



ETUDE TECHNIQUE DE CONSTRUCTION D'UNE VOIE PAVEE DANS LA VILLE DE TILLABERI (NIGER)

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

Présenté et soutenu publiquement par :

Ali MOUSSA YACOUBA (2017 0816) le 18 janvier 2020

**Encadrant 2iE : M. Arnaud Louis OUEDRAOGO, Assistant d'enseignement de
recherche à 2iE.**

Maître de stage : M. DJIBO MAIDAWA, Ingénieur GENIE CIVIL à Belt-Sarl

Structure d'accueil de stage : BELT – Sarl

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Dr. Angelbert BIAOU

Membres et correcteurs : M. Moussa FAYE

M. Arnaud OUEDRAOGO

M. Issa MADOUGOU

Promotion [2018/2019]

DEDICACES

« Je dédie ce modeste travail à ma famille spécialement à mes parents M. MOUSSA YACOUBA et ma défunte mère Mme BINTA BAKOYE pour leur soutien inconditionnel et les conseils qu'ils m'ont prodigué tout au long de mon parcours académique. Les mots me manquent pour vous exprimer ma reconnaissance et ma profonde gratitude. Puisse ce travail être pour vous un symbole de réjouissance et d'attachement de toute mon affection.

Je dédie également à mes frères et sœurs pour leur soutien inestimable ».

CITATIONS

« Le mal qui est dans le monde vient presque toujours de l'ignorance, et la bonne volonté peut faire autant de dégâts que la méchanceté si elle n'est pas éclairée ».

Albert Camus, la peste (Gallimard, 1947)

« Un grand ingénieur n'est pas esclave de ses formules. C'est un artiste qui utilise ses calculs comme des outils pour créer des formes aussi évidentes et harmonieuses dans leur apparence que les lois naturelles qui les sous-tendent. Il manie ses matériaux avec une vision poétique, révélant ses forces ultimes à travers une structure appropriée à ses pouvoirs uniques ».

Elmar Mock

The Architecture of Bridges, N.Y 1949.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce mémoire, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et notre reconnaissance à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réussite de ce travail. Nous adressons nos sincères remerciements aux personnes qui n'ont ménagé aucun effort en nous apportant toutes les contributions nécessaires pour l'accomplissement de ce document, particulièrement à :

- ❖ M. Mady KONDA, le directeur général transitoire de l'institut 2IE ;
- ❖ M. Arnaud Louis OUEDRAOGO enseignant à 2IE et encadrant de ce mémoire pour sa patience, son encadrement, ses conseils et sa disponibilité ;
- ❖ M. DJIBO MAIDAWA, le DG du bureau d'étude et laboratoire BELT-Sarl pour ses conseils, sa suivie et sa documentation durant tout notre séjour ;
- ❖ M. DAN BABA HAROUNA, le géotechnicien du cabinet pour son appui dans les interprétations et la réalisation des essais in situ ;
- ❖ M. ALI Abdoulaye, le laborantin de BELT-Sarl pour son soutien au laboratoire lors de la réalisation des essais ;
- ❖ Mes sœurs BALKI MOUSSA et HADIZA MOUSSA pour leur compréhension et leur esprit fraternel ;
- ❖ Ma tante RABI YACOUBA pour sa disponibilité et son soutien tout au long de ce stage ;
- ❖ La famille OUMAROU HASSAN pour leur accueil chaleureux ;
- ❖ Tous les personnels du cabinet Belt pour leur sociabilité, le temps qu'ils nous ont consacré, la bonne ambiance qui règne dans le service, ainsi que leur documentation et leur conseil durant tout notre séjour ;
- ❖ Nous remercions aussi l'ensemble du corps enseignant de 2IE, et nos camarades promotionnels pour leur fraternité, la sociabilité et l'entraide dont ils ont fait preuve.

Mes remerciements vont aussi à toutes ces personnes citées plus haut, mais dont la contribution à la réalisation de ce document est non des moindres. Qu'elles trouvent à travers ces mots, l'expression de notre profonde gratitude.

RESUME

Le gouvernement de la 7^{ème} république du Niger en application de son programme de renaissance (acte 2) envisage de faire de ses grandes villes des doctrines reflétant un Niger émergent. C'est dans cette optique que le ministère de l'équipement envisage renforcer son réseau routier en adoptant une stratégie de construction de certaines voies revêtues en pavée dans les villes. C'est dans ce cadre qu'intervient le présent projet intitulé : « ETUDE TECHNIQUE DE CONSTRUCTION D'UNE VOIE PAVEE DANS LA VILLE DE TILLABERI », objet de notre projet de fin d'études.

L'objectif global de ce travail est de concevoir un projet techniquement admissible et financièrement acceptable. Pour ce faire, nous avons effectué des études préliminaires qui nous ont renseigné sur la topographie de la zone et l'étude géotechnique. Ainsi, la classe du sol obtenue est de type S4 et le trafic de classe T2. Ces derniers nous ont permis de procéder au dimensionnement structural de la chaussée et à l'aide du logiciel Piste 5.05 conformément aux exigences de la catégorie de la route (R60) de dresser la géométrie de la route.

A l'aide des données géotechniques et des abaques du CEBTP, nous avons déterminé une structure de chaussée qui par suite fera l'objet de vérification des contraintes et déformations sur Alizé-LCPC. Nous avons retenu une structure de chaussée souple avec un revêtement en pavé de béton, un lit de pose en sable fin 0/5, une couche d'assise constituée de couche de fondation et de sous fondation en graveleux latéritique naturel (GLN).

Les études hydrologiques et hydrauliques nous ont permis de déterminer les débits de projet à évacuer et par suite nous avons obtenu deux dalots de sections géométriques (3x2x1) et (1x2x2).

Enfin, nous avons fait une étude complémentaire comportant la sécurité routière, les mesures environnementales et une estimation du coût global du projet qui s'élève à deux cent quarante-huit million deux cent quatre-vingt-cinq mille sept cent cinquante-quatre (248 285 754) FCFA.

Mots Clés :

- 1 – Etude technique**
- 2 – Voie pavée**
- 3 - Dimensionnement**
- 4 – Géométrie**
- 5 – Tillabéri-Tchandalo**

ABSTRACT

The government of the 7th Republic of Niger in application of its revival program (act 2) plans to make its big cities doctrines reflecting an emerging Niger. It is with this in mind that the Ministry of Public Works plans to strengthen its road network by adopting a strategy of building certain paved roads in cities. It is within this framework that this project entitled: "TECHNICAL STUDY OF CONSTRUCTION OF A PATHWAY IN THE CITY OF TILLABERI", object of our end of study work.

The overall objective of this work is to design a technically admissible and financially acceptable project. To do this, we had carried out preliminary studies which informed us about the topography of the area and the geotechnical study. So the soil class obtained is of type S4 and the traffic of class T2. These allowed us to proceed with the structural design of the roadway and using the Track 5.05 software in accordance with the requirements of the road category (R60) to draw up the geometry of the road.

Using geotechnical data and CEBTP charts, we have determined a pavement structure which will therefore be subject to verification of stresses and deformations on Alizé-LCPC. We selected a flexible pavement structure with a concrete paving covering, a 0/5 fine sand laying bed, a foundation layer consisting of foundation layer and sub-foundation in lateritic gravelly (GLN).

Hydrological and hydraulic studies enabled us to determine the project flow rates to be evacuated and as a result we obtained two scuppers with geometric sections (3x2x1) and (1x2x2).

Finally, we carried out a complementary study comprising road safety, environmental measures and an estimate of the overall cost of the project which amounts to two hundred and forty-eight million two hundred and eighty-five thousand seven hundred and fifty-four (248 285,754) FCFA.

Key words:

- 1 – Technical study**
- 2 – Paved path**
- 3 - Sizing**
- 4 - Geometry**
- 5 – Tillabéri-Tchandallo**

LISTE DES ABRÉVIATIONS

- 2iE** : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement ;
- ARP** : Aménagement des Routes Principales ;
- BAEL** : Béton Armé aux Etats Limites ;
- BELT** : Bureau d'études et Laboratoire Technique des constructions civiles ;
- 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 ;
- CIEH** : Comité interafricain d'études hydrauliques ;
- CPA** : Ciment portlant Artificiel ;
- ELS** : Etat limite de service ;
- ELU** : Etat Limite Ultime ;
- ES** : Equivalent de sable ;
- GLN** : Graveleux latéritique Naturel ;
- IST** : Infection Sexuellement Transmissible ;
- LCPC** : Laboratoire Central des Ponts et chaussées ;
- MPa** : Méga Pascal ;
- NE** : Nombre d'Essieu ;
- OPM** : Optimum Proctor modifié ;
- PK** : Point Kilométrique ;
- PL** : Poids Lourd ;
- SARL** : Société à responsabilité limitée ;
- SETRA** : Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes ;
- TMJA** : Trafic Moyen Journalier Annuel ;
- TN** : Terrain naturel ;
- TDR** : termes de références ;
- TPC** : Terre-Plein Central ;
- UE** : Union Européen ;
- VP** : véhicule particulier ;
- Vr** : Vitesse de référence ;

SOMMAIRE

DEDICACES	i
CITATIONS	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
RESUME	iv
ABSTRACT.....	v
LISTE DES ABREVIATIONS.....	vi
SOMMAIRE.....	vii
I. INTRODUCTION	1
II. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE DU PROJET	2
II.1. Présentation de la structure d'accueil.....	2
II.2. Présentation de la zone de projet.....	3
III. PRESENTATION DU PROJET	6
III.1. Localisation du projet.....	7
III.2. Objectifs de l'étude	7
III.3. Données de base et Hypothèses de calcul	8
III.4. CADRE LOGIQUE	9
IV. CONCEPTION GEOMETRIQUE DE LA CHAUSSEE	9
IV.1. Normes et recommandations utilisées.....	10
IV.2. Choix du type de route.....	10
IV.3. Vitesse de référence (Vr)	10
IV.4. Géométrie éclatée.....	10
IV.5. Sécurité et signalisation routière	12
V. ETUDE GEOTECHNIQUE ET DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE	14
V.1. Etude géotechnique.....	14
V.2. Les éléments constitutifs d'une chaussée en pavé	19
V.3. Dimensionnement des chaussées	21
VI. ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE.....	30
VI.1. Etude hydrologique.....	30
VI.2. Etude hydraulique	40
VII. SECURITE ROUTIERE ET ETUDES D'IMPACTS ENVIRONNEMENTALES.....	46
VII.1. Signalisation et sécurité routière	46
VII.2. Etude d'impacts environnementales	48
VII.3. Devis estimatifs des travaux	53

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : CADRE LOGIQUE DE L'ETUDE	9
TABLEAU 2 : PARAMETRES FONDAMENTAUX DU TRACE EN PLAN SELON ARP	11
TABLEAU 3 : PARAMETRES FONDAMENTAUX DU PROFIL EN LONG EN FONCTION DE LA VITESSE DE REFERENCE.....	11
TABLEAU 4 : RECAPITULATIF DES NORMES APPLICABLES AUX ESSAIS	15
TABLEAU 5 : RECAPITULATIF DES RESULTATS DES ESSAIS DE LA PLATEFORME.....	16
TABLEAU 6 : RECAPITULATIF DES RESULTATS DES ESSAIS DE L'EMPRUNT LATERITIQUE	17
TABLEAU 7 : RECAPITULATIF DES RESULTATS DES ESSAIS D'AGREGATS DE BETON	18
TABLEAU 8 : PROVENANCE DES MATERIAUX.....	19
TABLEAU 9 : ILLUSTRATION LA CLASSE DU TRAFIC EN FONCTION DE PL/JOUR/SENS	21
TABLEAU 10 : TABLEAU ILLUSTRANT LA CLASSE DU TRAFIC EN FONCTION DE PL/JOUR/SENS.....	23
TABLEAU 11 : VALEURS DU COEFFICIENT K (LCPC).....	23
TABLEAU 12 : MODULE DE YOUNG DES COUCHES DE LA CHAUSSEE	24
TABLEAU 13 : CHOIX DE L'EPAISSEUR DU PAVE EN FONCTION DU TRAFIC.....	24
TABLEAU 14 : CHOIX POSSIBLES DE LA STRUCTURE DE CHAUSSEE (T2-S4).....	25
TABLEAU 15 : CLASSE DE PLATEFORME EN FONCTION DU MODULE E	26
TABLEAU 16 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX.....	26
TABLEAU 17 : TABLEAU RECAPITULATIF DES CONTRAINTES ADMISSIBLES	27
TABLEAU 18 : RECAPITULATIF DE LA VERIFICATION DES CONTRAINTES.....	28
TABLEAU 19 : RECAPITULATIF DES EPAISSEURS DE LA CHAUSSEE	28
TABLEAU 20 : PARAMETRES DES BASSINS VERSANT	31
TABLEAU 21 : INTERVALLES DE CONFIANCE.....	34
TABLEAU 22 : COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT.....	35
TABLEAU 23 : RESULTAT DES DEBITS CALCULES AVEC LA METHODE RATIONNELLE	36
TABLEAU 24 : VALEUR DE PM10.....	36
TABLEAU 25 : VALEURS DES COEFFICIENTS KR10, KR70, KR100.....	37
TABLEAU 26 : DETERMINATION DES DEBITS AVEC LA METHODE RATIONNELLE	38
TABLEAU 27 : DEBIT DECENNAL DU BV1 AVEC LA METHODE CIEH.....	38
TABLEAU 28 : DEBIT DECENNAL DU BV2 AVEC LA METHODE CIEH.....	39
TABLEAU 29 : TABLEAU RECAPITULATIF DES DEBITS CENTENNAUX DES BV	39
TABLEAU 30 : DONNEE DE BASE DES BV	41
TABLEAU 31 : LOCALISATION ET CHOIX DU TYPE D'OUVRAGE.....	41
TABLEAU 32 : SECTIONS GEOMETRIQUES DES DALOTS.....	43
TABLEAU 33 : RECAPITULATIF DES RESULTATS DU FERRAILLAGE DU DALOT1	45
TABLEAU 34 : CADRE JURIDIQUE NATIONAL	49
TABLEAU 35 : MESURES D'ATTENUATIONS	51
TABLEAU 36 : DEVIS ESTIMATIF DES TRAVAUX	53

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : ORGANIGRAMME DE BELT	3
FIGURE 2 : PRESENTATION DE LA ZONE DU PROJET	3
FIGURE 3 : LOCALISATION DU PROJET	7
FIGURE 4 : DESSIN TYPE D'UNE CHAUSSEE REVETUE DE PAVES	21
FIGURE 5 : CONTRAINTE ADMISSIBLE POUR LES COUCHES DE BASE, DE FONDATION ET PLATEFORME.....	27
FIGURE 6 : CONTRAINTES EFFECTIVES NON-VERIFIEES VIS-A-VIS DES CONDITIONS ADMISSIBLES	27
FIGURE 7 : CONTRAINTES EFFECTIVES VERIFIEES VIS-A-VIS DES CONDITIONS ADMISSIBLES	28
FIGURE 8 : ILLUSTRATION DES DIFFERENTES EPAISSEURS DU CORPS DE CHAUSSEE	29
FIGURE 9 : ILLUSTRATION DES BASSINS VERSANTS.....	30
FIGURE 10 : COURBE HYSOMETRIQUE BV1.....	32
FIGURE 11 : COURBE HYSOMETRIQUE DE BV2	32

I. INTRODUCTION

Depuis la nuit de temps, l'homme cherche à se développer et à rendre ses conditions de vie meilleures. Ainsi, ce développement ne saurait voir le jour qu'en passant par la construction et la réhabilitation des voies de communications terrestre qui constitue le facteur clef pour un développement économique et social.

Vaste pays du sahel, le Niger est pénalisé par son enclavement dont le plus proche port maritime est celui du Bénin situé à environ 1000 km de la capitale (Niamey) et dont la majorité de sa population vit en milieu rural. C'est pourquoi l'augmentation des capacités de son réseau routier s'avère une nécessité vis-à-vis de sa population grandissante. En effet, une voie de communication terrestre encore appelé route est un moyen de transport permettant le déplacement des hommes, des animaux et surtout des marchandises. Cette infrastructure d'une grande importance est en pleine croissance de nos jours. Notons, qu'au cours de ces deux dernières décennies, l'UE à octroyer 210 milliards de Fcfa pour réhabiliter le tiers du réseau national soit plus de 1 400 km de routes bitumées et plus de 700 km de routes rurales.

C'est dans ce même cadre et conformément aux prescriptions des fêtes tournantes de 18 décembre se tenant chaque année dans l'une des grandes villes pour commémorer la proclamation de la république du Niger. Cette année, il sera question de la ville de Tillabéri. Ainsi, le gouvernement de la 7^{ème} république a envisagé de paver certaines rues dont entre autres celle reliant le mur du complexe Alhérie-DRH au centre hospitalier MERE et ENFANT en vue de rendre la ville plus représentative. Ce présent projet fera l'objet de notre étude avec pour thème principal : « **ETUDE TECHNIQUE DE CONSTRUCTION D'UNE VOIE PAVEE DANS LA VILLE DE TILLABERI** »

Il sera question de rendre praticables la voie dans un premier temps et surtout d'évacuer les eaux de ruissellement en période pluvieuse dans un second temps.

Ce présent document sera organisé en cinq grandes parties définies comme suit :

- ✚ Présentation de la structure d'accueil, de la zone du projet, du projet et du cadre logique
- ✚ Conception Géométrique de la chaussée
- ✚ Etude Géotechnique et dimensionnement de la chaussée
- ✚ Etude hydrologique et hydraulique
- ✚ Etude d'impacts environnementales et devis quantitatif et estimatif des travaux.

II. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE DU PROJET

Cette partie va nous renseigner sur la localisation du site, les sols, la composition physique de la végétation, la pluviométrie et les moyens humains.

II.1. Présentation de la structure d'accueil

BELT SARL est un cabinet de droit Nigérien agréé dans le domaine d'étude civil dans la sous-région. Créé en 2010 BELT-SARL, est d'abord un laboratoire d'étude géotechnique et de recherche, mais aussi un bureau d'étude technique et de contrôle des travaux.

II.1.1. Situation géographique

Situé au cœur de la capitale Niamey sur le sol nigérien, Le bureau d'étude et laboratoire technique des constructions civiles BELT-SARL, se trouve dans la commune I sis au quartier recasement sur la troisième latérite.

II.1.2. Domaine de compétence

Au cabinet BELT-SARL, le travail avec le savoir-faire, la qualité, le respect du délai et le Prix compétitif résume notre devise. Belt Sarl est aujourd'hui présent dans presque tout le pays comme on dit le « le bon service se vend lui-même » et est spécialisé en :

- Etude et contrôle des travaux (Bâtiments, routes et ouvrages d'Art)
- Etude Géotechnique
- Formulation du Béton
- Etude géophysique
- Reconnaissance du terrain
- Bathymétrie, Ouvrages de mobilisation des eaux
- Expertise, Localisation des matériels de laboratoire
- Ouvrages spéciaux.

II.1.3. Organigramme de la structure

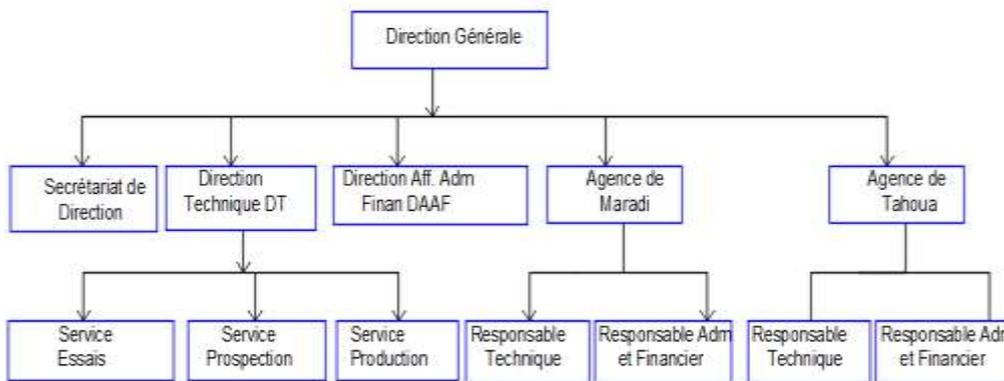


Figure 1 : Organigramme de Belt

II.2. PRESENTATION DE LA ZONE DE PROJET

II.2.1. Situation géographique

La région de Tillabéri est située dans l'extrême Ouest de la République du Niger entre 11°50 et 15°45 latitudes Nord et 0°10 et 4°20 longitude Est. Elle est limitée : à l'Ouest et au Nord-Est par la république du Mali ; au Nord-Est par la Région de Tahoua, à l'Est par Région de Dosso, au sud et sud-ouest par la République du Burkina Faso.

Superficie : 97 251 km²

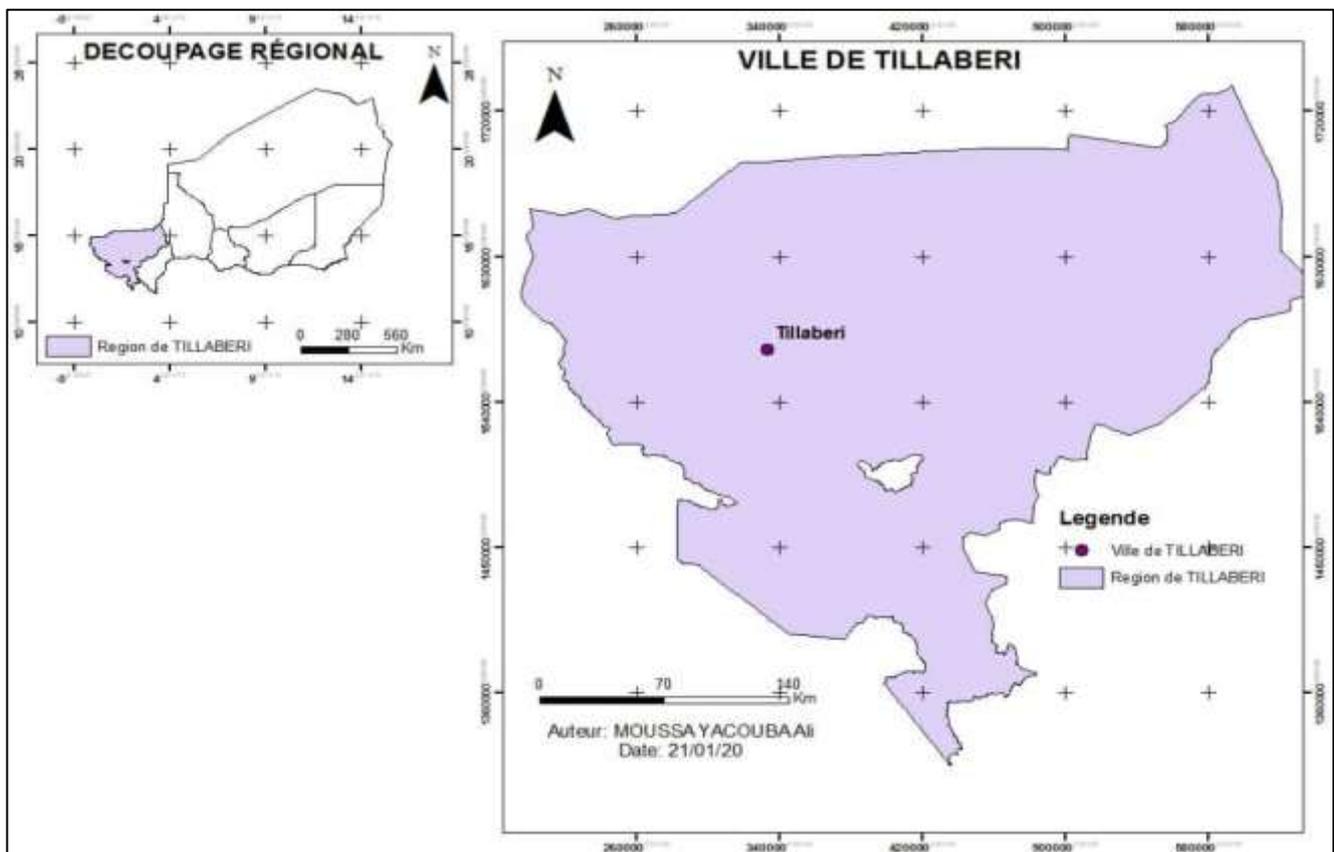


Figure 2 : présentation de la zone du projet

II.2.2. Milieu Biophysique

a) Le 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'harmatan (vent chaud et sec) et la mousson (vent chargé d'humidité et annonciateur des pluies).

Le climat de la région de Tillabéri est caractérisé par l'alternance de deux saisons bien définies au cours de l'année à savoir :

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

b) Le Relief

La région de Tillabéri du point de vue morphologique est presque une pénéplaine. A part quelques rares massifs cristallins et les buttes témoins du continental terminal (CT3), le relief est plus marqué par la vallée du fleuve, ses affluents et quelques vallées fossiles (Dallol).

