = 173.03 \text{ kN}$$

L'excentricité e

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{62.23}{173.03} = 0.36 \text{ m}$$

Calcul de l'effort de compression maximal supportable par le béton

$$N_{bmax} = b \times h \times f_{bc} = 1 \times 0.20 \times 14.16 = 2832 \text{ kN}$$

Le coefficient de remplissage :

$$\psi_1 = \frac{N_u}{N_{bmax}} = \frac{173.03}{2832} = 0.061$$

$\psi_1 \leq 0.81 \Rightarrow$ on détermine l'excentricité critique relative ζ

$$\zeta < 2/3 \Rightarrow \zeta = \frac{1 + \sqrt{9 - 12\psi_1}}{4(3 + \sqrt{9 - 12\psi_1})} = \frac{1 + \sqrt{9 - 12 \times 0.061}}{4(3 + \sqrt{9 - 12 \times 0.061})} = 0.16$$

Calcul de e_{Nc}

$$e_{Nc} = \zeta \times h = 0.16 \times 0.2 = 0.032 \text{ m}$$

$e > e_{Nc} \Rightarrow$ section partiellement comprimée

Calcul du moment fictif :

$$M_{fictif} = N_u \times e_A \quad \text{Avec } e_A = e + (d - 0.5h)$$

$$e_A = 0.36 + (0.18 - 0.5 \times 0.2) = 0.44 \text{ m}$$

$$M_{fictif} = 173.03 \times 0.44 = 0.076 \text{ MN.m}$$

$$\mu = \frac{M_{fictif}}{bd^2f_{bu}} = \frac{0.076}{1 \times 0.18^2 \times 14.17} = 0.16$$

$$\mu = 0.16 < \mu_{AB} = 0.186$$

Calcul de μ_L

$$\mu_L = 0.39 \text{ Pour les aciers FeE400 MPa}$$

$$\mu < \mu_L$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.16}) = 0.219$$

$$\alpha = 0.219$$

Bras de levier :

$$Z_u = d(1 - 0.4\alpha)$$

$$Z_u = 0.18 \times (1 - 0.4 \times 0.219) = 0.164 \text{ m}$$

Section d'aciers fictifs :

$$A_{St} = \frac{M_{\text{fictif}}}{Z_u \times f_{su}} = \frac{0.076}{0.164 \times 347.83} = 1.33 \times 10^{-3} \text{ m}^2 = 13.32 \text{ cm}^2$$

$$A_{St} = 13.32 \text{ cm}^2$$

Section réelle d'aciers tendus :

$$A_{St,\text{réel}} = A_{\text{stfictif}} - \frac{N_u}{f_{su}} = 1.33 \times 10^{-3} - \frac{0.17303}{347.83} = 8.33 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 8.33 \text{ cm}^2$$

$$A_{St,\text{réel}} = 8.33 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'Etat Limite de Service

$$M_{\text{ser}} = G + 1.2Q$$

$$M_{\text{ser}} = 1.9 + 1.2 \times (34.91 + 2.38) = 46.65 \text{ kN.m}$$

$$N_{\text{ser}} = G + 1.2Q$$

$$N_{\text{ser}} = 15.54 + 1.2 \times 95.03 = 129.58 \text{ kN.m}$$

L'excentricité e

$$e = \frac{M_{\text{ser}}}{N_{\text{ser}}} = \frac{46.65}{129.58} = 0.38 \text{ m}$$

Calcul de l'effort de compression maximal supportable par le béton

$$Nb_{\text{max}} = b \times h \times f_{bc} = 1 \times 0.20 \times 14.16 = 2832 \text{ kN}$$

Le coefficient de remplissage :

$$\psi_1 = \frac{N_{\text{ser}}}{Nb_{\text{max}}} = \frac{129.58}{2832} = 0.046$$

$\psi_1 \leq 0.81 \Rightarrow$ on détermine l'excentricité critique relative ζ

$$\zeta < 2/3 \Rightarrow \zeta = \frac{1 + \sqrt{9 - 12\psi_1}}{4(3 + \sqrt{9 - 12\psi_1})} = \frac{1 + \sqrt{9 - 12 \times 0.046}}{4(3 + \sqrt{9 - 12 \times 0.046})} = 0.165$$

Calcul de e_{Nc}

$$e_{Nc} = \zeta \times h = 0.165 \times 0.2 = 0.033 \text{ m}$$

$e > e_{Nc} \Rightarrow$ section partiellement comprimée

Calcul du moment fictif :

$$M_{\text{ser fictif}} = N_{\text{ser}} \times e_A \quad \text{Avec } e_A = e + (d - 0.5h)$$

$$e_A = 0.38 + (0.18 - 0.5 \times 0.2) = 0.46 \text{ m}$$

$$M_{\text{ser fictif}} = 129.58 \times 0.46 = 0.059 \text{ MN.m}$$

Le moment réduit $M_{r_{\text{ser}b}}$

$$M_{r_{\text{ser}b}} = \frac{bd^2}{2} \bar{\sigma}_{bc} \times \bar{\alpha}_{\text{ser}} \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{\text{ser}}}{3}\right)$$

$$\bar{\alpha}_{\text{ser}} = \frac{n\bar{\sigma}_{bc}}{n\bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 200} = 0.53$$

D'où

$$M_{r_{\text{ser}b}} = \frac{1 \times 0.18^2}{2} \times 15 \times 0.53 \times \left(1 - \frac{0.53}{3}\right)$$

$$M_{r_{\text{ser}b}} = 0.106 \text{ MN.m} > M_{\text{ser fictif}} = 0.059 \text{ MN.m} \Rightarrow \text{pas d'aciers comprimés}$$

Section d'aciers principaux :

$$A_{\text{pr fictif}} = \frac{M_{\text{ser fictif}}}{d \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{\text{ser}}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{st}}$$

$$A_{\text{pr fictif}} = \frac{0.059}{0.18 \times \left(1 - \frac{0.53}{3}\right) \times 200} = 19.91 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 19.91 \text{ cm}^2$$

Section réelle d'aciers tendus :

$$A_{\text{pr,réel}} = A_{\text{pr fictif}} - \frac{N_{\text{ser}}}{\bar{\sigma}_s} = 19.91 \times 10^{-4} - \frac{0.12958}{200} = 13.43 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 13.43 \text{ cm}^2$$

$$A_{pr,réel} = 13.43 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{min} = \frac{0.23 \times f_{t28} \times b \times d}{f_e}$$

$$A_{min} = \frac{0.23 \times 2,1 \times 1 \times 0,18}{400} = 2.17 \text{ cm}^2$$

Sections retenues pour le ferrailage des armatures des piédroits extérieurs :

Section d'aciers principaux :

$$A_{pr} = 13.43 \text{ cm}^2$$

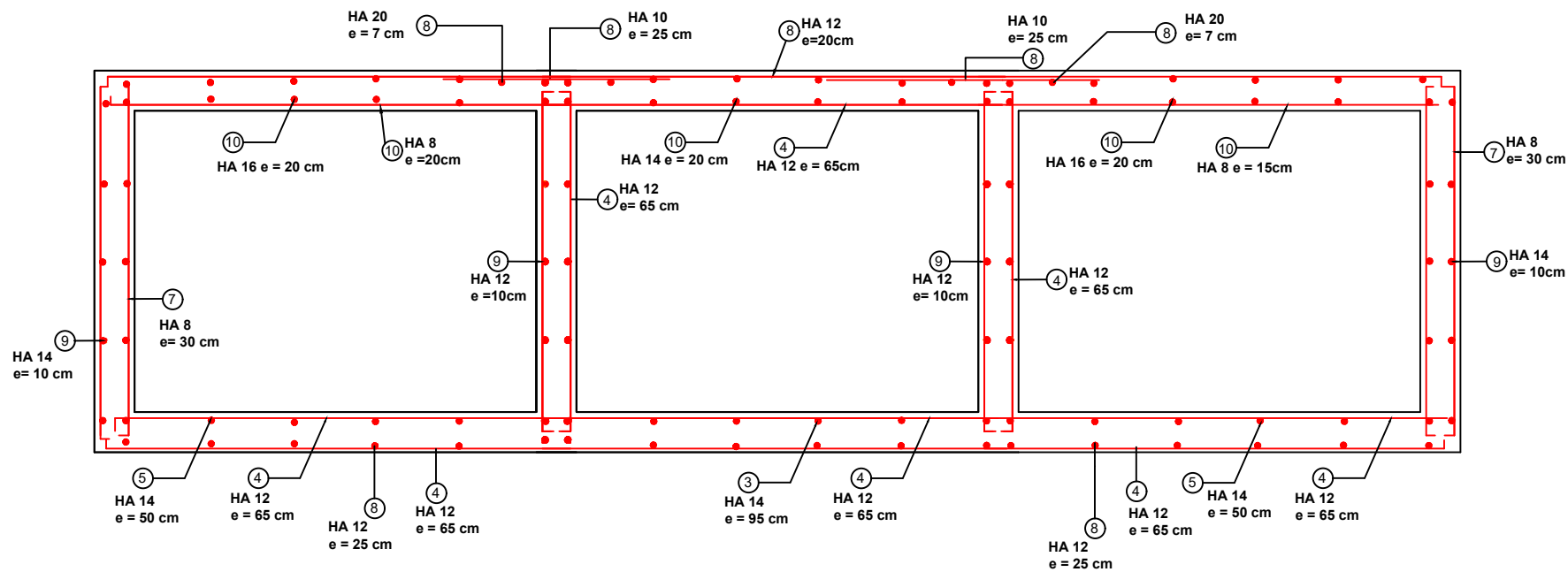
Section d'aciers de répartition :