Le relief de la zone 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.

c) Principaux types de Sols

Du nord au sud, les sols de la région de Tillabéri sont de texture sableuse, pauvres en matière organique et à faible capacité de rétention et d'échange en cations; Ils sont ferrugineux tropicaux, peu profonds et très sensibles à l'érosion hydrique et éolienne argileux limoneux, riches en matières organiques avec un fort pouvoir de cations échangeables.

d) Les ressources en Eau

La région de Tillabéri regorge d'importants plans d'eau dont : Le fleuve Niger (long de 450 km dans la région) et ses 7 affluents (Gorouol, Dargol, Sirba, Gouroubi, Diamangou, Tapoa et Mékrou) ; des mares (145 dont 51 permanentes et le Dallol Bosso) ; des retenues artificielles au nombre de 21. Le potentiel des eaux souterraines de la région de Tillabéri est estimé à plusieurs dizaines de milliards de mètre cubes.

e) 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 éventuellement 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 néanmoins la présence des reptiles et quelques petits rongeurs tels que l'écureuil.

f) [Ressources végétales, Forestières et Halieutiques](#)

La végétation se caractérise par une prédominance de brousses tigrées à combrétacées et une savane arborée constituant une relique des formations forestières denses sèches soudaniennes. La zone intermédiaire et la zone agricole renferment l'essentiel des ressources forestières, fauniques et halieutiques avec plus de 1/3 des ressources naturelles nationales. Le Parc national du W, unique parc du pays situé dans la Tapoa (Say) ; il renferme l'essentiel de la diversité biologique animale et végétale du pays. L'avifaune est composée de plus de 300 espèces. En dehors du fleuve Niger qui traverse la région sur une distance de 450 km, on dénombre 145 mares dans la région de Tillabéri ; ces eaux présentent de fortes capacités de production de poissons ; 32 de ces mares ont fait l'objet d'aménagement piscicole (empoissonnement, formation des pêcheurs, collecte des statistiques de capture) ; le nombre d'espèces peuplant ces plans d'eau varie de 1 à 17.

II.2.3. Milieu humain

[a\) Population et Démographie](#)

La population de la Région est estimée en 2012 à 2 722 482 habitants, soit 15,9% de la population nigérienne (source : Institut National de la Statistique 2012). Elle est composée de plusieurs groupes ethnolinguistiques (Zarma-Sonrai, Peulh, Touareg, Haoussa, Gourmantché, Arabe).

Le taux d'accroissement est de 3,2%. La densité est de 20,7 habitants/km² à l'échelle régionale.

[b\) 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, camelins, 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 dans les

villages environnants. 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.

Des 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.

III. PRESENTATION DU PROJET

La république du Niger est un vaste territoire pénalisé par l'enclavement et l'aridité de son climat tropical de type soudanien (la zone saharienne représente 2/3 de la superficie du pays). Il se caractérise par deux (2) principales saisons : une très longue saison sèche qui dure environ huit (8) mois d'Octobre à Mai, et une courte saison des pluies qui dure quatre à cinq mois d'Avril (ou Mai) à Septembre.

De plus le réseau routier nigérien est essentiellement constitué des routes non revêtues ce qui entraîne un déficit majeur de visibilité lors de la circulation pendant la saison sèche et pire encore pendant la saison pluvieuse. Pendant cette dernière, certaines routes sont même impraticables à cause des eaux qui stagnent sur le corps de la chaussée. Pour remédier à ce fléau, le gouvernement de la 7^{ème} république en application de son programme de renaissance (acte 2) à penser aussi bien à la construction qu'à l'aménagement des infrastructures routières des régions bénéficiaires de l'organisation des fêtes commémoratives de la proclamation de la république. Ces fêtes se tiennent chaque 18 décembre. Cette année la région de Tillabéri sera honorée avec comme dénomination « TILLABERI TCHANDALO » (Tillabéri-propre).

En effet, Le programme d'aménagement des rues pavées élaboré dans le cadre de Tillabéri Tchandalo entre dans le cadre du programme de la renaissance visant à l'amélioration et à la modernisation du niveau de services des équipements des villes.

Au total 3 203,72 ml de rues à aménager ont été identifiées dont 903,32 ml entrent dans le budget prévisionnel.

Le ministère du domaine, de l'urbanisme et de logement a sollicité le bureau d'études Belt sarl pour assurer la maîtrise d'œuvre du projet.

C'est ainsi que notre thème d'étude trouve son essor dans le cadre des activités du 18 décembre 2019.

Les objectifs visés par ces travaux sont notamment l'amélioration des conditions de vies des usagers, rendre praticable le tronçon et assurer le développement socio-économique de la ville en continue à travers la rentabilisation de leurs potentialités industrielles et agricoles.

Pour ce faire, cette étude nous a été soumise par BELT-Sarl, pour nous permettre en tant que stagiaire

de mettre en pratiques nos connaissances théoriques acquises au sein de l'Institut International de l'Eau et de l'Environnement (2iE) dans un projet réel.

III.1. Localisation du projet



Figure 3 : Localisation du projet

Le présent projet est localisé vers l'Est à environ trois (3) km à l'entrée de la ville de Tillabéri. C'est un tronçon qui relie l'école ALHERI en passant par la direction régionale de la santé publique jusqu'au centre hospitalier MERE ET ENFANT et prend fin vers le camp de la garde nationale du Niger (GNN). La présente voie à paver est d'une longueur totale de 903,32 ml et comporte deux ouvrages d'hydrauliques favorables aux drainages et à l'évacuation des eaux.

III.2. Objectifs de l'étude

L'objectif global de cette étude est de réaliser une étude technique complète d'exécution des travaux de construction de la présente voie à paver.

De façon spécifique, il s'agira de mener à bien les tâches suivantes :

- ✓ Etude technique de la route
- ✓ Etude géométrique (Tracé en plan, Profil en long et Profils en travers)
- ✓ Etude géotechnique
- ✓ Etude structurale (chaussée, ouvrages d'assainissement)

- ✓ Etude hydrologique et hydraulique
- ✓ Evaluation des impacts environnementaux et proposition des mesures d'atténuation
- ✓ Estimation du coût global du projet.

III.3. Données de base et Hypothèses de calcul

Les données à utiliser pour les différentes études sont les suivantes :

- Catégorie de la route : R60
- Nombre de voies : 2
- Largeur d'une voie : 3.25m
- Largeur d'une piste cyclable : 1.00m
- Trafic : de type T2
- Durée de vie de la route : 15 ans
- Période de retour pour les ouvrages hydrauliques : 100 ans
- Portance du sol support : S4

III.4. CADRE LOGIQUE

La démarche méthodologique adoptée dans cette étude est planifiée dans le tableau ci-dessous. Ce dernier, présente de façon succincte les différents objectifs à atteindre, les activités à mener pour atteindre ces objectifs et enfin, les résultats souhaités. Le tableau 1 nous renseigne sur l'organisation de cette étude.

Tableau 1 : Cadre logique de l'étude

Objectif global : ETUDE TECHNIQUE DE CONSTRUCTION DE LA VOIE PAVEE A TILLABERI		
Objectifs spécifiques	Activités	Résultats souhaités
GENERALITES	Visite sur le terrain et collecte des données auprès des services spécialisés	Cheminement fiable décrivant la zone d'étude et du projet
ETUDE TECHNIQUE	Détermination des paramètres géométriques de la chaussée	Profil en long, profil en travers, tracé en plan
	Analyse des emprunts avec des essais au laboratoire et Etude du trafic, dimensionnement et vérification	Classe du trafic, classe de portance des emprunts, épaisseur du renforcement
	Contrôle des données pluviométriques, détermination des débits à évacuer, dimensionnement hydraulique des ouvrages	Section des ouvrages, section d'aciers des ouvrages
	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
ETUDE FINANCIERE	Détermination des quantités à mettre en place	Coût global prévisionnel des travaux

IV. CONCEPTION GEOMETRIQUE DE LA CHAUSSEE

Cette partie consiste à concevoir un tracé en plan, des profils en travers types et un profil en long (ligne rouge) ayant des caractéristiques qui répondent aux conditions de sécurité et de confort (aspect technique) tout en tenant compte des contraintes de terrain et des critères économiques.

Les règles de conception du tracé en plan et de profil en long visent d'une part à assurer des conditions de confort relativement homogènes le long d'un axe routier, et adaptées à chaque catégorie de route, en fixant notamment des caractéristiques minimales. Elles visent d'autres parts à garantir des bonnes conditions de sécurité, au moyen notamment de principes d'enchaînement des différents éléments du tracé et de principes relatifs à la visibilité. La coordination du tracé en plan, du profil en long est nécessaire, en particulier pour le respect des conditions de visibilités et de perception.

IV.1. Normes et recommandations utilisées

Les normes françaises utilisables dans la république du NIGER sont entre autres :

- ❖ 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 Route 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.
- ❖ Les recommandations de l'UEMOA

Dans notre cas nous utiliserons l'aménagement des routes principales (ARP) et certaines recommandations de l'UEAMO.

IV.2. Choix du type de route

Conformément à la classification des routes, l'ARP subdivise les routes en trois principales catégories :

- ✚ **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.

Nous optons pour cela pour une route de type R.

IV.3. Vitesse de référence (V_r)

La vitesse de référence est la vitesse à laquelle le véhicule circule en toute sécurité même dans les points de la route les moins aménagés ou les plus difficiles.

Etant donné que nous sommes en milieu urbain, nous choisissons une vitesse de référence de 60 km/h. Alors notre route sera du type R60.

IV.4. Géométrie éclatée

Cette partie vise à définir trois principaux facteurs :

- ✚ **Le tracé en plan** : correspond à une vue aérienne de la route, projection de la route sur un plan horizontal
- ✚ **Le profil en long** : représentation des éléments en altitude, 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).

a) Le tracé en plan

Le tracé en plan est une pièce topographique qui résulte théoriquement de la projection à une échelle réduite de la route sur un plan horizontal. Il présente une succession d'alignements droits raccordés par des arcs de courbes.

Le tracé en plan contient en dehors de la plateforme, les fossés, les talus, les constructions rapprochées et tout autre détail de la route. Le tableau 2 propose des rayons à considérer pour une route de type R60.

Tableau 2 : Paramètres fondamentaux du tracé en plan selon ARP

Désignation	Les différents rayons	R60
Tracé en Plan	Rayon minimal RHm (m)	120
	Rayon au devers minimal RH (m)	450
	Rayon non déversé RH' (m)	600
	Devers maximal	7

b) Le profil en long

Le profil en long d'une route est une courbe continue constituée par l'ensemble des points de l'axe central de la chaussée. Il est en général défini, repéré par deux éléments :

- ❖ Les côtes TN constituant la « ligne noire » ;
- ❖ Et les côtes projet qui constituent la « ligne rouge ».

Le profil en long présente une succession de droites dont on connaît les rampes et les pentes, raccordées par des arcs de cercles.

Tableau 3 : Paramètres fondamentaux du profil en long en fonction de la vitesse de référence

Désignation	Catégorie	R60
Profil en long	Rayon minimal en angle saillant (m)	1500
	Rayon minimale en angle rentrant (m)	1500
	Devers maximal	7

c) Profil en travers

Le profil en travers est une configuration de la route sur un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la route. C'est une coupe transversale de la route comportant les différentes couches de la structure de chaussée et le terrain naturel. Le profil en travers a pour but de déterminer le volume de terrassement et fait ressortir les caractéristiques de la chaussée et des accotements.

➤ **La largeur des voies**

De façon générale, il n'existe pas de largeur réglementaire pour la conception d'une route. De ce fait, nous allons fixer cette largeur en tenant compte du type de véhicule qui circulent sur la voie, et aussi de la vitesse de référence choisie.

Le code de la route a fixé les dimensions maximales des véhicules à 2,6m hors rétroviseur : ces derniers peuvent faire une saisie de 20 cm au-dessus de 1,9 m.

De plus les marges de sécurité latérales recommandées par l'UEMOA sont de l'ordres de 3,00 à 3,50 m.

Pour ce faire, nous optons pour une voie de 3,25m (avec un béton de drainage de 0,50m) conformément aux prescriptions de l'UEMOA.

➤ **Nombre de voies**

Pour permettre le croisement et dépassement en tout point dans les meilleures conditions de confort et de sécurité notre chaussée sera de deux (2) voies.

➤ **Trottoir**

Il comprend une bande dérasée constituée d'une surlargeur de chaussée supportant le marquage de rive (bordure) et d'une bande stabilisée. On prendra une valeur de $2 \times 1.00 \text{ m}$.

➤ **Chaussée**

C'est la surface de la route aménagée pour la circulation des véhicules. Au sens structural, c'est le corps de la chaussée qui supporte le passage répété des véhicules. Nous avons une pente transversale en toit de 2.5%.

➤ **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 9 m.

➤ **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.

IV.5. Sécurité et signalisation routière

L'un des objectifs majeurs dans la conception d'une route est d'assurer la sécurité de ses usagers. En effet, ceci n'est pas seulement effectif à travers une très bonne conception routière mais aussi par la présence d'une signalisation routière de qualité.

➤ **Sécurité**

La prévention ou sécurité routière est l'ensemble des mesures utilisées pour empêcher aux usagers de la route d'être exposés aux dangers et risques éventuels dans la circulation afin d'atténuer leurs conséquences. Assurer la sécurité sur une route requière des exigences sur plusieurs points à savoir :

- La visibilité
- La lisibilité
- L'adéquation aux contraintes dynamiques des véhicules
- La limitation de la gravité des chocs.

De plus, l'aménagement d'une voie doit viser à limiter le risque d'accident, dans la plus grande mesure possible, il convient d'un autre côté de limiter également l'importance de flux (trafic, piéton, exposé aux risques élevés) ; cela nous a conduit à formuler une des meilleures exigences :

- Des bordures pour la chaussée
- Des gardes corps pour l'ouvrage de franchissement
- Des candélabres le long du corps de la chaussée

➤ **Signalisation routière**

La signalisation routière désigne l'ensemble des signes conventionnels implantés sur le domaine routier et destinés à assurer la sécurité des usagers de la route soit en les informant des dangers et des prescriptions relatives à la circulation ainsi que les éléments utiles à la prise de décision soit en leur indiquant les repères et équipements utiles à leur déplacement.

Compte tenu de l'importance du développement du trafic et l'augmentation de la vitesse des véhicules, la circulation devra être guidée et disciplinée par des signaux simples susceptibles d'être compris par tous les intéressés. La signalisation routière comprend la signalisation verticale et la signalisation horizontale. La signalisation routière a pour objet :

- D'assurer la sécurité de la circulation routière ;
- De faciliter cette circulation ;
- De donner des informations relatives à l'utilisateur de la route.

Il est nécessaire de concevoir une bonne signalisation en respectant les règles suivantes :

- Cohérence entre la géométrie de la route et la signalisation (homogénéité) ;
- Cohérence avec les règles de circulation ;
- Cohérence entre la signalisation verticale et horizontale ;
- Eviter la publicité irrégulière ;
- Simplifier autant que possibles les signaux facilitant la compréhension de l'utilisateur.

V. ETUDE GEOTECHNIQUE ET DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE

La présente partie portera sur le volet géotechnique et dimensionnement de la chaussée entrant dans les études techniques de pavage de la rue dans la ville de Tillabéri.

Elle a pour objectif de dresser un rapport sur la recherche des matériaux de carrière, les essais d'identification des matériaux des carrières, des emprunts et de sols des plateformes de la rue projetée et par suite procéder au dimensionnement structurel de la chaussée.

Une chaussée revêtue en pavés de béton dispose d'un revêtement discontinu constitué de pavé de béton séparés par des joints, généralement remplis de sable servant de liaison entre les pavés. Pour que le transfert de charges d'un pavé à l'autre et vers les couches inférieures de la structure soit optimal, il faut que les différents composants de la chaussée soient choisis adéquatement et que la mise en place soit correctement réalisée.

Rappelons par-là que la dégradation la plus fréquente sur ces types de structures est l'orniérage. Pour ce faire, il est important de déterminer comment cette dégradation majeure détruit ces chaussées pour prendre par suite des dispositions par rapport des éléments constitutifs de cette chaussée.

V.1. ETUDE GEOTECHNIQUE

Cette partie est le volet géotechnique de la réalisation des études techniques de pavage de la rue.

L'étude s'est portée sur les aspects suivants :

- La reconnaissance des sols des tracés devant constituer la plate-forme ;
- La prospection des gisements en matériaux d'emprunts pour les terrassements et le corps de chaussée ainsi que le prélèvement d'échantillons pour les essais correspondants ;
- Les prospections des matériaux pour le béton de pavé et les essais correspondants.

Conformément aux TDR les prestations se résument comme suit :

- Recherche de carrières et prélèvement d'échantillons,
- Les essais d'identification sur les matériaux de chaussée :
 - Analyse granulométrique
 - Limites d'Atterberg
 - Les essais de portance (Proctor modifié, CBR)
- Sondages à l'axe et prélèvement d'échantillons
- Les essais d'identification sur les matériaux de la plateforme :
 - Analyse granulométrique
 - Limites d'Atterberg
 - Les essais de propreté
 - Les essais de portance (Proctor modifié, CBR)

Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)

- La recherche des matériaux pour le béton

La carrière des matériaux devant et pouvant constituer la couche de base a été prospectée de façon à avoir une distance de transport raisonnable et les échantillons sont constitués par mélange des prélèvements sur tous les puits de façon à obtenir un échantillon représentatif de la carrière d'environ 50Kg.

En général, la carrière identifiée et présentée au dossier géotechnique est de bonne qualité (voir annexe 6). Le volume disponible de l'emprunt couvre largement les besoins en matériaux.

Pour réaliser les essais, nous nous sommes basés sur les normes françaises applicables dans la république du Niger qui sont :

Tableau 4 : récapitulatif des normes applicables aux essais

N°	ESSAIS	NORME APPLIQUEE AU NIGER
1	Analyse granulométrique	ISO 3310 – 1
2	Limites d'Atterberg	NF P 94 – 051
3	Essais Proctor normal et modifié	NF P 94 – 093
4	CBR	NF P 94 - 094
5	Equivalent de sable :	NF EN 833-8
6	Los Angeles	EN 12697-43
7	Micro Deval	EN 1097-1, NF P18-576
8	Ecrasement de béton	NF P 15-411/412, ASTM C39
9	Essais non destructifs par scléromètre	ISO/DIS 8045

Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)

RECAPITULATIF DES RESULTATS DES ESSAIS DES PLATEFORMES

Tableau 5 : récapitulatif des résultats des essais de la plateforme

TRONCONS	PK DEBUT	PK FIN	Nature	PROCTOR MODIFIE (NFP 94-093)		PORTANCE CBR (NFP 94 - 078)		ES (%)	ANALYSE GRANULOMETRIQUE (MODE OPERATOIRE G2 -DUNO PARIS)					CLASSE DE PORTANCE
				Densité à l'OPM	Teneur en eau	CBR à 95%	CBR à 90%		< 80µm	<2mm	<5 mm	<10mm	<20mm	
AXE "MUR ALHERI-DRH/A-CENTRE MERE ET ENFANT"	0+000	0+400	SABLE FIN PEU COHESIF	1,86	8,40	18	15	26,7	11,63	100	100	100	100	S4
	0+600	0+900	SABLE FIN ROUGEATRE	1,85	10,10	27	18	22,4	12,25	100	100	100	100	S4

OBSERVATIONS : La classe S4 sera utilisée pour le dimensionnement de la chaussée de l'axe AXE "MUR ALHERI-DRH/A-CENTRE MERE ET ENFANT".

Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)

RECAPITULATIF DES RESULTATS DES ESSAIS DE L'EMPRUNT LATERITIQUE

Tableau 6 : récapitulatif des résultats des essais de l'emprunt latéritique

Provenance	NATURE	PROCTOR MODIFIE (NFP 94-093)		PORTANCE CBR (NFP 94 - 078)		LIMITES D'ATTERBERG (NFP 94 - 051)		ANALYSE GRANULOMETRIQUE (MODE OPERATOIRE G2 -DUNO PARIS)					CLASSE HRB
		Densité à l'OPM	Teneur en eau	CBR à 98%	CBR à 95%	WL	IP	< 80µm	< 2 mm	< 5 mm	< 10 mm	< 20 mm	
TILLABERI	LATERITE	2,32	5,90	120	80	11,05	9,35	13,91	25,34	48,35	81,80	95,90	A.2.6

OBSERVATIONS : Les résultats sont conformes aux spécifications techniques

Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)

RECAPITULATIF DES RESULTATS DES ESSAIS AGREGATS DE BETON

Tableau 7 : récapitulatif des résultats des essais d'agrégats de béton

NATURE	PROVENANCE	MOD FINESSE	ES	LA	ANALYSE GRANULOMETRIQUE (MODE OPERATOIRE G2 -DUNO PARIS)												
					<0,080mm	0,2	0,315	0,63	1,25	< 2 mm	< 2,5 mm	< 5 mm	< 10 mm	< 16 mm	< 20 mm	25mm	< 31,5 mm
Sable	DAIKAINA	2,22	78,18	----	0,11	0,89	44,52	69,02	80,87	83,67	89,04	94,07	100,00	100,00	100,00	100,00	100
Gravier Roulé	KOUTIKALE	---	---	33,74	0,18	0,18	0,18	0,18	80,87	0,18	0,18	0,31	8,13	25,61	46,37	76,92	100

OBSERVATIONS : Les résultats sont conformes aux spécifications techniques

Globalement les sols de plateforme sont de bonne portance de classe S4.

Les matériaux de la carrière latéritique sont conformes aux spécifications techniques de couche de fondation et de base. La distance des transports est très acceptable. L'emprunt est à l'entrée de la ville de Tillabéri.

Les emprunts des agrégats de béton sont de très bonnes qualités et situés à Daikaina (sable) et Koutikallé (graviers) : le sable à béton a un ES de 78,18 pour un module de finesse 2,22 tandis que le gravier a un LA de 33,74.

Les positions des différents emprunts sont :

Tableau 8 : provenance des matériaux

Emprunt	Localités	Coordonnées géographiques
Latérite	50m après le poste de Police en tournant à droite) à environ 2km vers l'Est.	N= 14.23571° E =001.45905°
Sable	Koris de Daikaina (7,50 km)	N= 14.18076° E =001.48911°
Graviers	Koutikallé (9,00 km)	N= 14.70479° E =001.78232°

Ces essais seront récapitulés en annexes 5 à travers leurs fiches.

V.2. Les éléments constitutifs d'une chaussée en pavé

V.2.1. Les pavés de béton

Les pavés avec leurs liaisons en sable constituent la couche de revêtement pour ce type de chaussée. Ils reçoivent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat.

Ils sont caractérisés par leurs hauteurs (épaisseur), leurs sections et leurs formes, et leurs résistances en compressions.

✚ La hauteur des pavés

La hauteur des pavés joue un rôle important dans le transfert de charge et donc dans le développement de l'orniérage (déformation permanente du profil en travers sur d'assez grande longueur) qui a pour cause une humidité importante dans les couches inférieures de la chaussée provoquant ainsi le poinçonnement du sol lors du passage des roues des véhicules. Des études expérimentales de Ishioroshi et coll. (1996) ont montré que plus la hauteur des pavés est faible et plus l'orniérage de revêtement augmente. Ce phénomène est d'autant plus marqué avec les pavés de 60mm de hauteur.

✚ Sections et formes des pavés

Il s'agit ici de la surface en contact entre les pavés et le lit de pose. Vu le nombre de joints est moins important pour des grandes surfaces, les pavés sont moins susceptibles de subir des rotations ou de

translations. Le fait que les pavés sont autobloquants ou qu'ils ont une forme complexe, ainsi une grande surface de contact, implique une diminution de déflexion.

✚ La résistance des pavés

Les études expérimentales de Kasahara et Matsuno (1988) ont montré que dans les zones de températures élevées la déflexion mesurée pour une chaussée revêtue de pavés de béton peut être jusqu'à 50% inférieure à celle relevée pour une structure revêtue d'enrobé bitumineux.

En effet, comparativement aux enrobés bitumineux, le module des pavés ne décroît pas de manière significative lorsque la température augmente. Alors que la résistance en compression de béton de pavés n'a aucune influence directe sur le comportement de la chaussée.

V.2.2. Les joints de pavés

Les joints ont un rôle prépondérant dans la bonne tenue des revêtements de pavés car ils permettent le transfert des charges d'un pavé à l'autre. Ces joints seront exécutés en sable. Concernant leur granulométrie, pour obtenir une bonne performance de la chaussée un joint large nécessite un sable grossier alors qu'un joint fin nécessite un sable fin. La taille optimale des joints à utiliser dépend de la qualité du sable à utiliser. La diminution de la taille des joints permet un meilleur transfert et donc un meilleur comportement du revêtement.

Globalement, la largeur des joints doit être comprise entre 2 et 4 cm. Sous l'effet des intempéries et du passage répété des roues qui créent des déplacements et rotations des pavés, le sable des joints se retrouve expulsé.