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4}$$


$$A_{rep} = \frac{13.43}{4} = 3.36 \text{ cm}^2$$

$$A_{rep} = 3.36 \text{ cm}^2$$

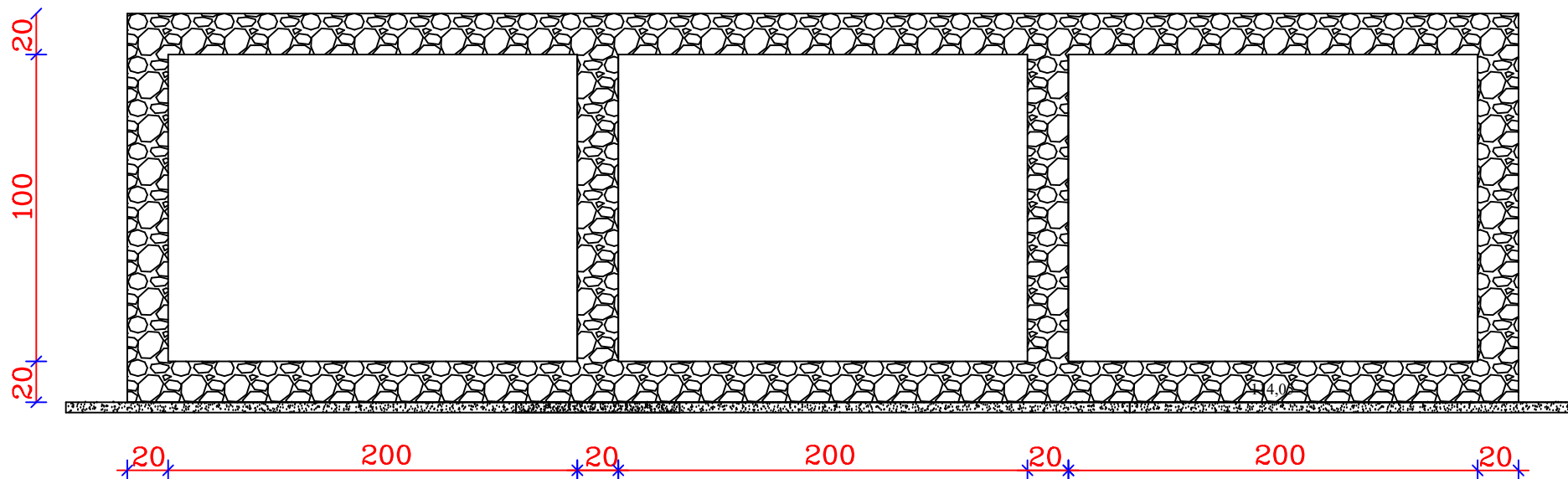
ANNEXE 11 : PLAN DE FERRAILLAGE DALOT $3 \times 2 \times 1$





PLAN DE FERRAILAGE

 GROUPH Art & Génie	REPUBLIQUE DU NIGER Fraternité-Travail-Progress		Date: 25/05/2018	
	ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX DE REHABILITATION DE LA ROUTE BALLEYARA- FILINGUE: TRONCON DU PK 45+000 AU PK 55+000		Ech : Ajust au Format	Plan : N°6
	Dalot 3*2*1		Dessiné par : BANAOU DJIBO Kader	





PLAN DE COFFRAGE

 <p>GROUPH Art & Génie</p>	REPUBLIQUE DU NIGER Fraternité-Travail-Progress		Date: 25/05/2018		
	ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX DE REHABILITATION DE LA ROUTE BALLEYARA- FILINGUE: TRONCON DU PK 45+000 AU PK 55+000		Ech : Ajust au Format	Plan : N°6	
	Dalot 3*2*1		Dessiné par : BANAOU DJIBO Kader		

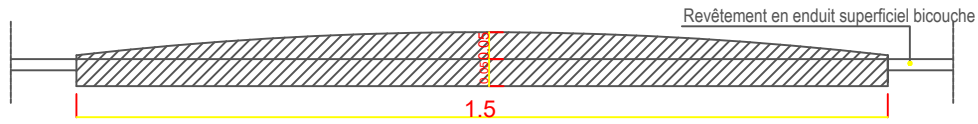
ANNEXE 12 : MATRICE D'INTERRELATIONS

Tableau 9: Matrice d'interrelations

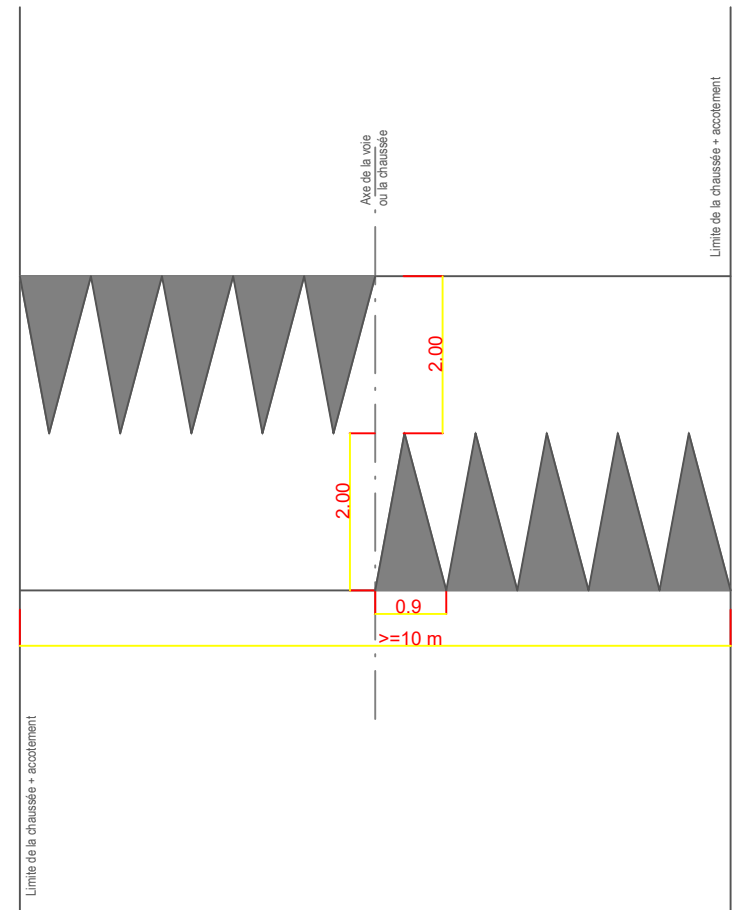
Phases du projet	Activités sources d'impacts	Composantes environnementales												
		Milieu biophysique						Milieu humain						
		Air	Sols	Eaux	Végétation	Faune	Paysage	Santé sécurité	Mobilité	Emplois et Revenus	Agriculture et Elevage	Infrastructures		
Préparation et Construction	Installation des chantiers et des bases vie													
	Dégagement, débroussaillage et nettoyage de l'emprise													
	Terrassement, ouverture exploitation des carrières et emprunts													
	Construction des ouvrages de Franchissement d'assainissement													
	Pose du revêtement bitumineux													
deExploitation	Présence et exploitation de la route													
	Travaux d'entretien courant et périodique													
Repli chantier	Travaux de démantèlement des infrastructures non nécessaires													