V.2.3. Les bordures

Les bordures doivent être correctement installées afin de prévenir les déplacements latéraux des pavés et ainsi éviter au sable des joints et du lit de pose d'être évacué, ce qui provoquerait une perte structurale au niveau du revêtement. L'absence des bordures augmente considérablement la valeur de la déflexion, du fait que les pavés ne sont pas retenus et peuvent tourner ou même bouger.

V.2.4. Le lit de pose

Le lit de pose joue un rôle important quant à la tenue de revêtement et au comportement de ce type de chaussée. L'épaisseur du lit de pose détermine le type de sollicitations auxquelles elle sera confrontée. Plus cette épaisseur est faible, plus les pavés risquent de subir du poinçonnement sous l'effet de charge alors qu'une épaisseur trop élevée risque d'engendrer un tassement différentiel.

De ce fait il faudra choisir un matériau adéquat (perméable et de bonne qualité) et une épaisseur convenable pour maintenir la structure dans des bonnes conditions.

V.2.5. Les assises

La distribution des contraintes sous l'effet de la charge est différente selon le type de fondation

considérée. De manière générale, la déflexion mesurée dans le cas de fondations granulaire est importante que dans le cas d'une fondation stabilisée pour un même chargement. De ce fait, dans le cas de trafics importants l'utilisation de fondations stabilisées est recommandée. Pour notre cas, nous optons pour une assise non stabilisée du fait de la présence du faible trafic du type T2.

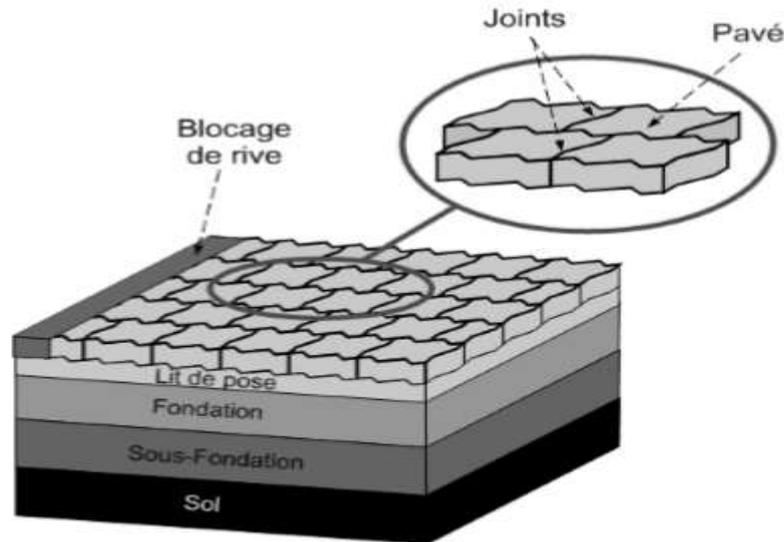


Figure 4 : Dessin type d'une chaussée revêtue de pavés

V.3. Dimensionnement des chaussées

Un dimensionnement adéquat de la chaussée revêtue de pavés de béton est un facteur important pour la bonne tenue de la chaussée sous l'effet du climat et du trafic.

Dans un premier temps, notons que le comportement d'une chaussée revêtue en pavé de béton s'apparente à celui des chaussées souples, ce qui implique que les méthodes de dimensionnement recensées s'appuient sur celles traditionnellement utilisées.

Nous allons nous référer aussi au guide de conception des ouvrages réalisés à partir des pavés, dalles, bordures et caniveaux préfabriqués en béton (voirie et aménagements public) et aux méthodes de CEBTP.

V.3.1. Estimation du trafic

Le trafic conditionne la plupart des choix concernant les produits modulaires de voirie. Comme il n'y a pas eu une étude minutieuse du trafic, le présent TDR ci-dessus nous suggère de prendre comme référence le type du trafic T2.

Néanmoins, nous nous sommes référés aux résultats de campagne de recensement général de 2012 par la direction des transports illustrés dans le tableau 9 ci-dessous pour apprécier d'avantage le trafic :

Tableau 9 : illustration la classe du trafic en fonction de PL/Jour/sens

Localisation	VP	Camionnette	Camion	Citerne	Car	Ens ART	TMJA
DRH Tillabéri	13	7	11	8	9	3	51

Afin d'optimiser l'estimation du trafic, le TMJA de cinquante un (51) a été considéré comme trafic moyen journalier poids lourds.

Pour la suite du calcul de trafic, nous formulons certaines hypothèses en complément de celles déjà élaborées dans le TDR.

- Essieu de référence de 13 tonnes (essieu simple) ;
- Durée de vie (n) de 15 ans ;
- Trafic poids lourds / jour / sens = 51 PL ;
- Coefficients de répartition transversale et de balayage transversal : 1 ;
- Taux géométrique de croissance annuelle du trafic : 5.0 %
- Année de mise en service : 2019
- Coefficient d'Agressivité Moyen CAM : 1.00

a) **Détermination du trafic de l'année de mise en service**

Les résultats de comptage disponibles étant de 2012, il faut déterminer le trafic à l'année 2019 qui est l'année de mise en service. Le taux de croissance annuel du trafic de 5,0 %. En considérant une croissance exponentielle du trafic, le trafic moyen journalier annuel attendu à l'année de mise en service soit 2019 est donné par :

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

- i : taux de croissance géométrique ;
- T₀ : trafic moyen journalier à l'année de mise en service des véhicules poids lourds de la route ;
- TPL : trafic moyen journalier à l'année de comptage
- n' : intervalle de temps entre l'année de comptage et l'année de mise en service ;

Ainsi après calcul, nous avons obtenu le résultat suivant :

$$\mathbf{T_0 = 72 \text{ PL/Jr/sens}}$$

b) **Détermination du trafic cumulé PL par la méthode CEBTP**

Pour la détermination de la structure de la chaussée, le trafic qui sera pris en compte sera en nombre de poids lourd. Le projet traduit une progression géométrique et est donnée par la relation suivante :

$$365 \sum_1^n T_n = 365 \times T_0 \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

Avec : T₀ : TMJA à l'année de mise en service (2019)

n : durée de vie du projet

T_n : TMA à l'année n

i : taux d'accroissement annuel du trafic

$365 \sum_1^n T_n$: trafic cumulé pendant la durée de vie du projet

$$\mathbf{365 \sum_1^n T_n = 5.67084 \times 10^5 \text{ PL}}$$

c) Détermination de la classe du trafic et calcul du trafic équivalent

Le guide de dimensionnement du CEBTP propose une classification du trafic. Cette classification se base sur plusieurs critères selon les données dont on dispose. Il s'agit :

- ✓ Le trafic cumulé poids lourds ;
- ✓ Le trafic cumulé par la méthode des équivalences des essieux ;
- ✓ Le trafic journalier toute catégorie de véhicules confondues

Pour notre cas nous nous basons sur le premier facteur qu'est le trafic cumulé poids lourds. Pour ce faire, cette classification a été proposée par CEBTP dans le tableau 10 ci-après :

Tableau 10 : tableau illustrant la classe du trafic en fonction de PL/Jour/sens

Classe de trafic	Trafic équivalent en Véh/J
T1	$\leq 5 \times 10^5$
T2	$5 \times 10^5 \leq T \leq 1,5 \times 10^6$
T3	$1,5 \times 10^6 \leq T \leq 4 \times 10^6$
T4	$4 \times 10^6 \leq T \leq 1 \times 10^7$
T5	$1 \times 10^7 \leq T \leq 2 \times 10^7$

Avec notre trafic précédemment déterminé, nous retenons un trafic de type T2 conformément aux prescriptions de guide pratique de dimensionnement des chaussées.

Le trafic cumulé d'essieux équivalent à 13 tonnes correspondant pour une durée de vie de 15 ans. De plus, le NE que nous prendrons en compte pour le dimensionnement de chaussée de l'axe principal et est égal à :

$$NE = T_n \times CAM = 5,67084 \cdot 10^5 \times 0,88 = 499\,033,92 \text{ Essieu équivalent de 13 tonnes.}$$

d) Détermination du module de Young

Le module de Young est pris égal à $5 \times \mathbf{CBR}$ (d'après LCPC) pour la plateforme et

$$E_n = E_{n-1} \times K \quad \text{Pour les couches sous-jacentes où :}$$

E_n = Module de la couche inférieure ;

E_{n-1} = Module de la couche considérée.

K est donné par le tableau 11 suivant :

Tableau 11 : Valeurs du coefficient K (LCPC)

Catégories	1	2	3
K	3	2,5	2
Elim (Mpa)	600	400	200

Nous avons retenu la catégorie 1 pour ce projet ce qui nous donne un coefficient $K=3$ d'où les modules de Young suivant :

Tableau 12 : Module de Young des couches de la chaussée

Module de Young pour K=3		
Couches	Modules calculés (Mpa)	Modules retenus pour la modélisation (Mpa)
Plateforme (sol support)	75	90
Couche de fondation	225	400
Couche de base	675	600

Calcul de la contrainte admissible

La contrainte admissible du sol est donnée par la formule de Kherkhoven et Dormon

$$\sigma_{zadm} = \frac{0.3 \times CBR}{1 + 0.7 \times \log(NE)} = \frac{0.3 \times 15}{1 + 0.7 \times \log(5.54088 \times 10^5)}$$

$\sigma_{zadm} = 0,902 \text{ Mpa}$

Calcul de la déformation admissible

La déformation admissible est calculée par la relation suivante donnée par SETRA :

$$\varepsilon_{adm,sol} = A \times NE^{-0.222}$$

$A = 16000 \text{ pour les trafic inférieur à T3}$

$\varepsilon_{adm,sol} = 869.23 \mu def$

V.3.2. Caractéristiques géométriques

a) Epaisseur et section du pavé

Les pavés de béton doivent être choisis de façon convenable à ne pas dépasser la section et l'épaisseur recommandées sans être en dessous de la réglementation. Le tableau 13 illustre la détermination de l'épaisseur du pavé en fonction du trafic.

Tableau 13 : Choix de l'épaisseur du pavé en fonction du trafic

Classe de trafic	Utilisation de pavés de béton	Epaisseur minimale des pavés (mm)
T1	COURANTE	60
T2		80
T3		80
T4	Nécessite une étude détaillée	100
T5		100

Nous optons pour un pavé d'épaisseur 80 mm et de section 50x100 mm².

b) Epaisseur du lit de pose

Une étude réalisée par Panda et Ghosh (2002) sur des hauteurs de lit de pose entre 20 et 80 mm a montré que pour une augmentation de l'épaisseur de lit de pose entre 20 et 50 mm, la déflexion du

Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)

pavage décroît doucement d'environ 20%. Par contre, pour une augmentation de l'épaisseur de lit de pose entre 50 et 80 mm, la déflexion du pavage augmente rapidement et la compaction du lit de pose sous l'effet du trafic n'est pas entièrement effective. Les relevés d'épaisseurs de lit de pose les plus sécurisant sont celles comprises entre 20 et 50 mm. Pour ce faire nous allons utiliser un lit de 50 mm de sable fin 0/5.

c) Couche d'assise

L'hypothèse à formuler ici consiste à rechercher les épaisseurs des différentes couches constituant l'assise de la chaussée. Comme nous l'avons noté précédemment, qu'il s'agit de dimensionner cette chaussée comme une structure souple. En effet pour déterminer les couches d'assise de la structure, nous allons opter pour une chaussée avec comme revêtement en enduit superficiel. Ce dernier, ne joue le rôle de garantir l'étanchéité de la surface de la chaussée et de générer la rugosité superficielle. Le guide pratique de dimensionnement des chaussées nous propose les différents choix possibles en utilisant notre type de trafic (T2) et notre classe de sol (S4).

Tableau 14 : Choix possibles de la structure de chaussée (T2-S4)

CHOIX	Couche	Matériaux	Epaisseur (cm)
Variante 1	Revêtement	4E	4
	Base	Graveleux latéritique Naturel	15
	fondation	Graveleux latéritique Naturel	20
Variante 2	Revêtement	4E	4
	Base	Béton de sol	15
	fondation	Grave latéritique	20
Variante 3	Revêtement	4E	4
	Base	Concassé o/d	15
	fondation	Grave latéritique Naturel	20
Variante 4	Revêtement	4E	4
	Base et fondation	Concassé o/d	30
Variante 5	Revêtement	4E	4
	Base	Sable bitume	15
	fondation	Sable argileux	20

Par là nous avons cinq (5) type de proposition à partir desquelles nous devons sélectionner la plus adaptée à notre projet.

En tenant compte de la disponibilité des matériaux aux alentours de notre site d'étude. Nous nous retrouvons avec une zone quasiment riche en substance latéritique. Pour ce faire il nous convient d'abandonner les propositions dont les matériaux sont autres que la latérite : à savoir l'option 2, 3, 4, et 5 du point de vue économique du projet.

La seule option qu'on retient est la première et qui nous reste à vérifier par le logiciel de dimensionnement ALIZE LCPC.

Vérification de l'option choisie avec ALIZE

a) Classe de portance du sol support

Le choix de cette classe se fait en fonction du module E qui vaut :

$E = 5 \cdot CBR = 5 \cdot 15 = 75 \text{ MPa}$. Cette classification se résume dans le tableau 15 suivant :

Tableau 15 : Classe de plateforme en fonction du module E

Classe de Plateforme	Limites en (MPa)
Pf1	$20 < E < 50$
Pf2	$50 < E < 120$
Pf3	$120 < E < 200$
Pf4	$E > 200$

b) Paramètres et hypothèses de dimensionnement

- ✓ Nous allons opter pour un dimensionnement d'une chaussée non revêtue
- ✓ Trafic cumulé $T_2 = 5,67084 \cdot 10^5 \text{ PL}$
- ✓ Le risque de calcul est de 5 % pour toutes les sections indépendamment du trafic ;
- ✓ Conformément au Guide Technique du SETRA/LCPC de 1994 ;
- ✓ Le coefficient de poisson de la plate-forme est pris égal à 0,35 ;
- ✓ Toutes les couches sont collées ;
- ✓ Sol en place : $CAM = 1$;
- ✓ Le coefficient $A = 16\ 000$;
- ✓ La pente $b = -0,222$

Tableau 16 : caractéristiques des matériaux

Paramètres des matériaux	Couche de base	Couche de fondation
	Grave Latéritique (GNT)	Grave Latéritique (GNT)
Module E	600	400
Module E (10°C)	-	-
Fatigue	-	-
Coefficient de poisson	0.35	0.35
Pente -1/b	0.222	0.222
Ecart type SN	-	-
Ecart type Sh	-	-
Coefficient Kr	-	-
Coefficient Kd	-	-
Coefficient Kc	-	-
Coefficient A	16 000	16 000

c) Calcul des contraintes admissibles :

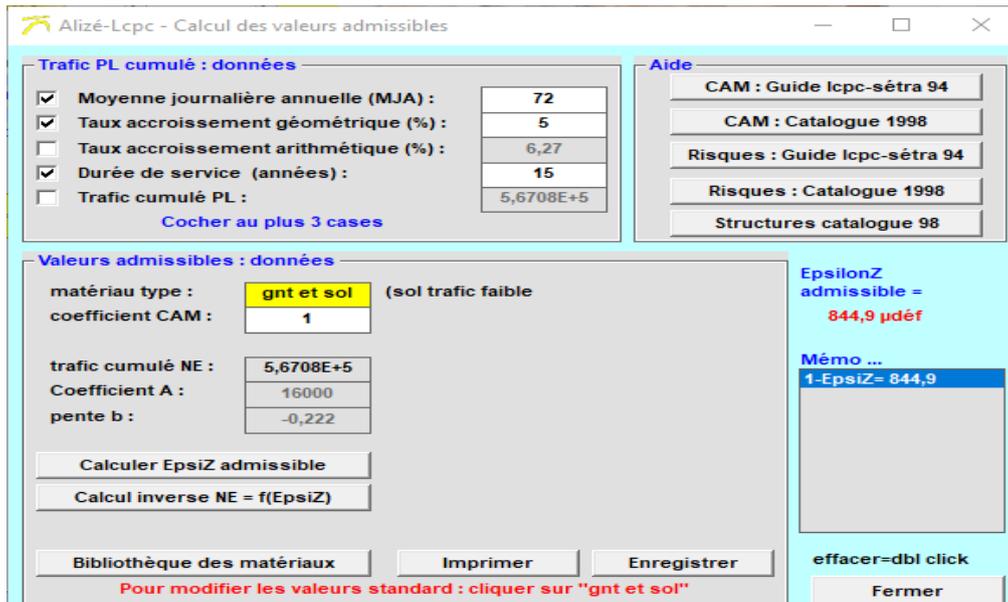


Figure 5 : contrainte admissible pour les couches de base, de fondation et plateforme

Tableau 17 : Tableau récapitulatif des contraintes admissibles

Déformation admissible ϵ_{zadm}	844,9 μdef
Contrainte admissible σ_{zadm}	0,902 MPa

d) Calcul des contraintes et vérification :

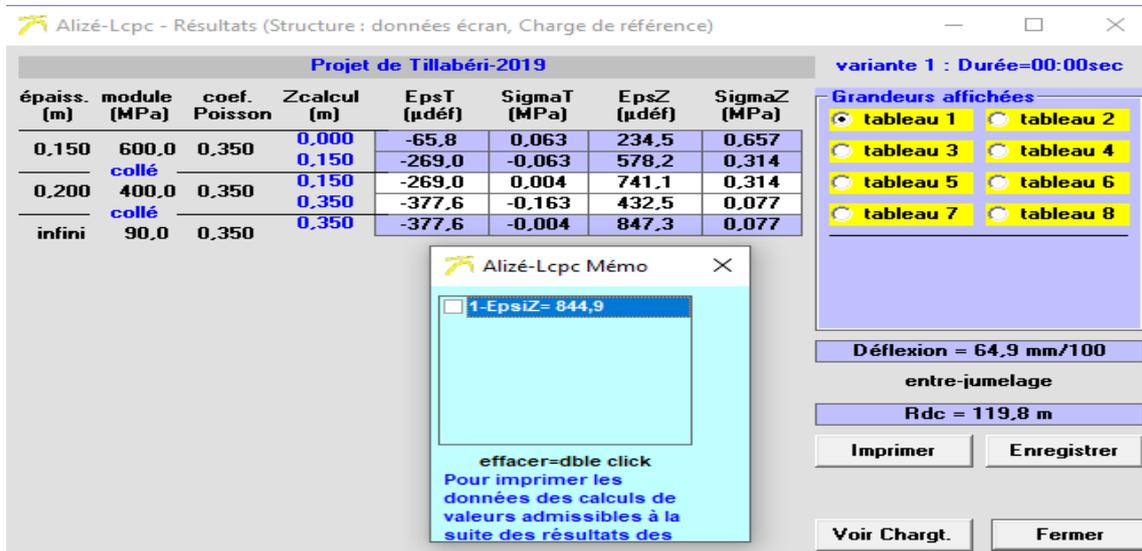


Figure 6 : Contraintes effectives non-vérifiées vis-à-vis des conditions admissibles

Pour cette configuration, nous constatons que les contraintes au niveau de la couche de base et celle de la fondation les résultats sont positifs tant dis que celles du sol support ne sont pas vérifiées. Nous augmentons une épaisseur de 5cm à la couche de base et recalculer les contraintes effectives.

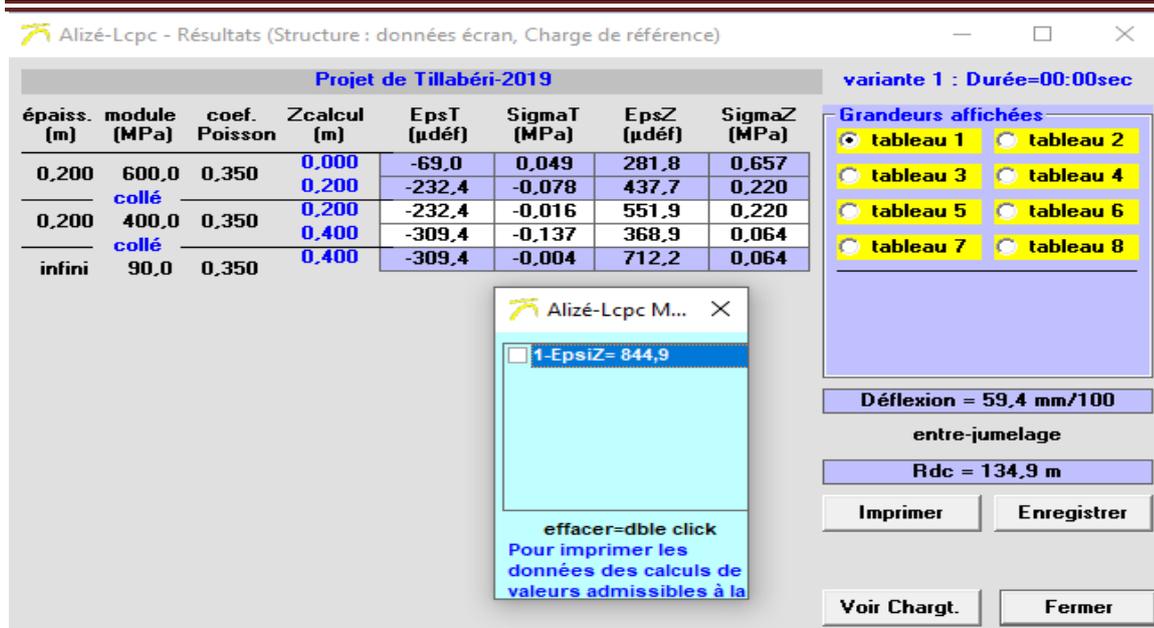


Figure 7 : Contraintes effectives vérifiées vis-à-vis des conditions admissibles

A l'issue de cette dernière configuration, nous constatons que toutes les contraintes effectives calculées sont inférieures aux contraintes admissibles.

Tableau 18 : récapitulatif de la vérification des contraintes

VERIFICATION DES CONTRAINTES			
	$\epsilon_{adm} / \epsilon_{zadm}$	$\sigma_{eff} / \epsilon_z \text{ eff}$	Conclusion
Couche de base en GNT	844,9 µdef	437,7 µdef	OK
Couche de fondation en GNT	844,9 µdef	551,9 µdef	OK
Sol de plateforme (PF2)	844,9 µdef	712,2 µdef	OK

Avec cette configuration nous constatons que les valeurs effectives sont acceptables vis-à-vis des valeurs admissibles. Donc nous retenons ainsi notre structure comme suit :

Tableau 19 : récapitulatif des épaisseurs de la chaussée

Couches	Matériaux	Epaisseur (cm)
Revêtement	Pavé de Béton	8
Lit de pose	Sable fin	5
Base	GLN	20
Fondation	GLN	20

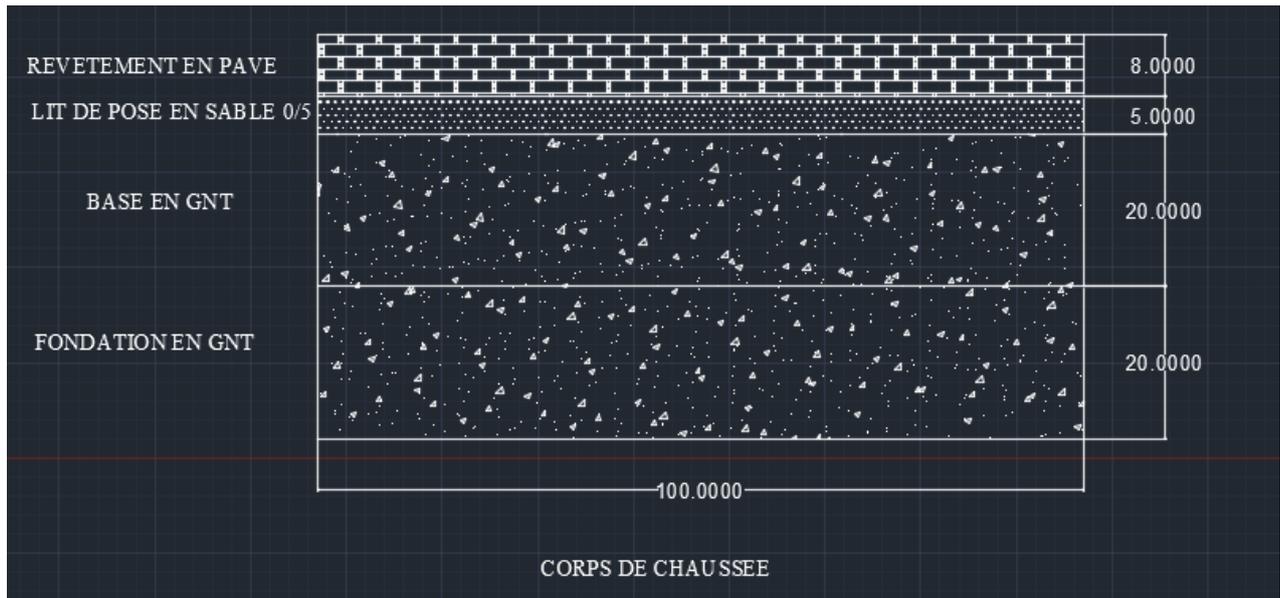


Figure 8 : Illustration des différentes épaisseurs du corps de chaussée

VI. ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

VI.1. Etude hydrologique

La ville de Tillabéri est située à environ cent-quinze (115) kilomètres de Niamey et est affecté par un climat de type sahélien avec des précipitations moyennes annuelles qui diminuent du Sud au Nord de 250 à 400 mm. Ici, il sera question de délimiter des différents Bassins versants coïncidant avec l'axe de la route, afin de déterminer leurs débits à l'exutoire favorisant le dimensionnement des ouvrages hydrauliques.