ANNEXE 13 : SIGNALISATION ROUTIÈRE

AVERTISSEUR / RALENTISSEUR

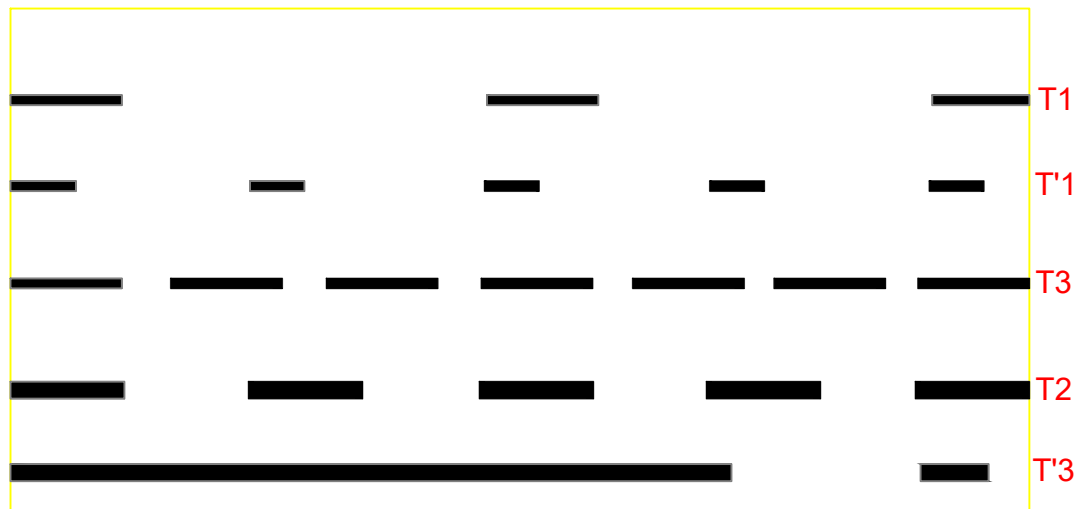


SIGNALISATION D'APPROCHE : AVERTISSEUR / RALENTISSEUR MARQUAGE DE CHAUSSEE

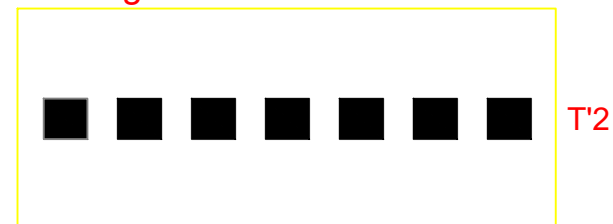


 <p>GROUPH Art & Génie</p>	<p>REPUBLIQUE DU NIGER Fraternité-Travail-Progress</p>		<p>Date: Mars 2013</p>	
	<p>ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX DE REHABILITATION DE LA ROUTE BALLEYARA- FILINGUE: TRONCON DU PK 45+000 AU PK 55+000</p>		<p>Ech : Ajust au Format</p>	<p>Plan : N°13</p>
	<p>SIGNALISATION D'APPROCHE</p>		<p>Dessiné par : Groupe Art & Génie</p>	

LIGNES LONGITUDINALES



Lignes transversales



Type de marquage	Type de modulation	Longueur du trait en (m)	Interval entre 2 traits successifs en (m)	Rapport plein/vide
axial Longitudinal	T1	3	10	1,3
	T'1	1,5	5	1,3
	T3	3	1,33	3
Rive	T2	3	3,5	1
	T'3	20	6	3
Tranversal	T'2	0,5	0,5	1



REPUBLIQUE DU NIGER
Fraternité-Travail-Progress

Date: Mars 2013

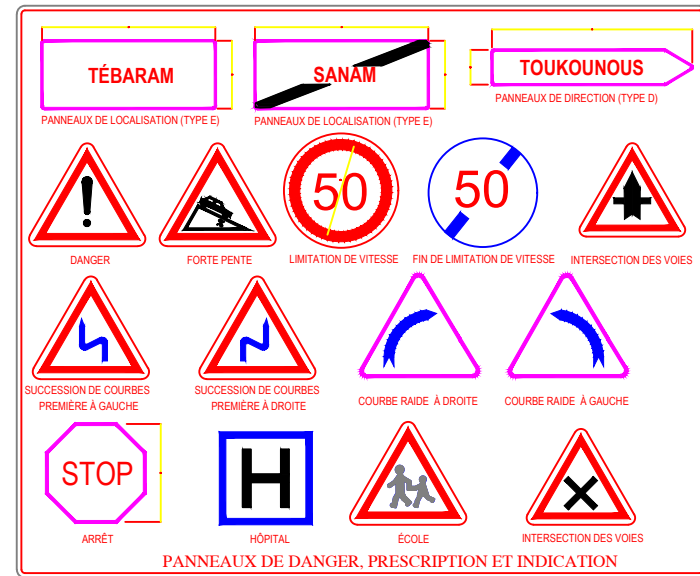
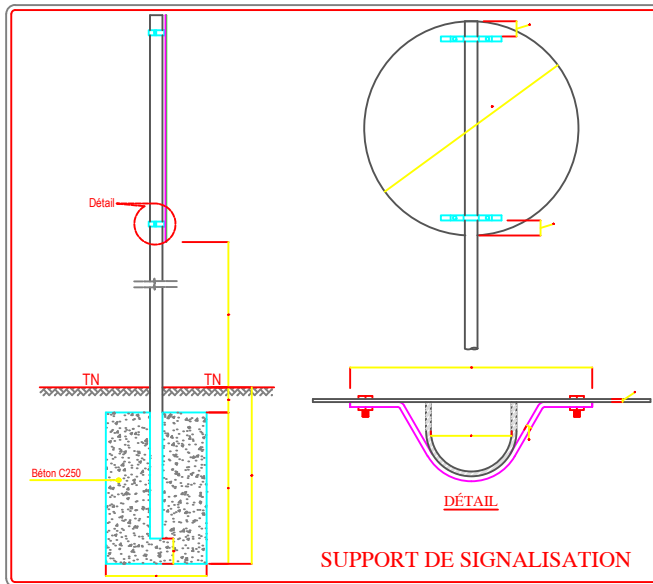
ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX DE
REHABILITATION DE LA ROUTE BALLEYARA- FILINGUE:
TRONCON DU PK 45+000 AU PK 55+000

Ech :
Ajust au Format

Plan : N°14

SIGNALISATIONS HORIZONTALES

Dessiné par : Groupe Art & Génie



 <p>GROUPE Art & Génie</p>	REPUBLIQUE DU NIGER Fraternité-Travail-Progress		Date: Mars 2013	
	ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX DE REHABILITATION DE LA ROUTE BALLEYARA- FILINGUE: TRONCON DU PK 45+000 AU PK 55+000		Ech : Ajust au Format	Plan : N°15
	SIGNALISATIONS VERTICALES		Dessiné par : Groupe Art & Génie	

ANNEXE 14 : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

Le tableau N°10 suivant constitue le cadre de devis quantitatif et estimatif du projet.

Tableau 10: Devis quantitatif et estimatif

Devis estimatif PK 45+000 au PK55 +000					
Séries	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
0	INSTALLATIONS DES BASES				
001	Installation des bases	FF	1	833 655 802	833 655 802
002	Installation pour la mission de contrôle	FF	1	104 206 975	104 206 975
003	Amenée et repli du matériel	FF	1	208 413 951	208 413 951
004	Forages d'eau équipé	ml	1 305	95 180	124 210 000
	SOUS TOTAL SERIE 000				1 270 486 728
100	TERRASSEMENT				
101	Débroussaillage et décapage	m2	80 000	150	12 000 000
102	Abattage d'arbre	u	250	10 000	2 500 000
103	Remblais pour, rampes et accès ouvrages	m3	997	7 500	7 480 050
104	Exécution de redans	m3	8 549	7 000	59 843 000
	SOUS TOTAL SERIE 100				81 823 050
200	TRAVAUX DE CORPS DE CHAUSSEE				
201	Recyclage de la chaussée existante avec apport de 5cm	m2	80 000	900	72 000 000
202	Purges	m3	180	14 197	2 555 460