Ces derniers, constitueront des points sensibles au fonctionnement de la nouvelle route à construire. Les données climatiques disponibles sont celles de la SRTM de la zone d'étude et ces données portent sur les pluies moyennes annuelles et les pluies journalières maximales.

Dans notre étude, nous procéderons à une étude des débits en utilisant la méthode rationnelle et celle du CIEH.

Enfin, après une appréciation des deux différentes méthodes, nous allons conserver le résultat le plus défavorable (c'est-à-dire le plus grand débit à évacuer) car il nous garantit la sécurité.

VI.1.1. Délimitation des bassins versants et détermination de ses caractéristiques physiques

a) Délimitation des Bassins versants

A l'aide du logiciel « Global mapper », des données du FAO-54 et du tracé de l'axe principal de route (y compris le levé topographique : semis des points), et après avoir repérer les différents exutoires possibles, deux bassins versants ont été délimités suivant les différents cours d'eau couvrant la zone du projet.

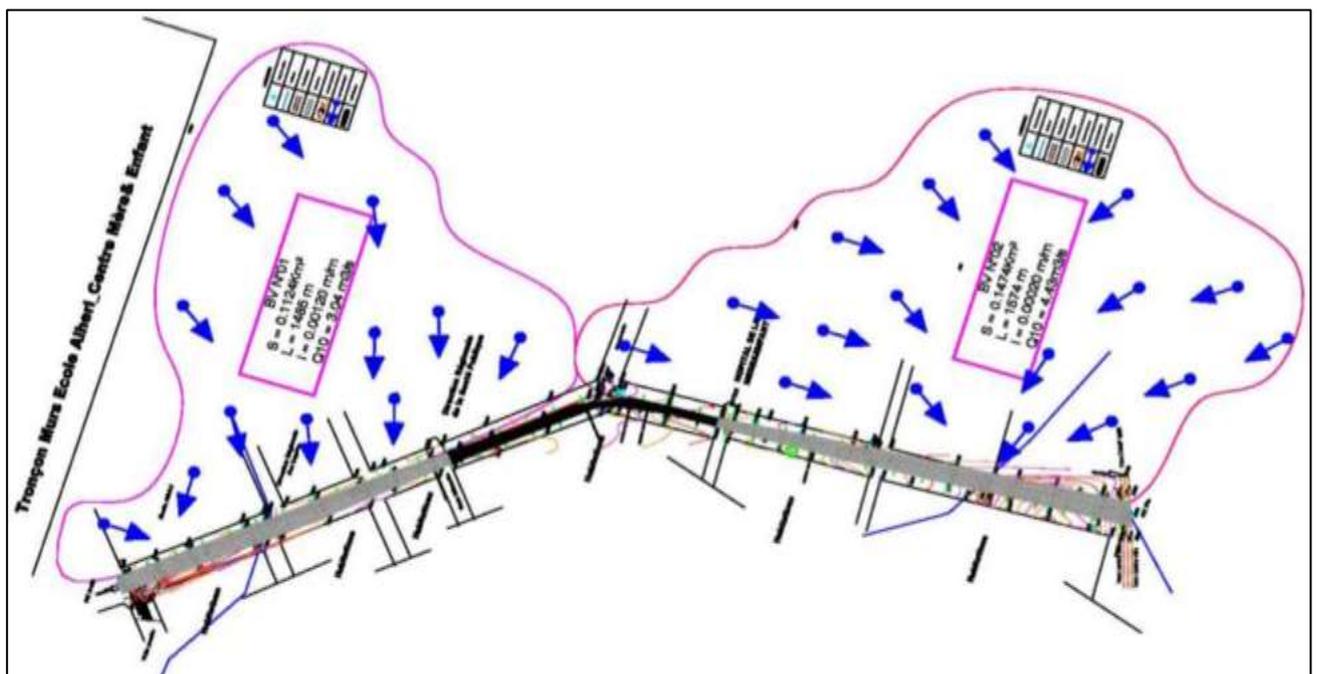


Figure 9 : Illustration des bassins versants

Ce logiciel nous donne certains paramètres intrinsèques pour chaque de Bassin versant qui sont :

Tableau 20 : Paramètres des bassins versant

N°	Périmètre (km)	Pente (%)	Surface (km ²)	Cote Max (m)	Cote min (m)	Lh (m)
BV1	2.042	2.73	0.1385	221	211	340.66
BV2	1.375	2.07	0.0878	224	216	268.68

b) Les caractéristiques du bassin versant

Un bassin versant est caractérisé par les éléments suivants : La superficie, le périmètre, l'indice global de pente, la longueur du rectangle équivalent, la pente moyenne et éventuellement la courbe hypsométrique.

❖ **Indice de Gravelius (KG)**

L'indice de groupe encore appelé indice de Gravelius (KG) est un coefficient qui caractérise la forme du bassin versant. Il est obtenu par la relation suivante :

$$KG = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{S}}$$
 avec P et S le périmètre et la surface respectifs du BV.

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

La longueur du rectangle équivalent est déterminée par :

$$L = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16 * S}}{4}$$
 avec L en (Km)

❖ **Densité de drainage**

La densité de drainage est donnée par la formule $Dd = \frac{\sum Li}{S}$ avec Dd en (Km/km²)

❖ **Pente moyenne**

$$Imoy = \frac{Helevée - Hfaible}{\sqrt{S}}$$
 avec Imoy en (Km/km²)

❖ **Courbe hypsométrique et détermination de l'indice global de pente Ig**

Pour chaque BV et en fonction de la courbe hypsométrique nous déterminons l'indice globale de pente Ig par la relation suivante :

$$Ig = \frac{H5\% - H95\%}{L}$$
 en (Km/km²)

Les courbes hypsométriques donnant les détails sur chaque Bassin versant sont les suivantes :

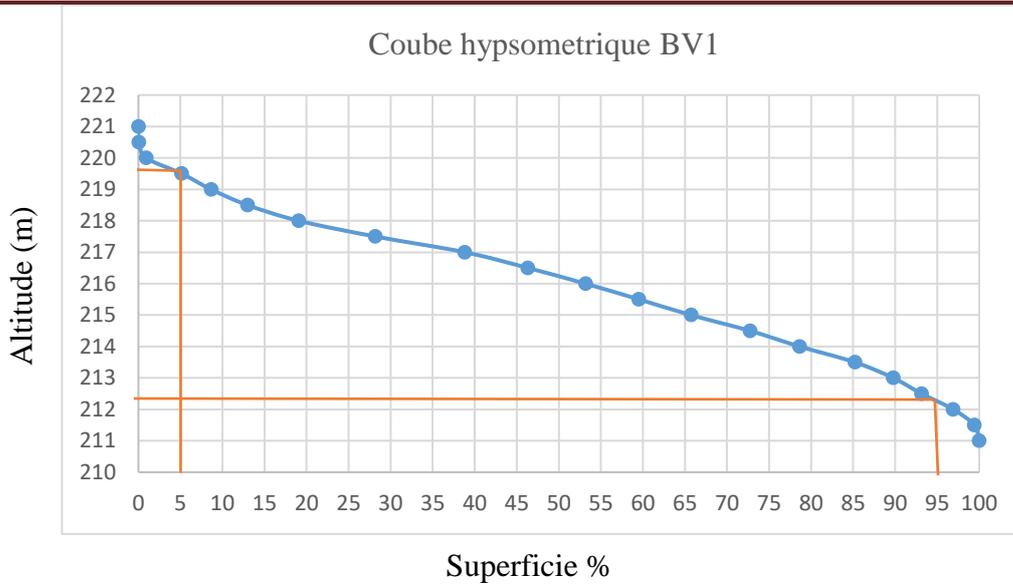


Figure 10 : courbe hypsométrique BV1

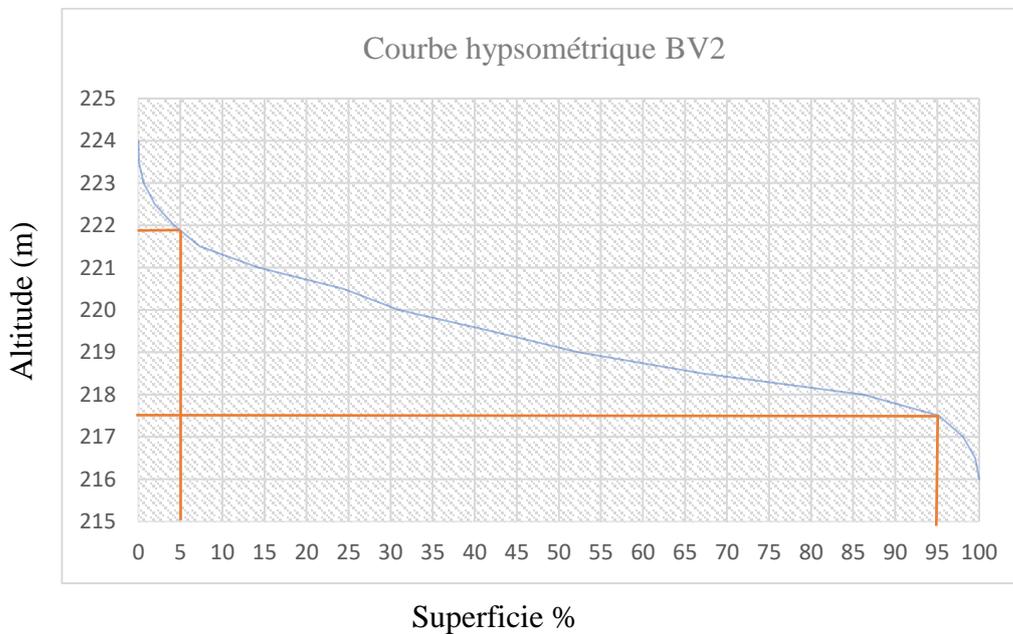


Figure 11 : courbe hypsométrique de BV2

VI.1.2. Hydrologie statique

a) 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.

b) Lois statiques principales

Le phénomène de crue est généralement ajustable à des lois statistiques très nombreuses. Nous retiendrons celles qui font intervenir peu de paramètres qui par suite seront 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.

Pour la suite de cette étude nous utiliserons la loi de GUMBEL.

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.

Cette méthode n'utilise que les fréquences au non dépassement et se présente comme suit :

$$F(x) = e^{-e^{-u}} \text{ Avec } u = -\ln[-\ln(F(x))] \text{ , la variable réduite de Gumbel.}$$

Cette loi a pour paramètres :

❖ **L'écart type (σ)**

$$\frac{1}{a} = 0.780\sigma$$

❖ **La moyenne (\bar{x})**

$$x_0 = x - \frac{0.577}{a}$$

Ces paramètres ont permis la détermination des intervalles de confiance qui sont définis par la relation suivante :

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

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

Les résultats de l'analyse sont donnés dans le tableau 21 ci-dessous :

Tableau 21 : Intervalles de confiance

Intervalles de confiance à 95 %							
T (an)	F	Up	Xp	K	A	borne inf	borne sup
10	0,05	-1,097189	32,613914	-1,305867	5,0270592	27,586855	37,640973
100	0,99	4,6001492	104,17937	3,1380564	19,783966	84,395407	123,96334

VI.1.3. Hydrologie déterministe

Le calcul des débits relève de plusieurs facteurs tels que : la climatologie, la topographie, la pédologie, la morphologie, la couverture végétale, l'occupation des sols, etc. Il en résulte ainsi plusieurs méthodes de détermination des débits, dont entre autres la méthode Rationnelle, ORSTOM, CAQUOT, CIEH, etc.

La méthode rationnelle et CIEH sont les plus adaptées pour nos bassins versant compte tenu de leur état physique.

a) La méthode Rationnelle

Cette méthode est applicable à des petits bassins versants dont la superficie ne dépasse pas 4 km²¹, bien que la méthode puisse être utilisée pour des bassins plus importants, au moyen de facteurs de correction. 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 Tc 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 :

$$Q = 0.278CIA, \text{ avec :}$$

C : coefficient de ruissellement ;

I : intensité de pluie ;

A : Superficie du bassin versant.

❖ Coefficient de ruissellement :

C'est le rapport de volume d'eau qui ruisselle (arrivant à l'exutoire) sur la surface du bassin versant au volume d'eau reçu sur cette même surface. Le coefficient de ruissellement C dépend essentiellement du type de sol, de sa couverture végétale et de la pente du bassin versant, Le tableau 22 suivant indique ces valeurs expérimentales.

¹ Nguyen VAN TUU, *hydraulique routière*, 1979

Tableau 22 : Coefficient de ruissellement

Type de Surface	Coefficient de ruissellement unitaire
Surface bâtie	0,95
Cours non revêtue	0,83
Route bitumée	0,88
Route en terre	0,83
Terre couverte de végétation	0,35
Terrain nu sans végétation	0,65

❖ Temps de concentration

Le temps de concentration est le temps que met une goutte d'eau provenant du point le plus éloigné de l'exutoire pour parvenir à celui-ci. Il est donné par la formule empirique de KIRPICH.

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

Avec :

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.

❖ Intensité I de l'averse

La détermination de l'intensité de l'averse décennale I passe d'abord par celle de temps de concentration T_C du bassin versant. L'intensité de l'averse I peut être déterminée à partir de la relation suivante :

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

Où a et b sont les coefficients de Montana qui dépendent de la région d'étude et de la période de retour. Ainsi les coefficients de Montana pour les pays de l'Afrique de l'ouest sont les suivants : a = 7.5 et b = 0.5 (pour un temps de retour de 10 ans).

Après avoir définis les paramètres les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 23 : résultat des débits calculés avec la méthode Rationnelle

Méthode rationnelle					
Désignation	Superficie	Temps de concentration	Intensité de pluie	Coefficient de ruissellement	Débit décennal
---	S	Tc	i	c	Q10
Unité	[km ²]	[min]	[mm/h]	[%]	[m ³ /s]
BV1	0,1	6,5	176,9	70,000	4,1797
BV2	0,1	5,4	194,2	70,000	2,9765

b) La méthode CIEH

Méthode statistique connue depuis sous le nom de méthode CIEH et basée sur 162 bassins versants dont l'origine vient essentiellement du recueil de Oubreuil (1972) sur les bassins expérimentaux.² La formulation retenue pour retrouver l'expression du débit de pointe Q₁₀ est basée sur un schéma de régression multiple et se présente sous la forme :

$$Q_{10} = a \times S^s \times P_{an}^p \times I_g^i \times K_{r10}^k \times D_d^d$$

Avec

Q₁₀: Débit de crue décennale (m³/s) ;

a, s, p, i et d : Coefficient de la régression multiple ;

S: Surface du bassin versant (km²) ;

P_{an} : Pluie annuelle moyenne (mm) (la zone d'étude a une pluie moyenne annuelle de 424,69mm) ;

I_g : Indice global de pente (m/km) ;

K_{r10} : Coefficient de ruissellement décennal ;

D_d est la densité de drainage (km⁻¹).

Les équations que nous avons utilisées nécessitent les données d'entrée suivantes : P_{m10} ; I_g ; S ; et K_{r10}.

❖ Détermination de P_{m10}

$$P_{m10} = A \times P_{10}$$

$$A = 1 - \frac{(9 \log_{10} T - 0.042 P_{an} + 152) \log_{10} S}{1000}$$

Avec : A : Coefficient d'abattement et P₁₀ : Pluie décennale journalière.

Tableau 24 : Valeur de P_{m10}

Basins	P10	S (Km ²)	A	Pm10
BV1	74,663	0,1385	1	78,93
BV2	74,663	0,0878	1	78,93

² Crue et apport « 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 », FAO 1996

❖ Détermination de Kr10

La détermination du coefficient de ruissèlement se fait par interpolation linéaire entre Kr70 et Kr100 qui correspondent respectivement aux précipitations décennales ponctuelles :

$$Kr10 = Kr70 + \frac{(P_{10}-70) \cdot (Kr_{100}-Kr_{70})}{(100-70)}$$

Tableau 25 : Valeurs des coefficients Kr10, Kr70, Kr100

Basins	Kr70	Kr100	Kr10
BV 1	28,97	31,27	29,61
BV 2	29,25	31,62	29,91

Les équations correspondantes à notre zone sont les suivantes :

$$Q_{10} = 0.095 \times S^{0.643} \times I_g^{0.406} \times K_{r10}^{1.038} \text{ (Formulation pour Pan < 1000mm)}$$

$$Q_{10} = 0.56 \times S^{0.619} \times I_g^{0.279} \times K_{r10}^{0.51} \text{ (Formulation pour les pays de l'Afrique de l'ouest)}$$

$$Q_{10} = 203 \times S^{0.459} \times P_m^{-1.301} \times K_{r10}^{0.813} \text{ (Formulation pour le Niger)}$$

Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)

Après calcul et détermination des débits selon les deux méthodes (rationnelle et CIEH), nous nous retrouvons avec les résultats consignés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau 26 : détermination des débits avec la méthode rationnelle

Méthode rationnelle												
Désignation	Superficie	Altitude maximale	Altitude minimale	Longueur hydraulique	Dénivelée	Temps de concentration	Coefficient de Montana		Intensité de pluie		Coefficient de ruissellement	Débit décennal
	S	Alt max	Alt min	L	H	Tc	a	b	i	i	c	Q10
Unité	[km ²]	[m]	[m]	[m]	[m]	[min]	[-]	[-]	[mm/min]	[mm/h]	[%]	[m ³ /s]
BV1	0,1385	221	211,0	340,66	10,0	6,5	7,50	0,50	2,9477	176,9	70,000	4,1797
BV2	0,0878	224	216,0	268,68	8,0	5,4	7,50	0,50	3,2367	194,2	70,000	2,9765

Tableau 27 : Débit décennal du BV1 avec la méthode CIEH

Méthode CIEH								
Bassin versant 1								
N	a	s(Km ²)	pm10	A	Pan(mm)	ig (m/km)	Kr10%	P10(mm)
12	0,095	0,1385	74,6632687	1	424,690625	8,37	29,6070	74,663
2	2,03	0,1385	78,933001	1	424,690625	8,37	29,6070	74,663
42	0,0912	0,1385	78,933001	1	424,690625	8,37	29,6070	74,663
11	0,41	0,1385	78,933001	1	424,690625	8,37	29,6070	74,663
41	0,407	0,1385	78,933001	1	424,690625	8,37	29,6070	74,663
Q10moy(m ³ /s)			2,69					
Q100(m ³ /s)			5,66					

Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)

Tableau 28 : Débit décennal du BV2 avec la méthode CIEH

Méthode CIEH								
Bassin versant 2								
N	a	s(Km2)	pm10	A	Pan(mm)	ig (m/km)	Kr10%	P10(mm)
12	0,095	0,0878	74,6632687	1,00	424,690625	8,69	29,6070	74,663
2	2,03	0,0878	78,933001	1,00	424,690625	8,69	29,6070	74,663
42	0,0912	0,0878	78,933001	1,00	424,690625	8,69	29,6070	74,663
11	0,41	0,0878	78,933001	1,00	424,690625	8,69	29,6070	74,663
41	0,407	0,0878	78,933001	1,00	424,690625	8,69	29,6070	74,663
Q10moy(m3/s)		2,08						
Q100(m3/s)		4,3754257						

Tableau 29 : Tableau récapitulatif des débits centennaux des BV

SYNTHESE DES RESULTATS							
	METHODE RATIONNELLE AMELIOREE			METHODE CIEH			Débit du projet
	Q ₁₀ [m ³ /s]	C	Q ₁₀₀ [m ³ /s]	Q ₁₀ [m ³ /s]	C	Q ₁₀₀ [m ³ /s]	
BV1	4,22	2,5	10,54	2,69	2,11	5,66	10,54
BV2	2,98	2,5	7,44	2,08	2,11	4,38	7,44

Analyse des résultats :

Du point de vu estimatif, du débit à l'exutoire des bassins versants, nous constatons que la méthode rationnelle nous donne des débits (décennal et centennal) plus grands par rapport à la méthode CIEH.

Interprétation des résultats :

Pour la suite de cette étude, nous allons considérer les débits déterminés à partir de la méthode rationnelle comme débits de projet.

VI.2. Etude hydraulique

L'hydraulique routière ou encore l'assainissement routier constitue l'un des problèmes techniques les plus importants auquel l'ingénieur doit faire face lors de l'étude de ses ouvrages hydrauliques. Il s'agit essentiellement de la collecte et de l'évacuation des eaux superficielles sur l'emprise de la route, de la collecte et l'évacuation des eaux internes (drainage) et enfin, du rétablissement des petits écoulements naturels (petits ouvrages de franchissement). Le choix des différents ouvrages doit répondre à un certain nombre de contraintes toutes dépendant de la taille du projet routier (routes en terres, petites routes bitumées, autoroutes...), mais aussi des conditions naturelles (pluviométrie, géologie, relief...). Par ailleurs, il faut noter que les solutions proposées vont dans tous les cas privilégier la simplicité des ouvrages, leur solidité et la facilité de les entretenir.

De plus, l'objectif visé ici est de maintenir la future chaussée toujours hors de l'eau le plus rapide que possible.

VI.2.1. Hypothèses de calculs

Pour la suite de cette étude, nous formulons certaines hypothèses telles que :

- ❖ Les ouvrages seront réalisés en Béton Armé ;
- ❖ L'écoulement sera du type à surface libre pour une sortie dénoyée ;
- ❖ Coefficient de Manning $K_s = 67$;
- ❖ Le dimensionnement à partir des débits centennaux obtenus par la méthode rationnelle ;
- ❖ Nous choisissons des dalots pour tous les bassins versants dont les débits sont supérieurs ou égale à $4 \text{ m}^3/\text{s}$.

VI.2.2. Données de base

A l'issue de l'étude hydrologique, nous avons obtenu certaines données qui faciliteront le choix et la mise en œuvre des ouvrages. Ces paramètres sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 30 : Donnée de base des BV

Désignation	Surface (km ²)	Longueur (m)	Pente (%)	Débit Q10 (m ³ /s)	Débit Q100 (m ³ /s)
BV1	0,1385	1485	2,73	4,22	10,54
BV2	0,0878	1574	2,07	2,98	7,44

VI.2.3. Critères de choix du type d'ouvrage

Dans le cas de notre projet, le choix du type d'ouvrages hydrauliques sera essentiellement basé sur plusieurs critères tels que :

- Le coût de réalisation (facteur le plus significatif) ;
- L'insertion de l'ouvrage dans le profil en long ;
- La faisabilité technique,
- Le confort et Sécurité offerts aux usagers,
- La durabilité (pérennité) de l'ouvrage,
- L'impact sur l'environnement qu'engendre la construction de l'ouvrage.

Tableau 31 : localisation et choix du type d'ouvrage

Désignation	Débit Q100 (m ³ /s)	Localisation	Ouvrages
BV1	10,54	PK 00+175	Dalot 1
BV2	7,44	PK 00+783	Dalot 2

VI.2.4. Dimensionnement hydraulique des Dalots

Pour le calcul des ouvertures hydrauliques, nous allons suivre la méthode du manuel « Hydraulique routière » édité par le ministère Français de la Coopération et du Développement. On considère que les ouvrages vont fonctionner pour une sortie dénoyée avec un écoulement à surface libre. Le débit à évacuer étant connu si dessus.

La condition pour l'écoulement de l'eau dans l'ouvrage à surface libre pour la sortie dénoyée est que le rapport entre la hauteur amont (H1) et la hauteur (D) de l'ouvrage soit inférieure ou égale à 1,25 soit : $H1 / D < 1,25$.

Pour le dimensionnement nous adoptons les étapes suivantes :

✓ **Etape 1 : Calcul de la profondeur en amont H1 :**

Il s'agit de calculer la profondeur amont et de vérifier si celle-ci est conforme à la situation topographique de l'ouvrage. Tout d'abord il faudra estimer une valeur approchée de **D** et **B** (hauteur et largeur du dalot) en utilisant la formule de base suivante : $Q = V * S$ et on déduit $S = Q / V$ avec **S** comme section mouillée. **Q** connu et **V** la vitesse limite étant fixée à **3,50 m/s** et **D** étant fixée on déduit aisément la valeur de **B**. Ensuite on utilise la formule $q^* = \left(\frac{q}{S}\right) \times \left(\frac{1}{\sqrt{2gD}}\right)$ pour calculer le

débit réduit q^* . Cette valeur donne la valeur réduite H^*_1 en utilisant l'abaque joints en ANNEXE 9, la valeur de H_1 est ainsi calculée par la relation $H^*_1 = H_1/D$. La valeur H_1 ainsi trouvée est comparée avec la situation topographique du projet. Si la valeur de H_1 n'est pas acceptable pour le projet, il faut changer les valeurs de **B** et/ou **D**. Si la valeur de H_1 est acceptable pour le projet, il faut maintenant s'assurer que la vitesse de l'eau dans l'ouvrage reste dans les limites admissibles. Pour cela il faut passer d'abord par le calcul de la pente critique de l'ouvrage.

✓ **Etape 2 : Calcul de la pente critique I_c**

L'ouvrage doit être capable d'évacuer le débit critique correspondant à la profondeur H_1 amont. Pour cela, il faut que la pente longitudinale de l'ouvrage soit au moins égale à la pente critique (I supérieure ou égale à I_c). Dans cette étape on calcule la pente critique de l'ouvrage (notée I_c) qui guidera le choix de la pente longitudinale de l'ouvrage (notée I). On calcule, connaissant la largeur B du dalot et le débit à évacuer, le débit réduit pour la pente critique en fonction de la formule suivante : $Q^* = \left(\frac{q}{\sqrt{gB^5}} \right)$, connaissant K le coefficient de rugosité, après le calcul de Q^* on lit sur l'abaque joint en ANNEXE 10 la valeur de la pente I^*_c qui permet d'avoir I_c pente critique par la formule suivante :

$$I_c = \left(\frac{g \times I^*_c}{K^2 \times B^{\frac{1}{3}}} \right)$$

On retient I la pente longitudinale de l'ouvrage supérieure ou égale à I_c la pente critique.

✓ **Etape 3 : Calcul de la vitesse dans l'ouvrage**

Au niveau de cette étape il s'agit de calculer la vitesse de l'eau dans l'ouvrage et de vérifier si celle-ci ne dépasse pas la vitesse limite (qu'on retiendra égale à 3,50 m/s).

L'on calcule ensuite le débit réduit q^* à partir des formules dérivées de Manning et en fonction de la pente longitudinale retenue).

Cette valeur réduite q^* donne, grâce à l'abaque joint à l'ANNEXE 11, la valeur de V^* de laquelle l'on déduit la valeur de la vitesse **V** recherchée grâce à la formule

✓ **Etape 4 : Itération**

Si la vitesse est acceptable le calcul est terminé, sinon il faut changer les paramètres d'ouvertures **B** et **D** et reprendre totalement tout le cheminement.

Après avoir suivi minutieusement ces étapes nous nous sommes retrouvés avec la section géométrique des dalots suivants :

Tableau 32 : Sections géométriques des dalots

Désignation	Débit Q100 (m ³ /s)	Nbr d'ouvertures	Largeur	Hauteur	V écoulement
Dalot 1	10,54	3	2,00	1,00	2,827
Dalot 2	7,44	1	2,00	2,00	3,31

VI.2.5. Pré dimensionnement du corps des ouvrages

a) Epaisseur des dalles

Les épaisseurs des dalles sont fonctions de la portée entre les piédroits. Elles sont déterminées pour résister au poinçonnement provoqué par les surcharges. Les épaisseurs de dalle sont calculées à l'aide de la formule suivante :

$$e = \frac{l}{32} + 0.125 \quad \text{avec } l : \text{Ouverture d'une cellule}$$

b) Epaisseur des radiers

L'épaisseur du radier est prise égale à celle de la dalle.

c) Epaisseurs des pieds droits

L'épaisseur de chaque piédroit sera prise égale à l'épaisseur du tablier conformément aux recommandations du Guide de conception pont cadres et portiques.

d) Pré dimensionnement de la tête des ouvrages

Les hypothèses suivantes sont faites :

- Les têtes du cadre fermé ne sont pas solidaires du corps de l'ouvrage ;
- Les murs en aile sont inclinés de 30 degrés ;
- L'épaisseur au sommet du mur doit être supérieur ou égal à 25 cm pour des raisons de commodité de bétonnage ;
- L'épaisseur des semelles seront prises supérieur ou égal à l'épaisseur de base du mur en aile.

e) Fondation des ouvrages

Les types d'ouvrages projetés constitués de dalots simples ou multiples présentent l'avantage de ne pas poser de problèmes particuliers sur le plan géotechnique. Les contraintes généralement appliquées au terrain d'assise sont faibles et souvent inférieures à 1 bar.

Il apparaît toutefois souhaitable de procéder à un compactage préalable du fond de fouille de façon à améliorer la cohésion du matériau d'assise qui, à l'état naturel, pourrait présenter un pourcentage de vide important.

VI.2.6. Dimensionnement structural des ouvrages hydrauliques

Cette partie traitera du dimensionnement en béton armé des ouvrages retenus précédemment à fin d'aboutir à un ferrailage optimal.

a) Principes de calcul

Le calcul sera mené suivant les règles de dimensionnement du manuel BAEL 91 avec les

modifications 99, quant aux surcharges routières elles seront prises conformément au fascicule 61 titre II.

b) **Caractéristiques des matériaux**

➤ **Béton**

Le béton que nous allons utiliser aura les caractéristiques ci-après :

- Dosage 350 kg/m³ de ciment CPA,
- Résistance caractéristique à la compression à 28 jours $F_{c28} = 25$ MPa,
- Résistance à la traction à 28 jours $F_{t28} = 0,6 + 0,06F_{c28} = 2,1$ MPa,
- Poids volumique du béton : 25 kN /m³
- Résistance de calcul du béton en compression à l'ELU : $f_{bu} = \frac{0,85 \times f_{c28}}{\theta \times \gamma_b} = 14,17$ MPa
- Contrainte admissible (limite) du béton en compression à l'ELS $\sigma_{bc} = 0,6 \times f_{c28} = 5$ MPa.

➤ **Aciers**

- Nuance d'aciers : Aciers à haute adhérence (HA) FeE 400,
- Contrainte admissible de l'acier $\sigma_{st} = \frac{f_e}{\gamma_s} = 347,83$ MPa avec la valeur de $\gamma_s = 1,15$;
- Enrobage : 3 cm.

➤ **Sol**

- Poids volumique : 20 kN/m³
- Angle de frottement interne : $\varphi = 30^\circ$,
- Coefficient de poussée de la terre : $K_a = 0,33$
- Contrainte admissible du sol : 1 bar.

Le tableau ci-dessous illustre les résultats des calculs du dalot 1 3×2×1

Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)

Tableau 33 : récapitulatif des résultats du ferrailage du dalot1

Eléments de structure	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

Les formules utilisées pour aboutir à ces résultats sont consignées dans la partie annexe (**voir annexe 12**).

VII. SECURITE ROUTIERE ET ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTALE

Dans cette, l'aspect sécurité routière sera adopté notamment avec la prise en compte de la signalisation verticale et horizontale. Une étude d'impact environnementale 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.

VII.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 implique l'interdiction d'utiliser, sur toutes les voiries, des signaux non réglementaires ; 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 priorité
- La signalisation temporaire : Elle a trait aux modifications momentanées des conditions de circulation.

VII.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 :

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.

- 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.

VII.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.

a) Signalisations horizontales

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

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

- Lignes discontinues

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.

b) 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.

VII.1.3. Eclairage public

Bien que les automobilistes disposent sur leur véhicule d'un système autonome d'éclairage, celui-ci a une portée limitée et est insuffisante pour l'accomplissement des différentes tâches de conduite nocturne en milieu urbain. Le choix s'est porté sur des candélabres simples alimentés par des panneaux solaires et seront en acier galvanisé. Il s'agira d'un circuit unique d'éclairage de nuit, par tubes fluorescents de puissance 20 lux. Ces dispositifs seront placés de façon latérale sur le tronçon 2x2 voies et de manière bilatérale sur le tronçon à 2 voies.

➤ Hauteur des candélabres

$H \geq L$, avec l : la largeur de la chaussée

$H \geq 7,00$ m. Nous convenons de choisir $H=10,00$ m.

➤ Espacement des candélabres

$Esp = 3H$, $Esp = 30,00$ m.

VII.2. ETUDE D'IMPACTS ENVIRONNEMENTALES

VII.2.1. 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.

VII.2.2. 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 ci-dessous résume le cadre juridique national qui s'applique sur notre projet.

Tableau 34 : cadre juridique national

DESCRIPTION DES IMPACTS		
Composantes	Sources d'impact	Impacts causés
Végétation	<ul style="list-style-type: none"> - Défrichage et abattage des arbres - Dénudation du sol 	<ul style="list-style-type: none"> - Destruction de la végétation et de champs de culture - Destruction du couvert végétal
Sol	<ul style="list-style-type: none"> - Terrassements et préparation de l'assiette de la route - Construction et revêtement de la route - Exploitation Emprunts, carrières 	<ul style="list-style-type: none"> - Diminution du coefficient d'infiltration - Dégradation des terres - Risques d'érosion
Ressources en eau	<ul style="list-style-type: none"> - Terrassements et préparation de l'assiette de la route - Mise en place d'une base vie - Construction des ouvrages d'art et des ouvrages hydrauliques - Exploitation Emprunts, carrières - Prélèvement d'eau 	<ul style="list-style-type: none"> - Changement local du régime hydrologique - Risques d'affectation de la qualité de l'eau - Stagnation des eaux dans les emprunts et dans les carrières - Rabattement des nappes par pompage
Faune	<ul style="list-style-type: none"> - Bruit - Défrichage et abattage des arbres - Mise en place d'une base vie 	<ul style="list-style-type: none"> - Bruits permanents dus aux passages des camions et engins perturbera l'avifaune, - Destruction des arbustes provoquera une perte d'habitat pour certains oiseaux et pour la microfaune
Paysage et air	<ul style="list-style-type: none"> - Défrichage et abattage des arbres - Transports de matériel vers le chantier - Circulation et transport - Terrassements et préparation de l'assiette de la route 	<ul style="list-style-type: none"> - Destruction du paysage - Augmentation de la nuisance sonore - Pollution de l'air par la poussière - Réduction substantielle de poussières
Emploi et économie	<ul style="list-style-type: none"> - Travaux de construction - Mise en place d'une base vie - Présence de la route améliorée 	<ul style="list-style-type: none"> - Création d'emplois directs et indirects - Desserte permanente des villages

Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)

		<ul style="list-style-type: none"> - Meilleur accès aux centres de production, de commercialisation
Santé et sécurité	<ul style="list-style-type: none"> - Travaux de construction - Mise en place d'une base vie - Présence de la route améliorée 	<ul style="list-style-type: none"> - Accident de travail - Naissance des nouvelles maladies (IST, SIDA) - Amélioration des conditions sanitaires et sécuritaires par la facilitation d'accès aux services sociaux de bases (Centres de santé, Ecoles.) - Réduction des accidents - Facilité d'accès aux forces de sécurité
Social et culturel	<ul style="list-style-type: none"> - Travaux de construction - Mise en place d'une base vie - Présence de la route améliorée - Exploitation des carrières et emprunts 	<ul style="list-style-type: none"> - Développement des échanges - Facilitation d'accès aux centres sociaux de base - Amélioration de la qualité de l'éducation et de la culture générale des populations - Risque de conflits dû à Exploitation des carrières et emprunts

Les mesures d'atténuations possibles auxquelles on peut envisager sont consignées dans le tableau ci-dessous :

Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)

Tableau 35 : Mesures d'atténuations

Récepteur	Activités sources d'impact	Impacts potentiels	Mesures d'atténuation
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.

Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)

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 liées 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 proches 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	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.

VII.3.DEVIS ESTIMATIVES DES TRAVAUX

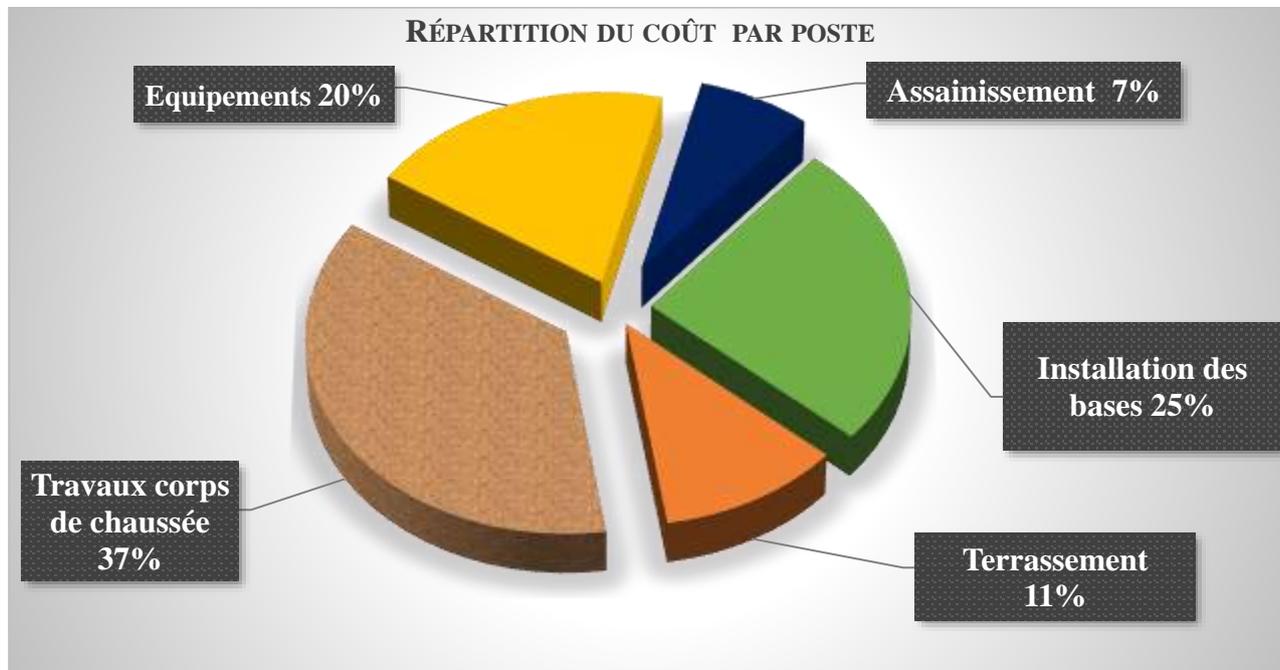
Cette étude vise à donner une tranche de prix pour l'ensemble des travaux à exécuter. Les prix donnés sont à titres indicatifs et susceptibles de changer suivant le cours des monnaies, la fluctuation du prix des marchandises. Mais la connaissance de ces prix est très utile lors de l'étude de faisabilité, 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 suivant :

Tableau 36 : Devis estimatif des travaux

Séries	Poste de travaux	Montant HT	%HT
000	Installation des bases	53193839	25,281
100	Terrassement	23468971	11,154
200	Travaux corps de chaussée	77163571	36,673
300	Equipements	41315075	19,635
400	Assainissement	15270200	7,257
Coût du projet (HT)		210 411 656	100

Les détails relatifs au devis estimatif des travaux sont consignés dans la partie annexe (Voir annexe 18).



CONCLUSION GENERALE

La route est un facteur incontournable de civilisation et de développement nécessitant des grands investissements impliquant une démarche scientifique et professionnelle pour sa réalisation afin d'assurer sa pérennité. C'est dans ce même cadre que nous avons travaillé sur les travaux de construction des voies pavées dans la ville de Tillabéri dans le volet de l'étude technique.

L'objectif de ce travail nous a permis de produire une proposition techniquement admissible et financièrement acceptable.

Au terme de cette étude, il ressort que la chaussée sera revêtue avec un pavé de béton de 8 cm d'épaisseur dosé à 350 kg/m³ reposant sur un lit de pose de 5 cm en sable fin, d'une couche de sous-fondation et de fondation de 20 cm d'épaisseur chacune en GLN. Le tout reposant sur une plateforme de classe S4.

Ainsi, les ouvrages hydrauliques dimensionnés concourent à assurer la mise hors d'eau de la chaussée. Il s'agit entre d'un dalot 1 de 3x2x1 et du dalot 2 de 1x2x2 permettant d'évacuer les débits à l'exutoire des bassins versants.

Ensuite, les signalisations verticales et horizontales sont prévues afin de garantir la sécurité des usagers de la voie. Ces signalisations ont été choisies de façon adéquate pour faciliter l'utilisation de la route. Une étude d'impacts environnementale a été prise en compte pour compléter le projet et limiter les dégâts causés par le projet et par suite proposer une mesure d'atténuation.

Enfin, une étude quantitative et estimatif du projet permettra d'estimer le coût global du projet.

Ce dernier s'élève à deux cent trente-quatre millions trois cent quarante-neuf mille trois cent trente un (248 285 754) F CFA TTC.

Toutefois l'aspect entretien sera envisager dans le but de permettre à la route de fonctionner dans des conditions optimales et le long de sa durée de vie.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] CEBTP – LCPC : « Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux », Mai 1985 ;
- [2] CEBTP : « Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux », 1980;
- [3] FAO, Crués 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 ;
- [4] Guide de conception des ouvrages réalisés à partir de pavés, dalles, bordures et caniveaux préfabriqués en béton voirie 2018 BD
- [5] 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 ;
- [6] Thèse présentée à la faculté des études supérieures de l'université Laval dans le cadre du programme de doctorat en génie civil par ALEXA BRESSON ; 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 ;
- [7] 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 ;
- [8] Ministère des transports, « instruction interministérielle sur la signalisation routière », arrêté du 7 juin 1977 ;
- [9] Nguyen VAN TUU, « hydraulique routière » janvier 1979 ;
- [10] SETRA – LCPC : « Conception et dimensionnement des structures de chaussée », décembre 1994.
- [11] SETRA : « Aménagement des routes principales » Août 1994.

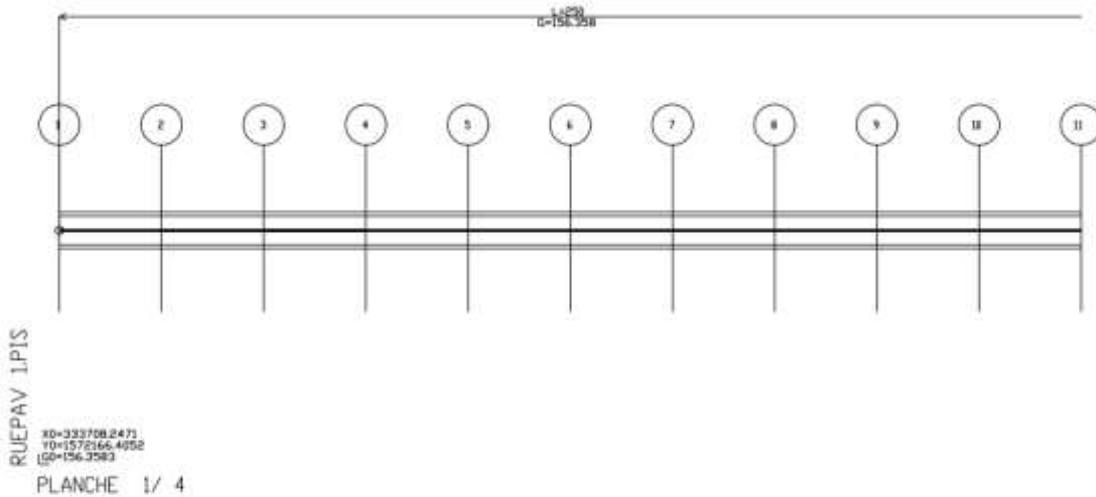
ANNEXES

LISTE DES ANNEXES

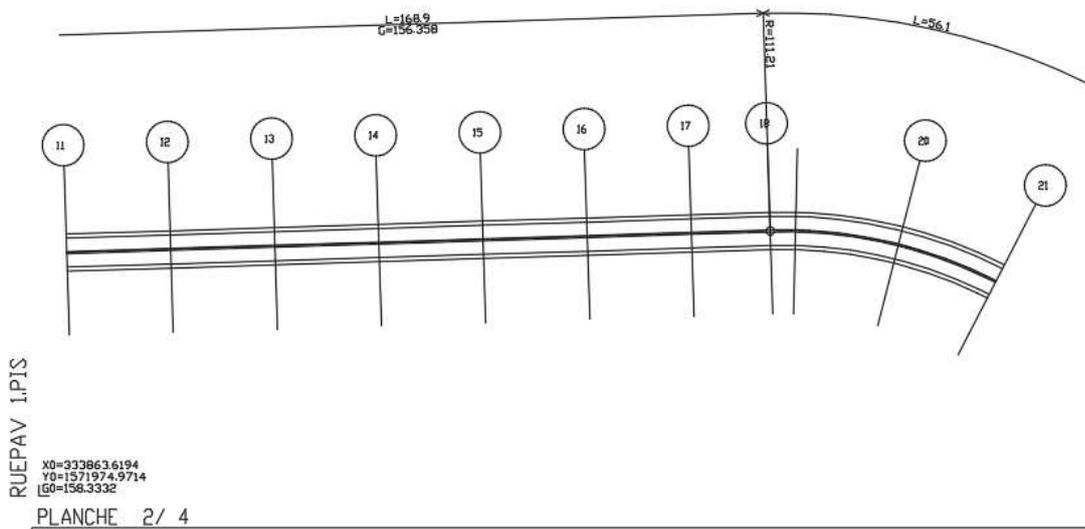
ANNEXE 1 : VUE EN PLAN
ANNEXE 2 : PROFIL EN LONG|.....
ANNEXE 3 : PROFIL EN TRAVERS
ANNEXE 4 : VUE COMBINEE DE LA CHAUSSEE
ANNEXE 5 : RESULTATS DES ESSAIS DE LABORATOIRE ECH1 TRONÇON 1
ANNEXE 6 : RESULTATS DES ESSAIS DE LABORATOIRE ECH2 TRONÇON 1
ANNEXE 7 : RESULTATS DES ESSAIS DE LABORATOIRE ECH2 TRONÇON 1
ANNEXE 8 : INTERVALLES DE CONFIANCE A 95%
ANNEXE 9 : SORTIE LIBRE DALOT RECTANGULAIRE.....
ANNEXE 10 : CALCUL DE LA PENTE CRITIQUE.....
ANNEXE 11 : VITESSE D'ECOULEMENT
ANNEXE 12 : NOTE DE CALCUL DU DALOT1 (3X2X1).....
ANNEXE 13: PLAN D'EXECUTION DU DALOT1
ANNEXE 14 : NOTE DE CALCUL DU DALOT2
ANNEXE 15 : PLAN D'EXECUTION DU DALOT2 (1X2X2)
ANNEXE 16 : FICHE DES SIGNALISATIONS ROUTIERES.....
ANNEXE 17 : FORMULATION DE BETON POUR PAVE.....
ANNEXE 18 : DETAIL DU DEVIS ESTIMATIF DES TRAVAUX.....

Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)

Annexe 1 : vue en plan

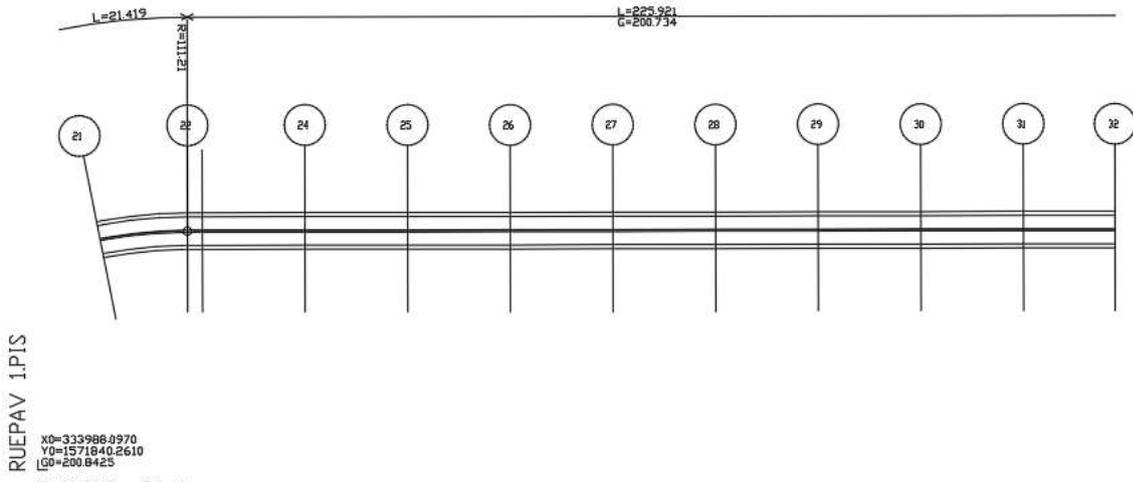


PROJET DE CONSTRUCTION DES VOIES PAVEE DANS LA VILLE DE TILLABERIE		
ETUDE TECNHIQUE DE CONSTRUCTION DE LA VOIE		
	TRACE EN PLAN	Date: 30 / 11 / 2019
	Dessiné par : MOUSSA Y. ALI	E: 1/1000
		



PROJET DE CONSTRUCTION DES VOIES PAVEE DANS LA VILLE DE TILLABERIE		
ETUDE TECNHIQUE DE CONSTRUCTION DE LA VOIE		
	TRACE EN PLAN	Date: 30 / 11 / 2019
	Dessiné par : MOUSSA Y. ALI	E: 1/1000
		

Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)

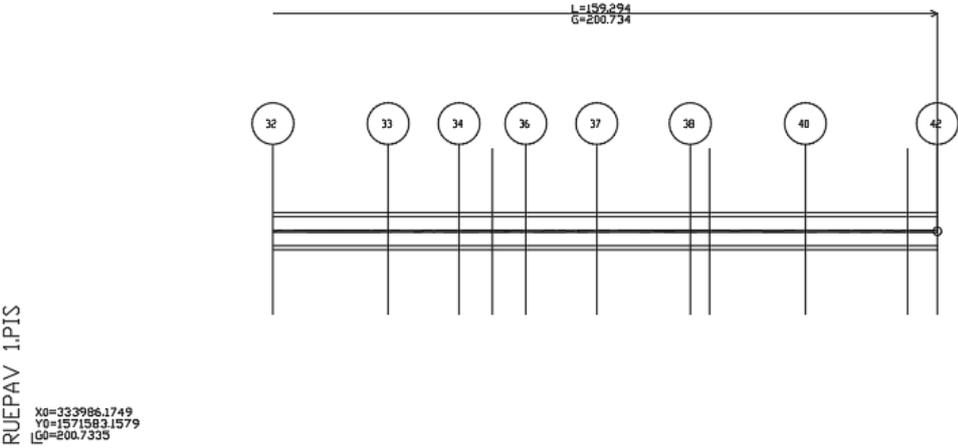


RUEPAV 1.PIS

X0=333986.0970
Y0=1571840.2610
G0=200.8425

PLANCHE 3/ 4

PROJET DE CONSTRUCTION DES VOIES PAVEE DANS LA VILLE DE TILLABERIE		
ETUDE TECNHIQUE DE CONSTRUCTION DE LA VOIE		
	TRACE EN PLAN	Date: 30 / 11 / 2019
	Dessiné par : MOUSSA Y. ALI	E: 1/1000
		



RUEPAV 1.PIS

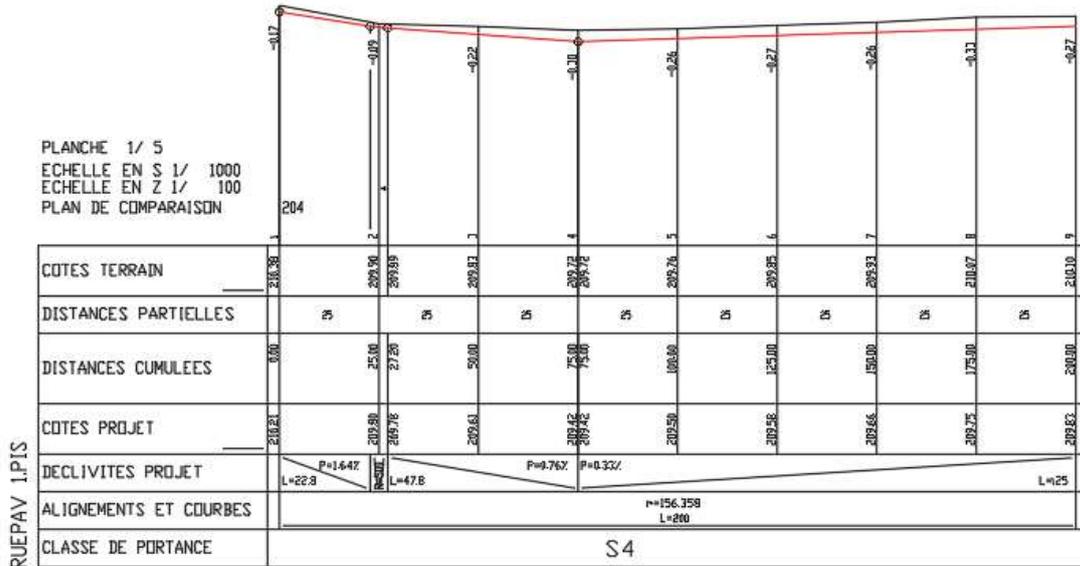
X0=333986.1749
Y0=1571583.1579
G0=200.7335

PLANCHE 4/ 4

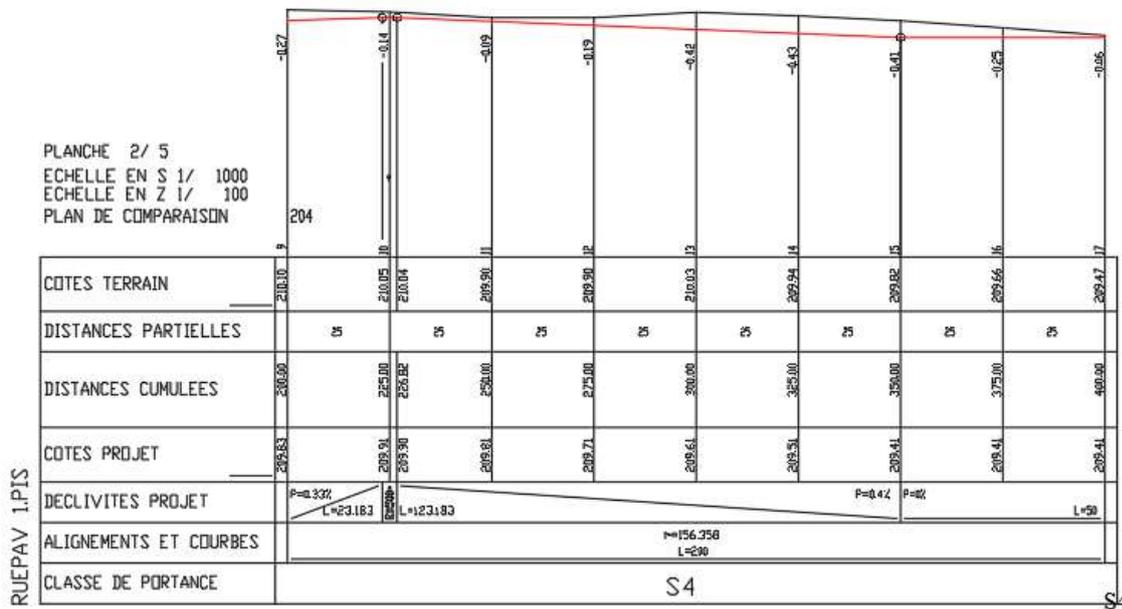
PROJET DE CONSTRUCTION DES VOIES PAVEE DANS LA VILLE DE TILLABERIE		
ETUDE TECNHIQUE DE CONSTRUCTION DE LA VOIE		
	TRACE EN PLAN	Date: 30 / 11 / 2019
	Dessiné par : MOUSSA Y. ALI	E: 1/1000
		

Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)

Annexe 2 : Profil en long

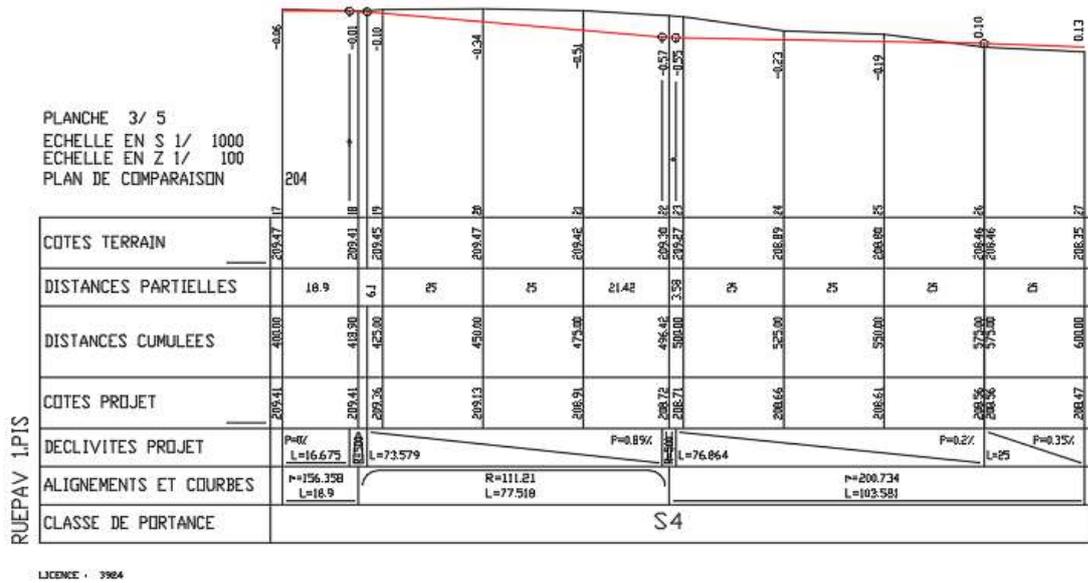


PROJET DE CONSTRUCTION DES VOIES PAVEES DANS LA VILLE DE TILLABERIE		
ETUDE TECNHIQUE DE CONSTRUCTION DE LA VOIE		
	PROFIL EN LONG	Date: 30 / 11 / 2019
	Dessiné par : MOUSSA Y. ALI	E: 1/1000
		



PROJET DE CONSTRUCTION DES VOIES PAVEES DANS LA VILLE DE TILLABERIE		
ETUDE TECNHIQUE DE CONSTRUCTION DE LA VOIE		
	PROFIL EN LONG	Date: 30 / 11 / 2019
	Dessiné par : MOUSSA Y. ALI	E: 1/1000
		

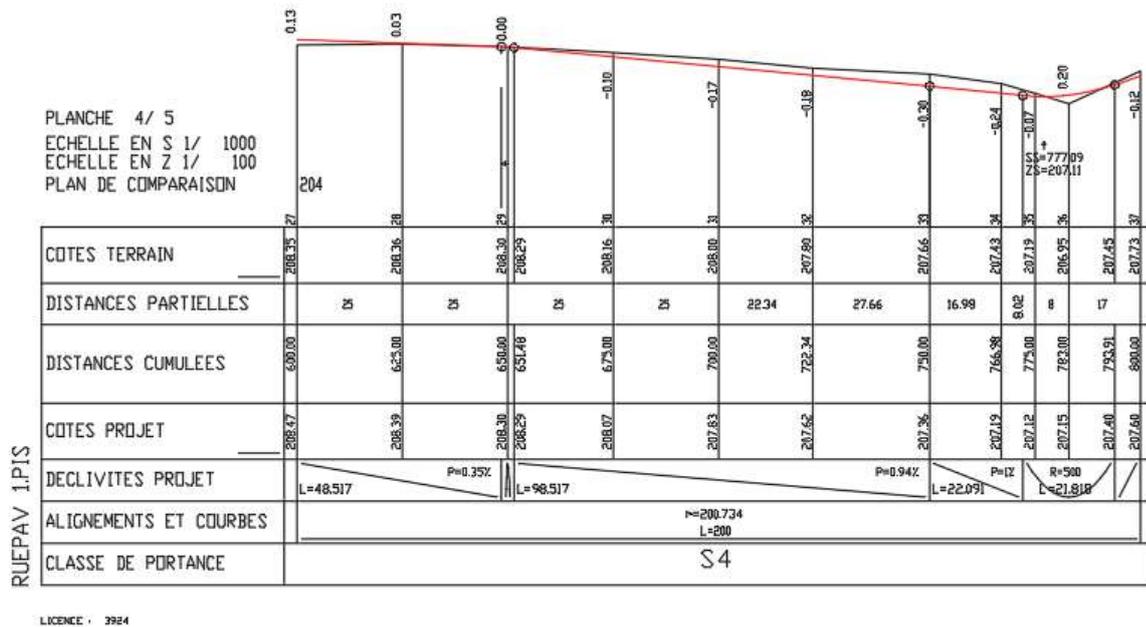
Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)



PROJET DE CONSTRUCTION DES VOIES PAVEES DANS LA VILLE DE TILLABERIE

ETUDE TECNHIQUE DE CONSTRUCTION DE LA VOIE

	PROFIL EN LONG	Date: 30 / 11 / 2019
	Dessiné par : MOUSSA Y. ALI	E: 1/1000

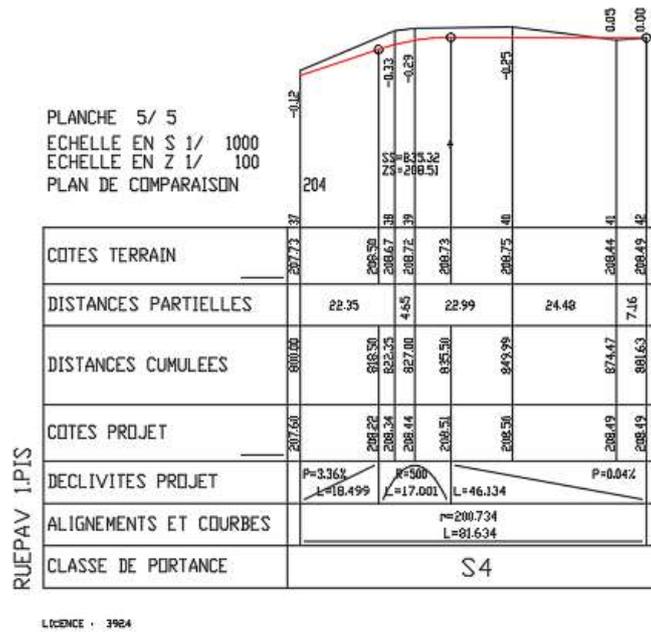


PROJET DE CONSTRUCTION DES VOIES PAVEES DANS LA VILLE DE TILLABERIE

ETUDE TECNHIQUE DE CONSTRUCTION DE LA VOIE

	PROFIL EN LONG	Date: 30 / 11 / 2019
	Dessiné par : MOUSSA Y. ALI	E: 1/1000

Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)



PROJET DE CONSTRUCTION DES VOIES PAVEES DANS LA VILLE DE TILLABERIE		
ETUDE TECNHIQUE DE CONSTRUCTION DE LA VOIE		
	PROFIL EN LONG	Date: 30 / 11 / 2019
	Dessiné par : MOUSSA Y. ALI	E: 1/1000
		

Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)

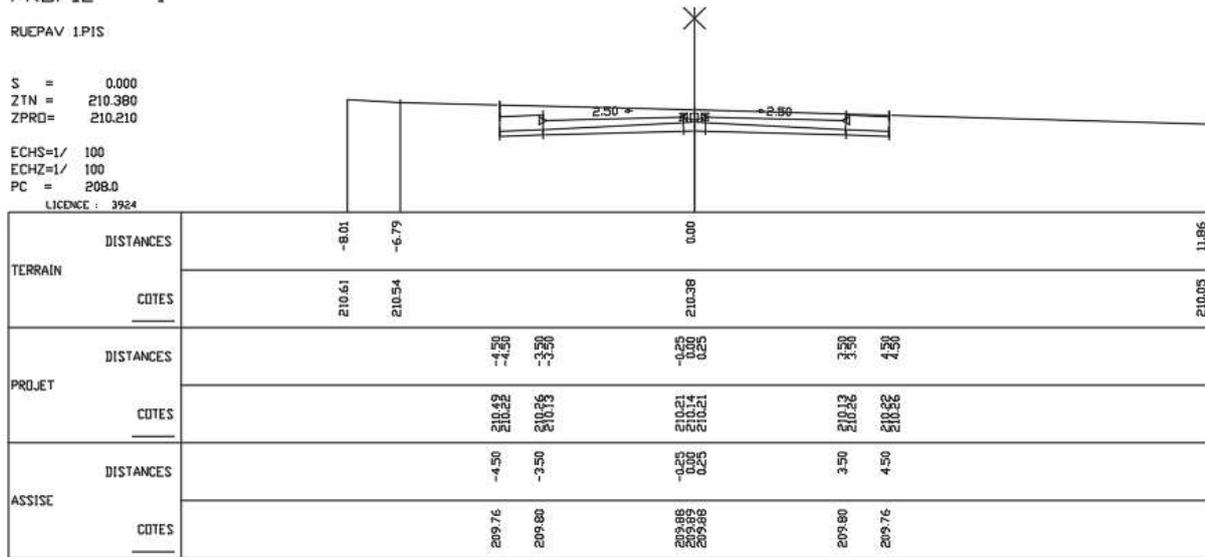
Annexe 3 : Profil en travers type

PROFIL 1

RUEPAV 1P1S

S = 0.000
ZTN = 210.380
ZPRO= 210.210

ECHS=1/ 100
ECHZ=1/ 100
PC = 208.0
LICENCE : 3924



PROJET DE CONSTRUCTION DES VOIES PAVEE DANS LA VILLE DE TILLABERIE

ETUDE TECNHIQUE DE CONSTRUCTION DE LA VOIE



TRACE EN PLAN

Date: 30 / 11 / 2019

Dessiné par : MOUSSA Y. ALI

E: 1/1000

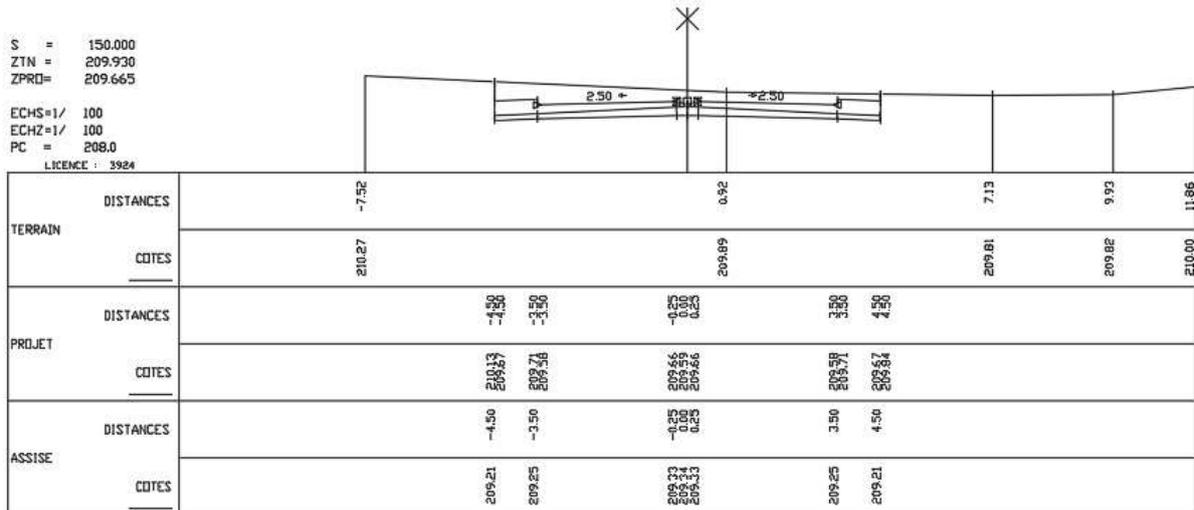


PROFIL 7

RUEPAV 1P1S

S = 150.000
ZTN = 209.930
ZPRO= 209.665

ECHS=1/ 100
ECHZ=1/ 100
PC = 208.0
LICENCE : 3924



PROJET DE CONSTRUCTION DES VOIES PAVEE DANS LA VILLE DE TILLABERIE

ETUDE TECNHIQUE DE CONSTRUCTION DE LA VOIE



TRACE EN PLAN

Date: 30 / 11 / 2019

Dessiné par : MOUSSA Y. ALI

E: 1/1000



Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)