203	Fourniture et Mise en œuvre de matériaux pour couche de base	m3	12 000	9 000	108 000 000
204	Transport des matériaux latéritiques au-delà de 5000 m	m3xkm	123 955	220	27 270 100
	SOUS TOTAL SERIE 200				209 825 560
300	REVETEMENTS EN ENDUITS SUPERFICIELS				
301	Fourniture liant hydrocarboné				
301.a	Fourniture bitume fluidifié 0/1	t	96	1 100 000	105 622 000
301.b	Fourniture bitume 50/70	t	177	1 100 000	194 700 000
302	Fourniture gravillons toutes dimensions pour enduits superficiels	m3	1 591	42 000	66 822 000
303	Exécution de l'imprégnation	m2	87 663	200	17 532 600
304	Exécution couche revêtement enduit superficiel				-
304.a	Mise en œuvre mono couche	m2	9 501	345	3 277 845
304.b	Mise en œuvre bicouche	m2	74 577	1 066	79 499 082
306	Transport gravillons pour enduits	m3xkm	34 948	175	6 115 900
	SOUS TOTAL SERIE 300				473 569 427
400	ASSAINISSEMENT				
404	Dépose des descentes d'eau	ml	48	5 344	256 512
405	Pose descentes d'eau	ml			-
405.a	Pose descentes d'eau avec réutilisation d'éléments	ml	48	18 913	907 824
405.b	Pose de nouveaux éléments de descentes d'eau	ml	401	39 928	16 011 128
406	Dépose de bordures	ml	1 042	2 500	2 605 000
407	Fourniture et pose bordures de type T2	ml			-
407.a	Pose bordures avec réutilisation d'éléments	ml	993	9 000	8 937 000

407.b	Pose de nouvelles bordures	ml	2 001	16 289	32 594 289
408	Fourniture et pose gabions	m3	470	55 953	26 297 910
409	Enrochement pour protection		250	33 166	8 291 417
410	Perrés maçonnés	m2	1 266	27 429	34 725 114
	SOUS TOTAL SERIE 400				130 626 194
500	OUVRAGES				
501	Corps de dalot cadre en béton armé (y compris armatures)				
501.d	Dalot de type 3x2x1.0	ml	10	1 654 515	15 883 344
502	Têtes de dalots				-
502.d	Dalot de type 3x2x1.0	U	2	2 621 722	5 243 444
	SOUS TOTAL SERIE 500				21 126 788
600	SIGNALISATION				
	Signalisation Horizontale				
601	Bande de peinture en ligne continue	ml	1 984	506	1 003 904
602	Bande de peinture en ligne discontinue	ml	7 938	675	5 358 150
603	Ligne de rive T2	ml	19 845	821	16 282 823
	Signalisation Verticale				-
604	Panneaux de signalisation de type A	U	19	211 178	4 012 376
605	Panneaux de signalisation de type B ou AB	U	15	250 236	3 753 535
606	Panneaux de signalisation de parkings	U	16	262 769	4 204 309

607	Panneaux de signalisation de type E	U	8	377 617	3 020 939
608	Balise de virage	U			-
609a	Fourniture et Pose de Balise de virage	U	466	54 728	25 503 248
609.b	Dépose de balise existante	U	3	11 712	35 135
610	Fourniture et Pose de bornes kilométriques		10	77 183	771 830
	SOUS TOTAL SERIE 600				63 946 248
700	Environnement et travaux connexes				
701	Plantation d'arbres (Alignement et ombrage)	U	3 000	19 414	58 240 500
702	Rampe pour animaux	U	10	432 107	4 321 070
705	Aménagement de carrière de roche	U	1	6 353 268	6 353 268
706	Végétalisation des talus	Ha	12	3 862 500	46 350 000
707	Fixation des dunes	Ha	40	1 732 264	69 290 560
708	Sensibilisation sur le projet et ses impacts environnementaux et sociaux (sécurité routière, pollution, Maladies, etc.)	FFT	1	16 462 809	16 462 809
709	Missions de surveillance et suivi environnemental	FFT	1	17 409 252	17 409 252
	SOUS TOTAL SERIE 700				218 427 459
	TOTAL GENERAL				2 469 831 453
	Imprévus 10%				246 983 145
	Contrôle 7%				172 888 202
	COUT DU PROJET				2 889 702 801