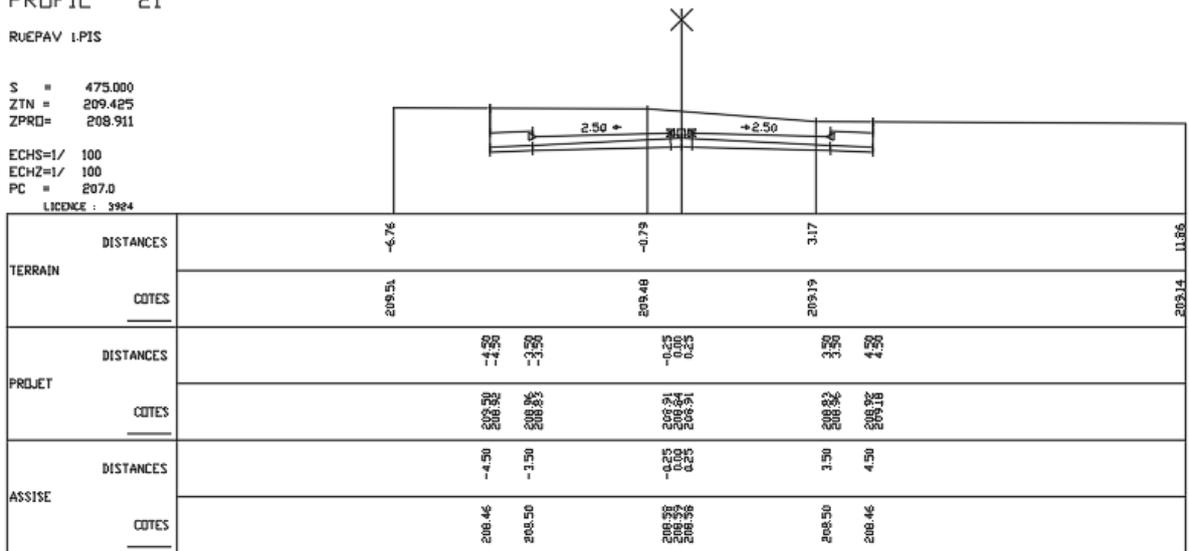
PROFIL 21

RUEPAV 1.P1S

S = 475.000
ZTN = 209.425
ZPRO = 208.911

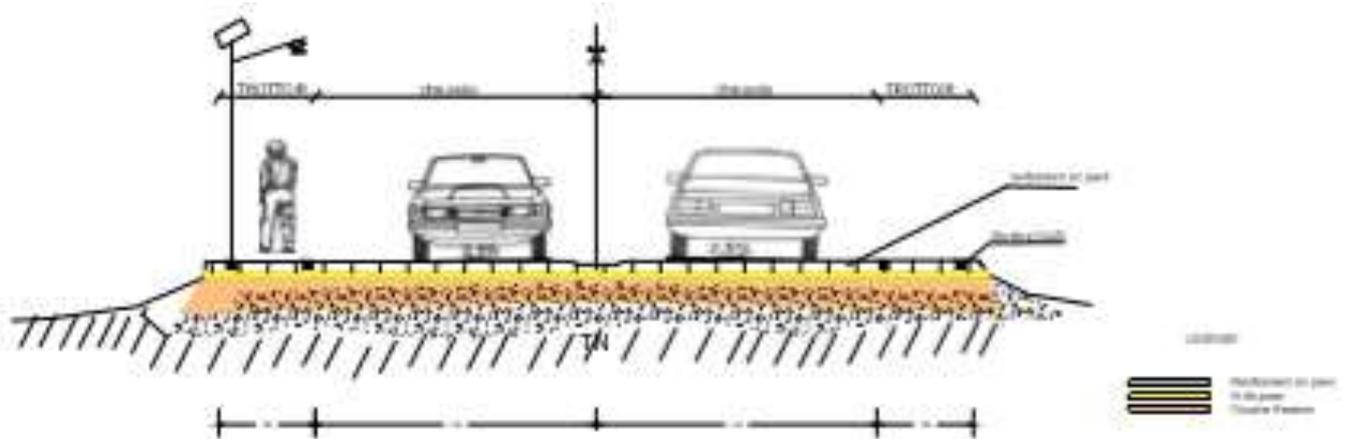
ECHS=1/ 100
ECHZ=1/ 100
PC = 207.0

LICENCE : 3984

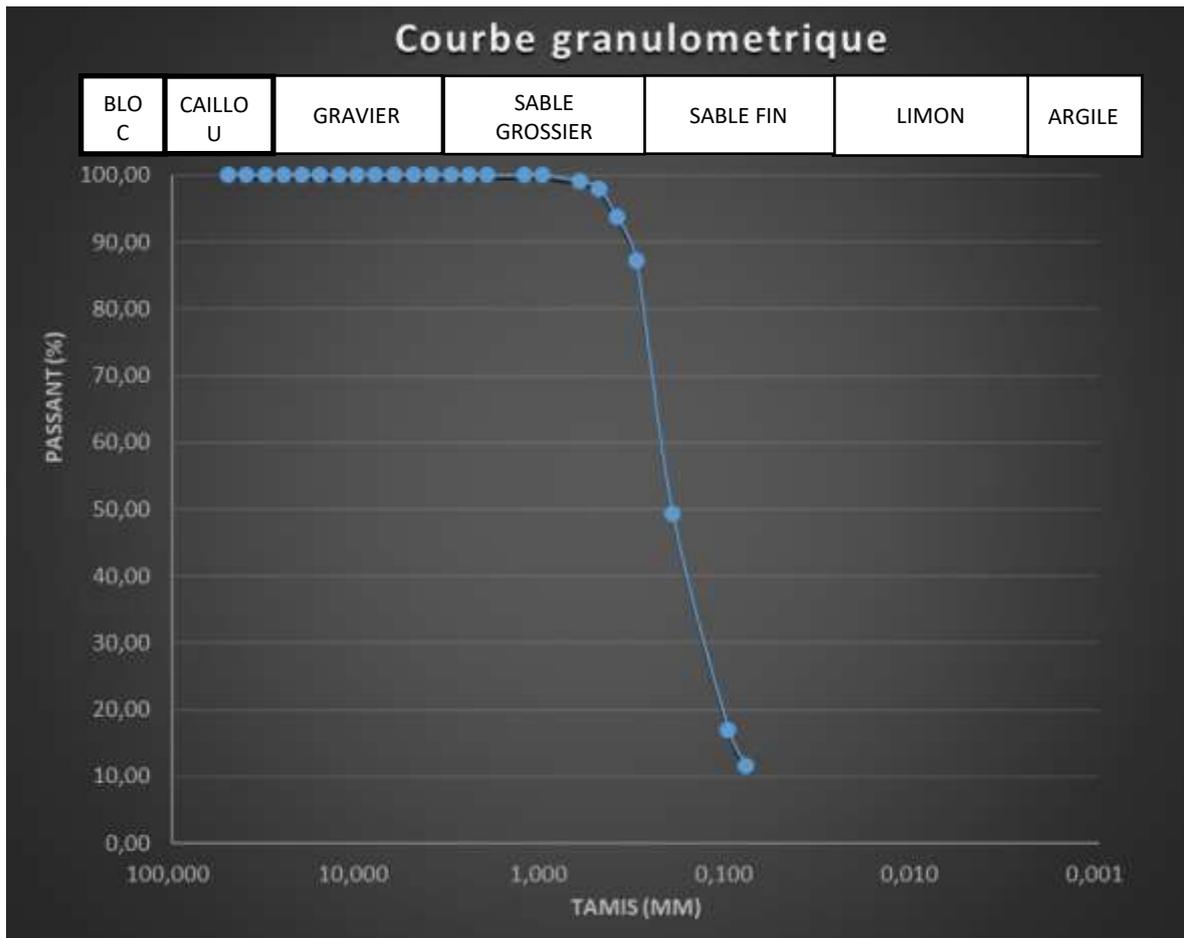


PROJET DE CONSTRUCTION DES VOIES PAVEE DANS LA VILLE DE TILLABERIE

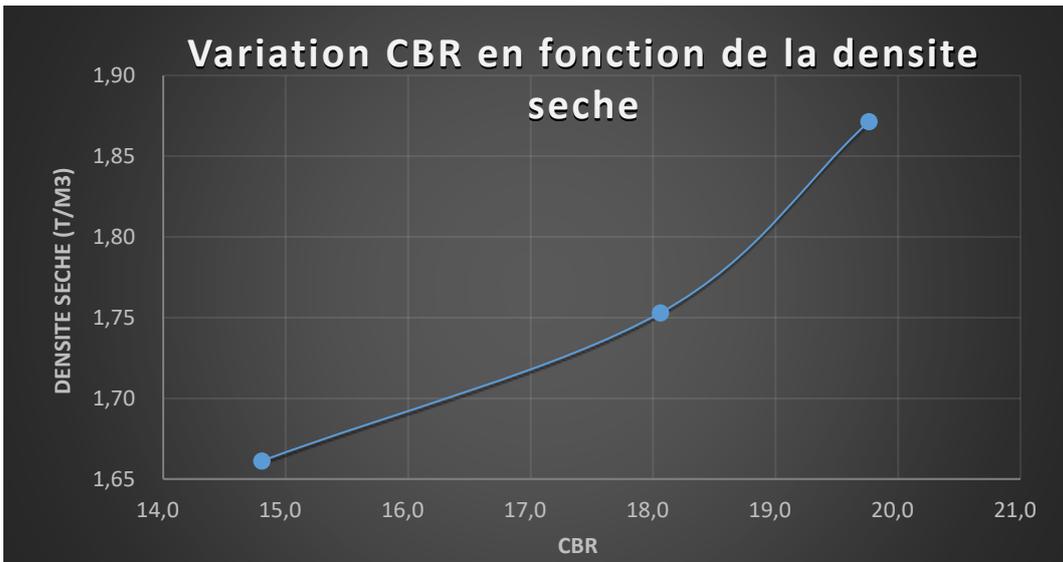
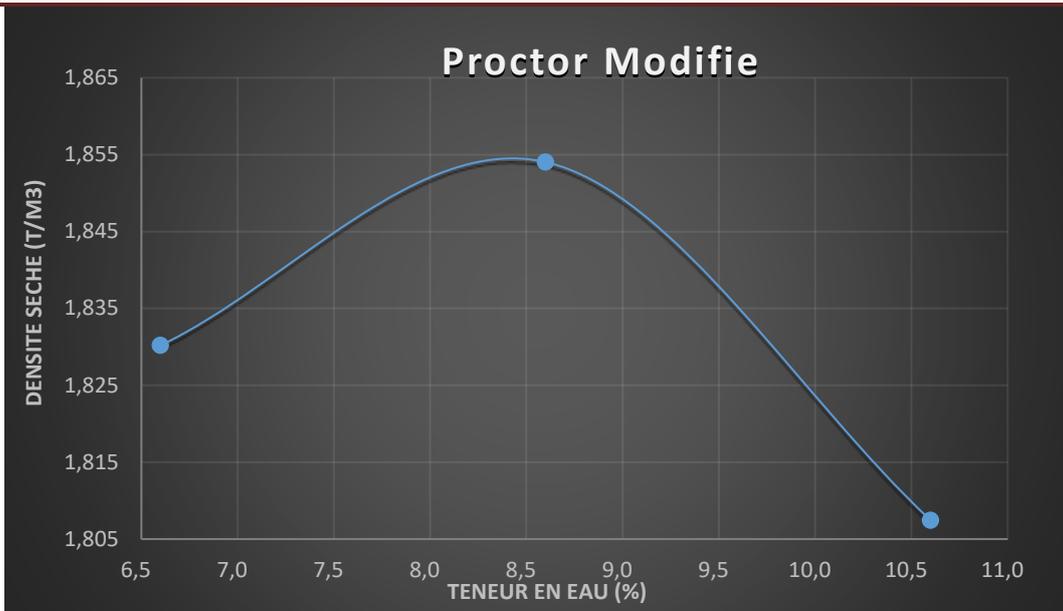
	ETUDE TECHNIQUE DE CONSTRUCTION DE LA VOIE		
	TRACE EN PLAN	Date: 30 / 11 / 2019	
	Dessiné par : MOUSSA Y. ALI	E: 1/1000	

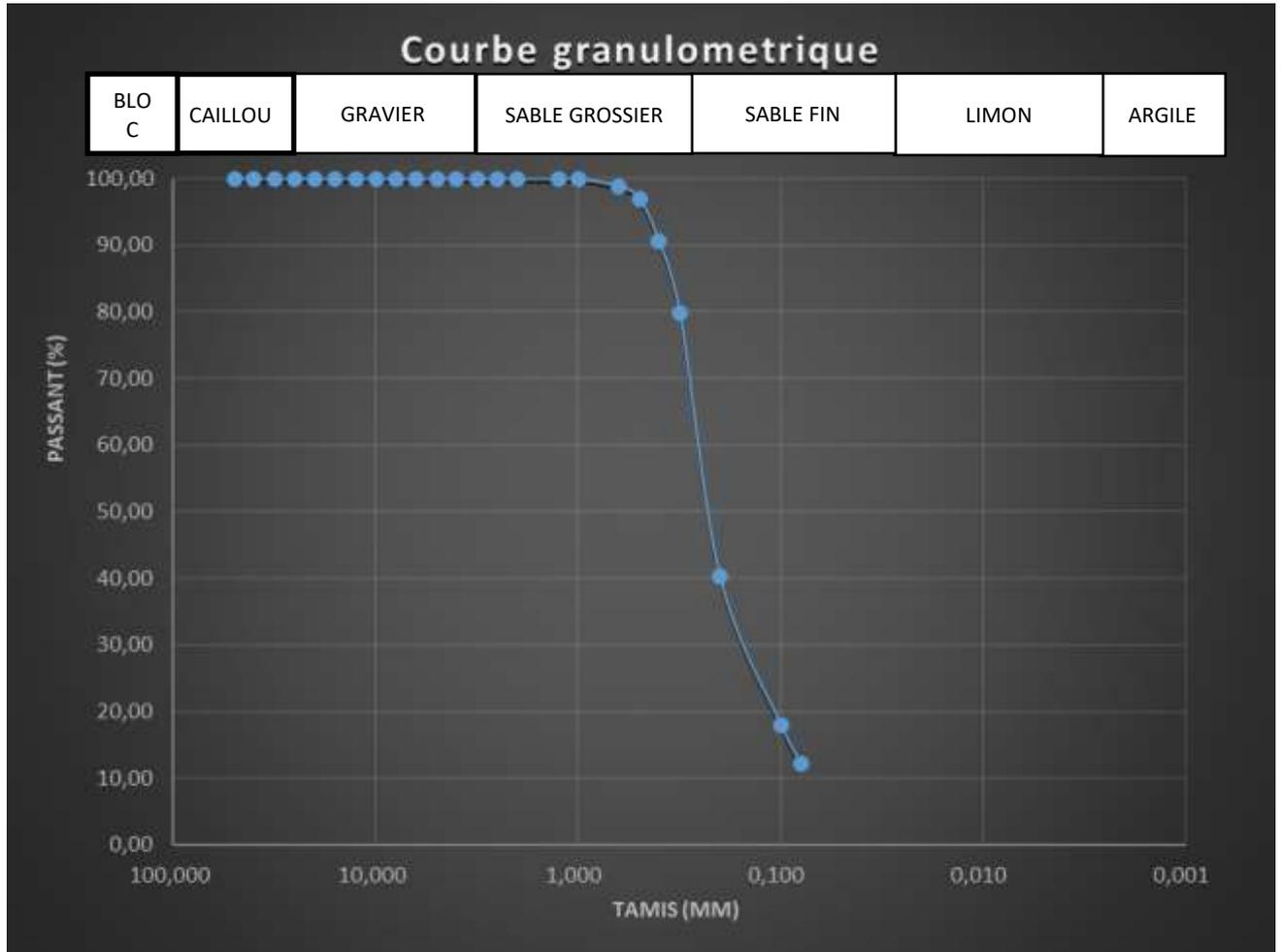


	ETUDES TECHNIQUES DE CONSTRUCTION D'UNE VOIE PAVEE DANS LA VILLE DE TILLABERI (NIGER)		
	Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénierie avec grade de Master		
	Profil en travers type		
	11/01/2019	Realisateur MOUSSA YACOUBA Ali	

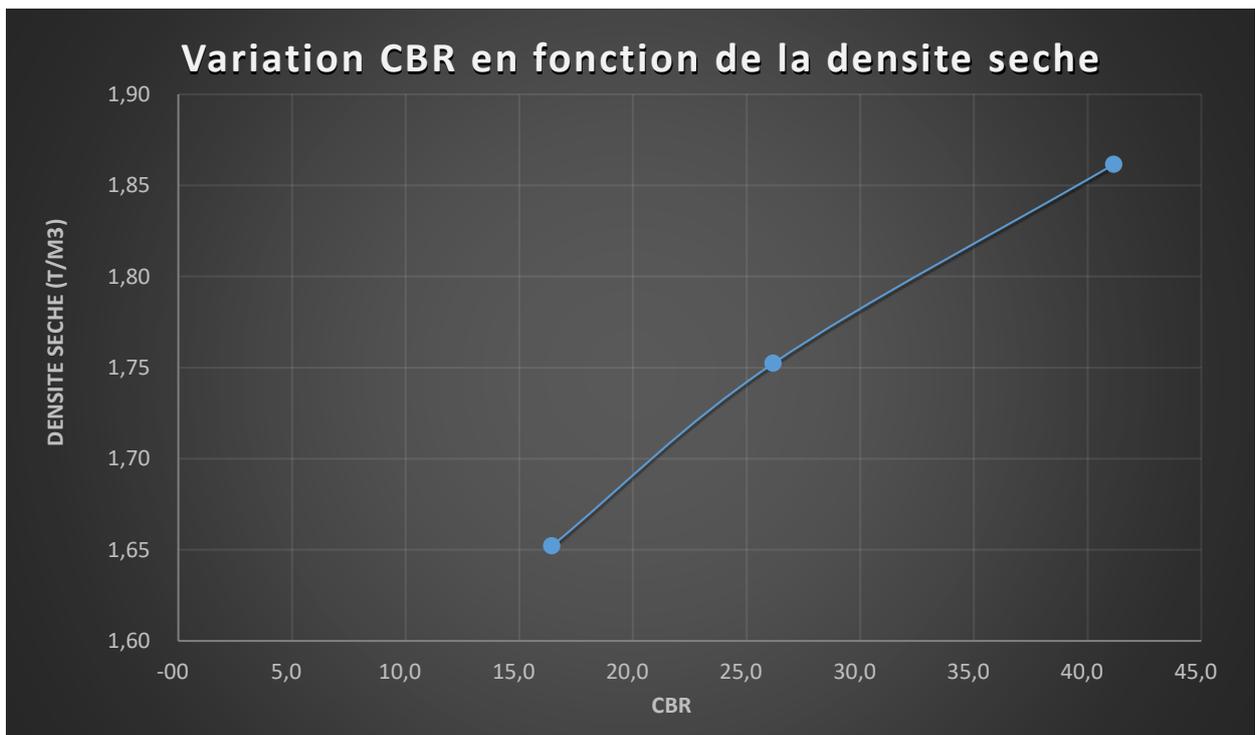
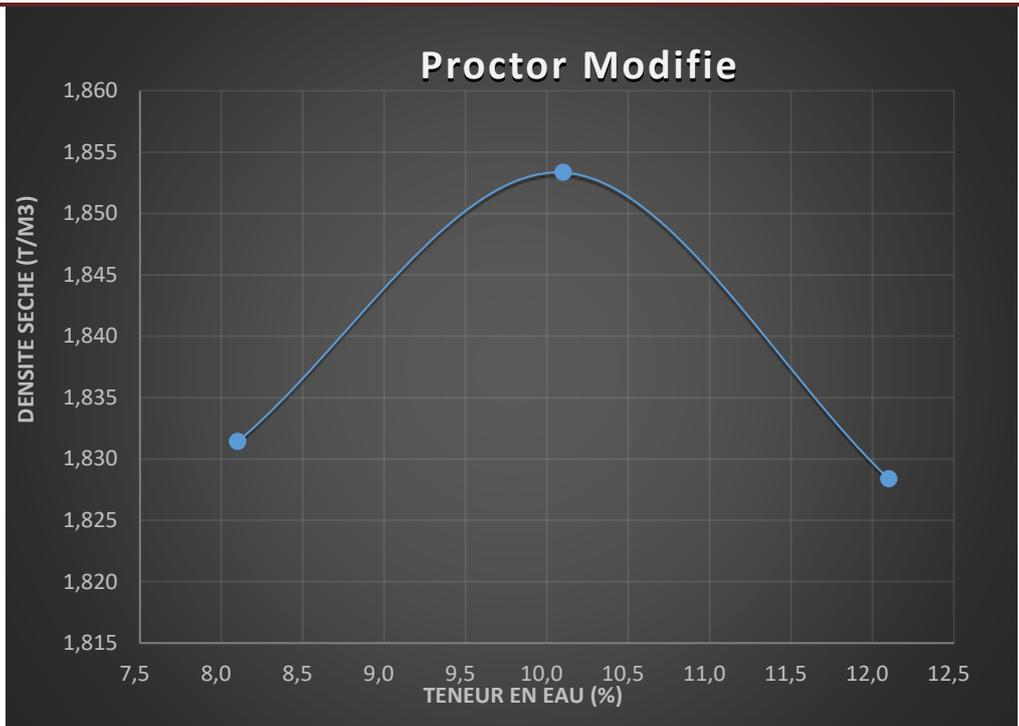


ESSAIS N°	1	2
(h2) hauteur sédiments	7,40	7,40
(h1) hauteur sédiments + floculat	27,7	27,7
Esquivant de sable en %	26,7	26,7
Esquivant de sable moyen en %	26,7	





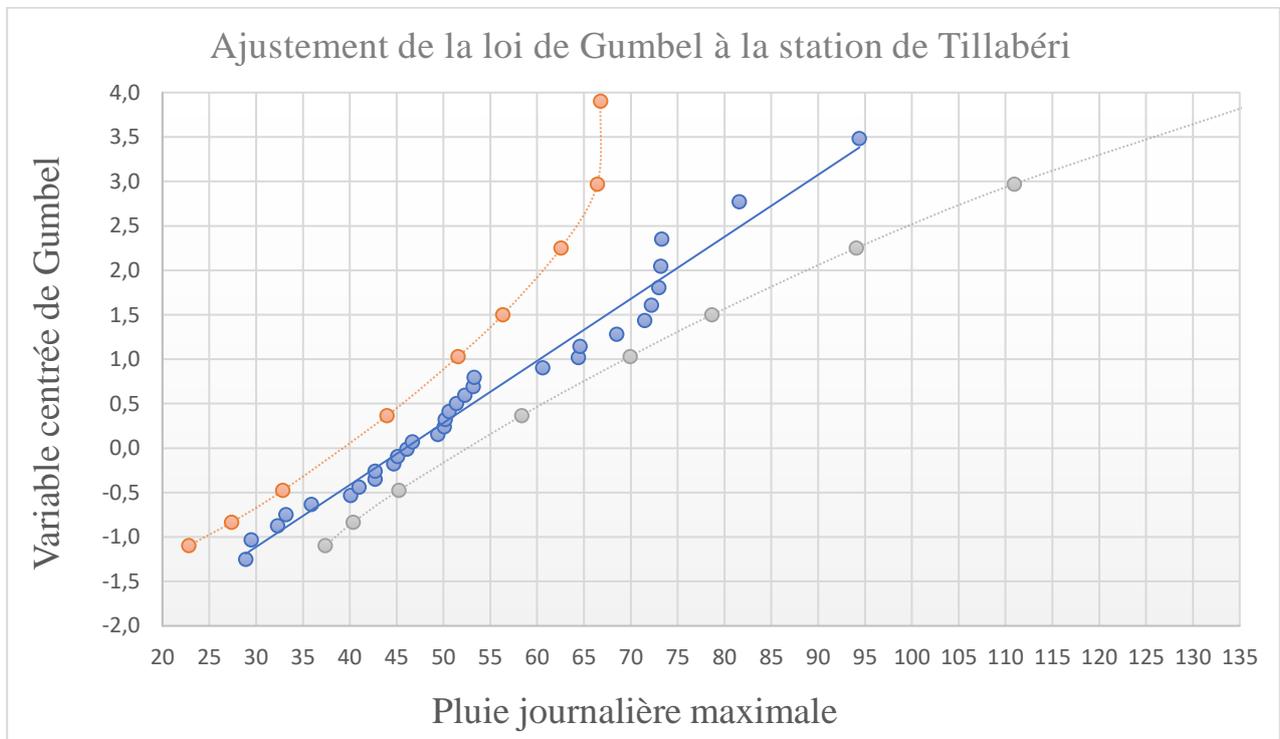
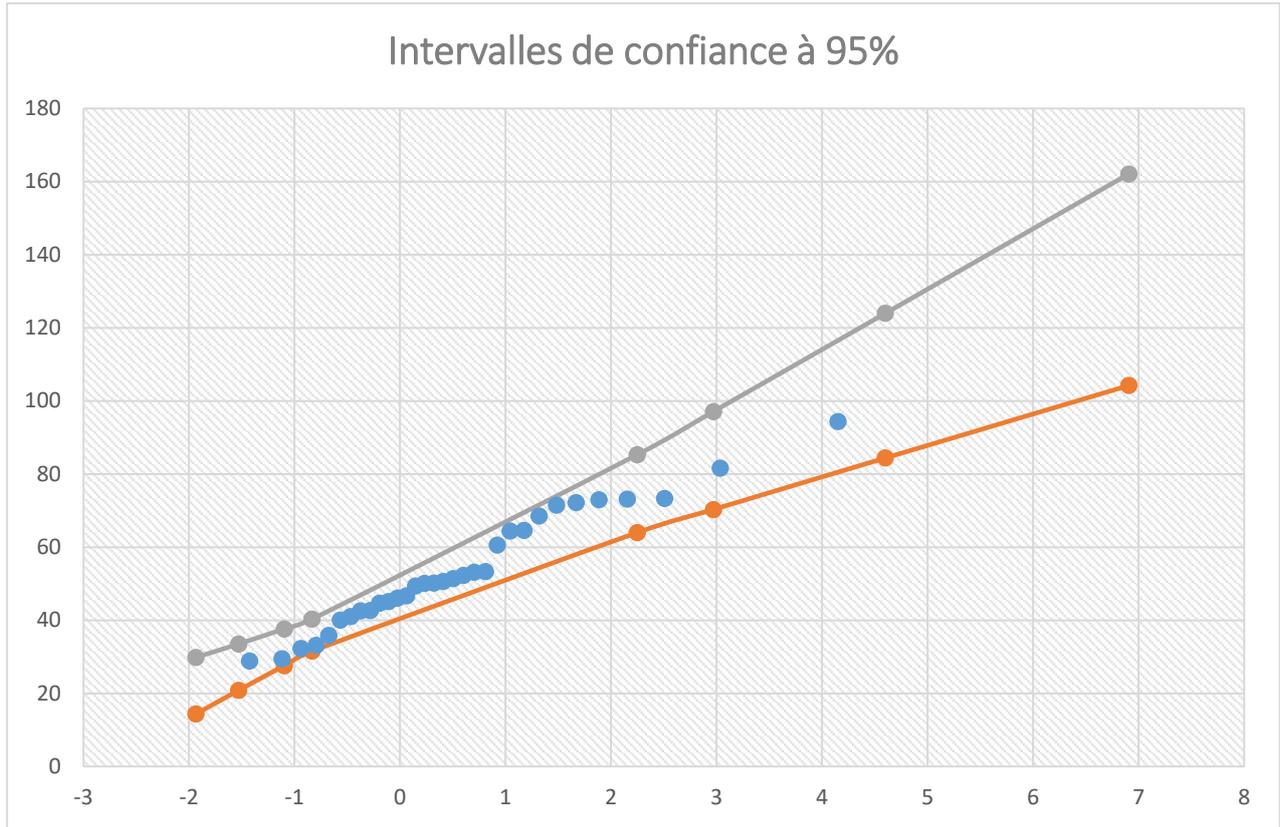
ESSAIS N°	1	2
(h2) hauteur sédiments	6,80	6,80
(h1) hauteur sédiments + flocculat	30,3	30,3
Equivalent de sable en %	22,4	22,4
Equivalent de sable moyen en %	22,4	

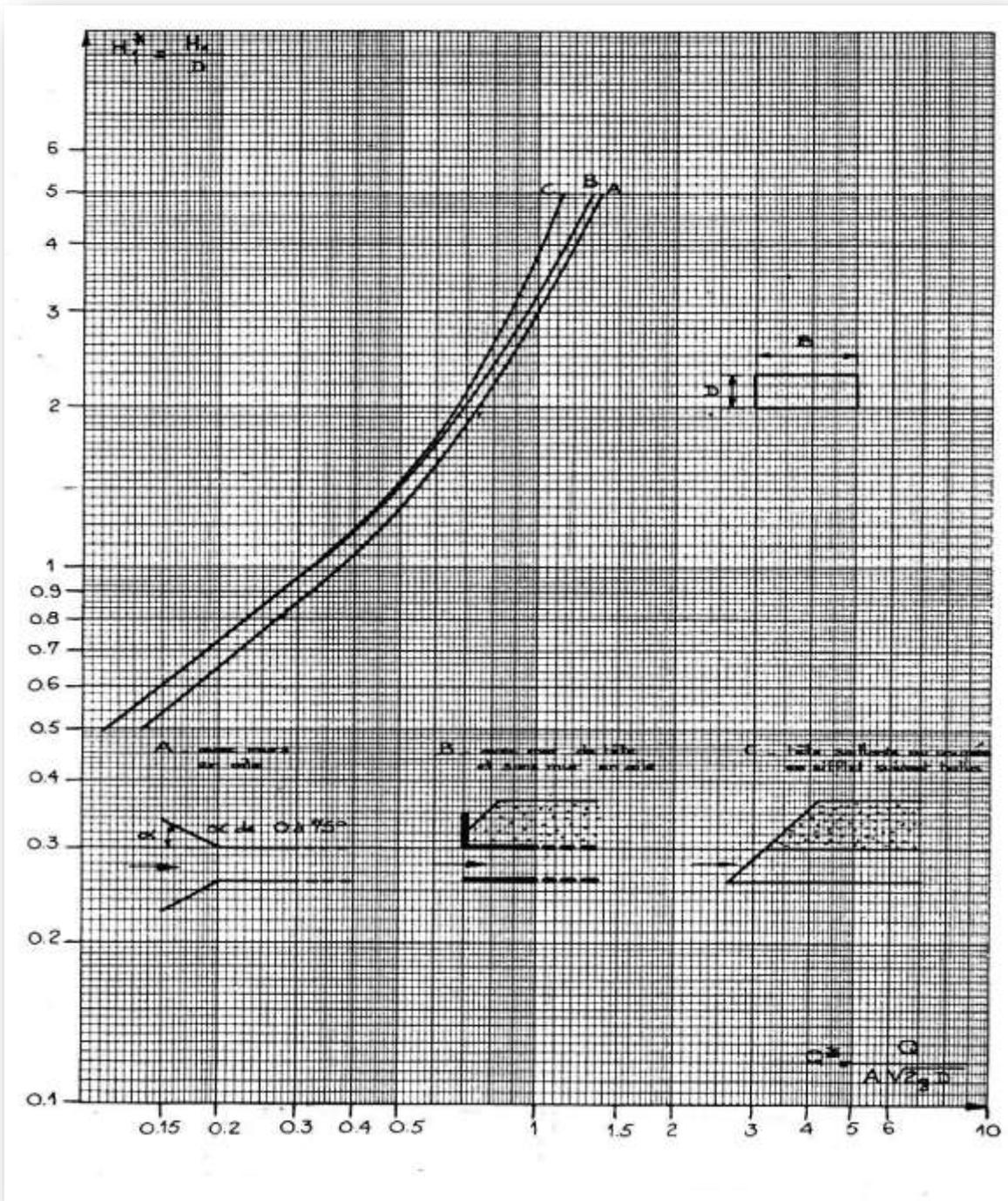


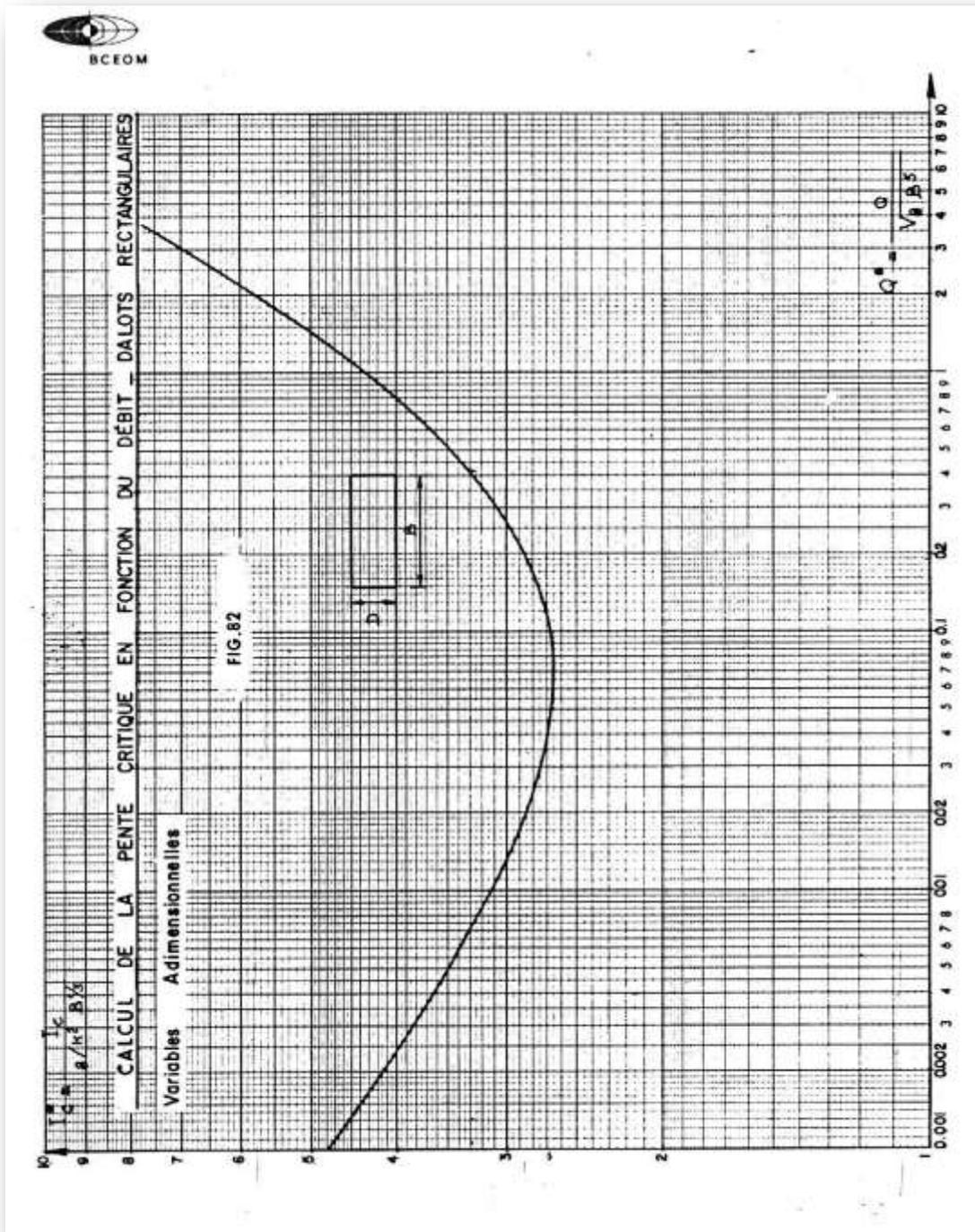
Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)

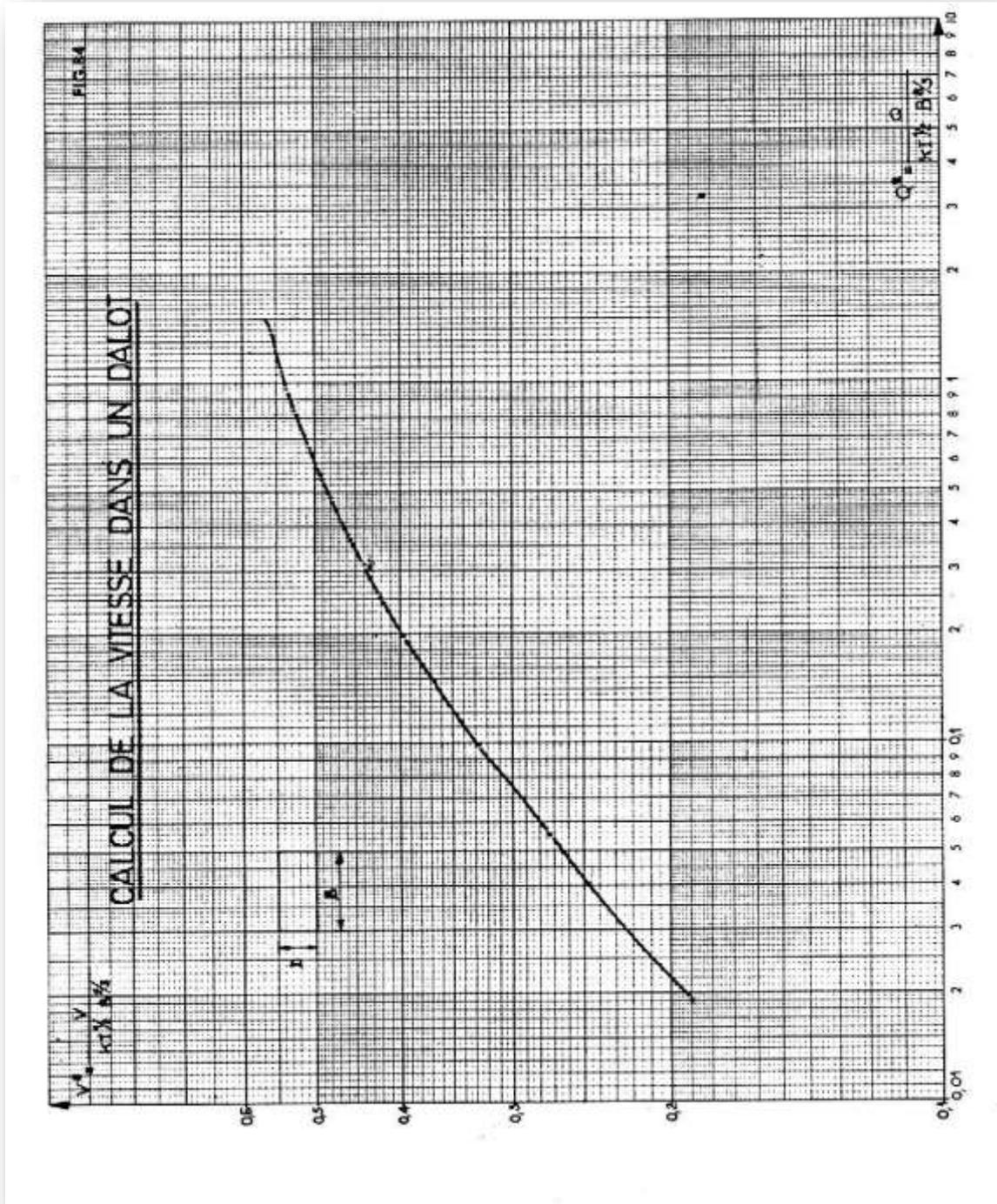
Annexe 7 : Résultats des essais de laboratoire Ech2 Tronçon 1

Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1986	0	0	0	22,1	3,2	32,2	62,7	77	94	0,3	0	0
1987	0	0	0	0	0	28,6	25,7	71,4	93,3	0,2	0	0
1988	0	0	0	8	0,6	44	111	193,6	64,4	0	0	0
1989	0	0	2,6	0	8,5	6,9	72,7	267,6	89,4	0,3	0	0,4
1990	0	0	0	0	27,2	33,5	113,6	154,9	23,9	1,3	0	0
1991	0	0	8,3	0	53,7	80,8	65,9	241,1	15,5	7,8	0	0
1992	0	0	0,8	0,8	32,4	54,1	70,8	161,3	18,2	0,8	0	0
1993	0	0	0	0	0,6	70,3	88,2	151,4	78,2	0	0	0
1994	0	0	0	0,1	6,5	36,2	27,8	187,1	123,2	23,4	0	0
1995	0	0	0	0	18,9	41,5	89,4	241,6	25,4	0	0	0
1996	0	0	0	0	15,5	67	116,8	136,9	48,8	14,5	0	0
1997	0	0	15,6	0	22	54,4	83,1	111,4	35	0,7	0	0
1998	0	0	0	0	26,7	51,2	167,9	88,8	247,5	0	0	0
1999	0	0	0	0	7,6	10,5	143,7	89,9	101,6	0	0	0
2000	0	0	0	0,6	0,1	43,2	199,3	89,9	60,4	0	0	0
2001	0	0	0	0	8,5	62,6	92	127,2	70,6	0	0	0
2002	0	0	0	1,5	2,1	53,6	49	113,6	16,7	0	0	0
2003	0	0	0,5	0,6	22,4	93,8	153,3	197,2	93,3	22,3	0	0
2004	0	0	0	10,3	8,1	24,8	75,2	140	51,6	0	0	0
2005	0	0	0	3,8	21,9	63,3	205,6	250,6	28,8	41,6	0	0
2006	0	0	0	0	23	23,7	134,8	193,8	41,1	0	0	0
2007	0	0	0	1,5	17,7	50,4	229,9	163,2	40,8	0,7	0	0
2008	0	0	0	0	4,9	84,1	77,1	235,9	6,3	12	0	0
2009	0	0	0	0	8,6	72,8	46,6	88,2	23,7	19,9	0	0
2010	0	0	0	0	0,6	127,4	137	128,8	78,5	9,8	0	0
2011	0	0	0	0	0,2	5,9	74,7	152,6	95,9	0,7	0	0
2012	0	9,1	0	5,2	18,8	42,4	207,6	190,3	155,1	12	0	0
2013	0	0	0	2,4	30,6	43,5	74,4	303,8	43,1	12	0	0
2014	0	0,4	0	0	36,7	49,8	176,8	150,6	36,8	28,8	2,8	0
2015	0	0,1	7,6			73,6	163	205,6	65,7	17,1	0	0
2016	0	0	19,6	6	52,3	114,7	111,5	154,9	225,8	3,2	0	0
2017	0	0	0	1,5	51	58,2	94	176,4	25	3,3	0	0









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 avec les modifications de 99.

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 de haute adhérence Fe 400
- Limite d'élasticité garantie Fe = 400 MPa
- Contrainte de calcul de l'acier à l'ELU
- Contrainte de calcul de l'acier à l'ELS
- Enrobage = 3.00 cm.

✚ Béton

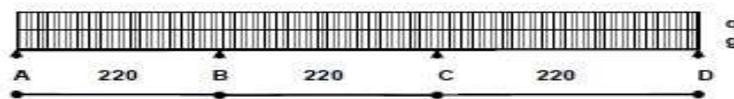
- Poids volumique : 25 kN/m³
- Fissuration préjudiciable
- Résistance nominale à 28j :
 - ✓ A la compression $f_{c28} = 25$ MPa
 - ✓ A la traction $f_{tj} = 0.6 + 0.06f_{c28}$
- Contrainte limite du béton :

✚ Remblai

- Vu la présence de remblai sur le tablier, on considère un poids volumique de 20 kN/m³
- Le coefficient de poussée des terres sera $K_a = 0.33$

1. Evaluation des surcharges et charges routières

Schéma de calcul équivalent :



2.1. Calcul des charges permanentes

➤ Au niveau du tablier

Désignation	Poids volumique (kN/m ³)	Epaisseur (m)	Charges (kN/m ²)
Poids propre du tablier	25	0.2	5
Remblais sur dalot	20	0.2	4
Couche de roulement	24	0.03	0.72
Charges totales du tablier P1			9.72

➤ Au niveau du radier

Le radier reçoit les charges permanentes du tablier P1 et des piédroits.

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

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

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 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)

Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)

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.

$$\mathbf{Lch = Lr - n \times 0.5}$$

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

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

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

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

$$Nv = \text{Entier} \left(\frac{Lch}{3} \right) = 2$$

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

$$\mathbf{Nv = 2 Voies}$$

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

$$V = \frac{Lch}{Nv} = \frac{7}{2} = 3.5 \text{ m}$$

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 égale à 7.00 m.

Soit le tableau récapitulatif des caractéristiques du dalot suivant :

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

Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)

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.

Ce type de système est constitué de trois sous-systèmes à savoir le système Bt ; Br et Bc avec chacun son mode d'application.

➤ Système Bc

Le sous-système Bc se compose de camions de poids individuel égal à 300 kN. Il est constitué d'autant de files de deux camions au maximum que de voies de circulation, il est affecté d'un coefficient de pondération bc (dégressivité transversale) dépendant de la classe du pont.

Les résultats de ce système sont les suivants :

Nbr 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

$$S = 2 \times 120 \times 1.10 \times 2 = 264 \times 2 = 528 \text{ kN}$$

➤ Système Bt

Ce sous-système se compose de deux tandems à deux essieux de quatre roues chacun, le poids de chaque essieu étant de 16 t, et le pont est de classe 1.

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

$$S = S1 \times bt = 2 \times 2 \times 16 \text{ t} = 64 \text{ t} = 640 \text{ kN}$$

➤ 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 0.60×0.30 m.

$$S = 10 \text{ t} = 100 \text{ kN}$$

$$S = \max \{Sbr; Sbt; Sbc\} = \max \{528; 640; 100\} = 640 \text{ kN.}$$

Pour la suite, nous retenons la valeur de surcharge ql = 640 kN.

➤ Au niveau du tablier

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

Coefficient de majoration dynamique :

$$\text{Avec : } \delta = 1 + \frac{0.04}{1+0.2L} + \frac{0.60}{1+4\frac{L}{S}}$$

- L : longueur de la travée étudiée, $L = 2 \text{ m}$
- G : Poids total de ladite travée, $G = P1 \times L = 9.72 \times 2 = 19.44 \text{ kN}$
- S : Poids total maximal des essieux du Système Bt, $S = S = 58.18 \times 2 = 116.36 \text{ kN}$

$$\delta = 1.65$$

D'où une surcharge uniformément répartie :

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

➤ Au niveau de radier :

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

Coefficient de majoration dynamique :

$$\text{Avec : } \delta = 1 + \frac{0.04}{1+0.2L} + \frac{0.60}{1+4\frac{G}{S}}$$

- L : longueur de la travée étudiée, $L = 2 \text{ m}$
- G : Poids total de ladite travée, $G = P1 \times L = 17.662 \times 2 = 35.32 \text{ kN}$
- S : Poids total maximal des essieux du Système Bt, $S = 18.82 \times 2 = 37.64 \text{ kN}$

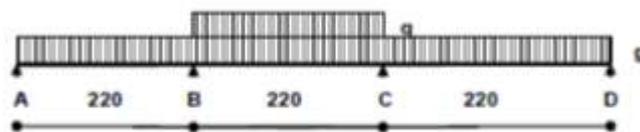
$$\delta = 1.41$$

D'où une surcharge uniformément répartie :

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

2. 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.



2.1 Au niveau du tablier

2.1.1. Sous charges permanentes

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

Moment à mi-travée A-B, B-C, C-D

$$M (A-B) = M (C-D) = 0.08 \times g \times l^2 = 0.08 \times 9.72 \times 2.20^2 = 3.76 \text{ kN.m/ml}$$

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

Moment sur appuis B et C

$$M (B) = M (C) = - 0.100 \times g \times l^2 = - 0.100 \times 9.72 \times 2.20^2 = - 4.70 \text{ kN.m/ml}$$

Réactions d'appuis

$$R (A) = R (D) = 0.4 \times g \times l = 0.4 \times 9.72 \times 2.20 = 8.55 \text{ kN}$$

$$R (B) = R (C) = 1.1 \times g \times l = 1.1 \times 9.72 \times 2.20 = 23.52 \text{ kN}$$

2.1.2. Sous surcharges routières

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

Moment à mi-travée A-B, B-C, C-D

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

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

Moment sur appuis B et C

$$M (B) = M (C) = - q \times l^2 / 8.6 = - 95.99 \times 2.20^2 / 8.6 = - 54.02 \text{ kN.m/ml}$$

Réactions d'appuis

$$R (A) = R (D) = 0.45 \times q \times l = 0.45 \times 95.99 \times 2.20 = 95.03 \text{ kN}$$

$$R (B) = R (C) = 1.2 \times q \times l = 1.2 \times 95.99 \times 2.20 = 253.41 \text{ kN}$$

2.2. Au niveau du radier

2.2.1. Sous charges permanentes

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

Moment à mi-travée A-B, B-C, C-D

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

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

Moment sur appuis B et C

$$M (B) = M (C) = - 0.100 \times g \times l^2 = - 0.100 \times 17.66 \times 2.20^2 = - 8.55 \text{ kN.m/ml}$$

Réactions d'appuis

$$R (A) = R (D) = 0.4 \times g \times l = 0.4 \times 17.66 \times 2.20 = 15.54 \text{ kN}$$

$$R (B) = R (C) = 1.1 \times g \times l = 1.1 \times 17.66 \times 2.20 = 42.73 \text{ kN}$$

2.2.2. Sous charges routières

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

Moment à mi-travée A-B, B-C, C-D

$$M (A-B) = M (C-D) = 0.100 \times q \times l^2 = 0.100 \times 26.54 \times 2.20^2 / 12.50 = 12.85 \text{ kN.m/ml}$$

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

Moment sur appuis B et C

$$M (B) = M (C) = - q \times l^2 / 8.6 = - 26.54 \times 2.20^2 / 8.6 = - 14.94 \text{ kN.m/ml}$$

Réactions d'appuis

$$R (A) = R (D) = 0.45 \times q \times l = 0.45 \times 26.54 \times 2.20 = 26.27 \text{ kN}$$

$$R (B) = R (C) = 1.2 \times q \times l = 1.2 \times 26.54 \times 2.20 = 70.07 \text{ kN}$$

2.3. Au niveau des piédroits centraux B et C

2.3.1. Sous charges routières

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

2.3.2. Sous surcharges routières

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

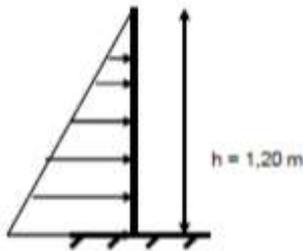
2.4. Au niveau des piédroits extérieurs A et D

2.4.1. Sous charges routières

Effort Normal

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

Moment dû à la poussée des terres



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

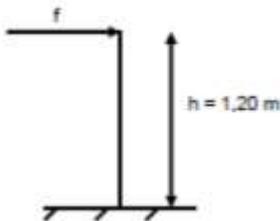
2.4.2. Sous surcharges routières

Effort Normal

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

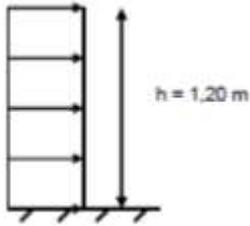
Moment dû à la force de freinage

On répartit l'effort $F = 58.18 \text{ kN}$ (calculé précédemment) sur les deux piédroits extérieurs 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 ($\sigma = 10 \text{ kN m}^2 / \text{m}$)



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

3. Calcul des armatures

3.1. Calcul des armatures du tablier

Données de calcul : $b = 2.00$; $h = 0.20 \text{ m}$; $d = 0.9h = 0.18 \text{ m}$; $d' = 0.1h = 0.02 \text{ m}$; $f_{bu} = 14.17 \text{ MPa}$; $f_{su} = 347.83 \text{ MPa}$

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

✓ *A'ELU*

$$M_u = 1.35 \times 3.76 + 1.6 \times 46.46$$

$$M_u = 79.41 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment réduit du béton

$$\mu_u = \frac{M_u \times 10^{-3}}{b_0 \times d_1^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{79.41 \times 10^{-3}}{1 \times 0.18^2 \times 14.17}$$

$$\mu_u = 0.086$$

$\mu_u < \mu_s$ Il n'y a donc pas de présence d'acier comprimé

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

$$\alpha_u = 0.113$$

- Bras du levier

$$Z_u = d_1(1 - 0.4 \times \alpha_u) = 0.18 \times (1 - 0.4 \times 0.113)$$

$$Z_u = 0.172$$

- Calcul des aciers tendus

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s} = \frac{79.41 \times 10^{-3}}{0.172 \times 347.83}$$

$$A_{st} = 13.29 \text{ cm}^2$$

✓ *A'ELS*

$$M_{ser} = 3.76 + 1.2 \times 46.46$$

$$M_{ser} = 59.51 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment résistant

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

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

$$\bar{\alpha}_{ser} = 0.53$$

$$M_{serb} = \frac{2 \times 0,18^2}{2} \times 15 \times 0,53 \times \left(1 - \frac{0,53}{3}\right)$$

$$M_{serb} = 212 \text{ kN.m} > M_{ser} \text{ il n'ya donc pas d'aciers comprimés}$$

- Section d'aciers principaux

$$A_{pr} = \frac{M_{ser}}{d \times \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{st}} = \frac{59.51 \times 10^{-3}}{0,18 \times \left(1 - \frac{0,53}{3}\right) \times 200}$$

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

- Section d'aciers de répartition

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4} = \frac{20.08}{4}$$

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

Condition de non fragilité :

$$A_{min} = \frac{0.23 \times b \times d \times Ft28}{Fe} = \frac{0.23 \times 2.1 \times 2 \times 0.18}{400}$$

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

Nous retiendrons alors

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

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

3.1.2. Calcul des aciers Travée B-C (lit inférieur)

✓ **A I'ELU**

$$M_u = 1.35 \times 1.18 + 1.6 \times 34.93$$

$$M_u = 57.48 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment réduit du béton

$$\mu_u = \frac{M_u \times 10^{-3}}{b_0 \times d_1^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{57.48 \times 10^{-3}}{1 \times 0.18^2 \times 14.17}$$

$$\mu_u = 0.0626$$

$\mu_u < \mu_s$ Il n'y a donc pas de présence d'acier comprimé

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

$$\alpha_u = 0.0808$$

- Bras du levier

$$Z_u = d_1(1 - 0.4 \times \alpha_u) = 0.18 \times (1 - 0.4 \times 0.0808)$$

$$Z_u = 0.174$$

- Calcul des aciers tendus

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s} = \frac{57.48 \times 10^{-3}}{0.174 \times 347.83}$$

$$A_{st} = 9.49 \text{ cm}^2$$

✓ A I'ELS

$$M_{ser} = 1.18 + 1.2 \times 34.93$$

$$M_{ser} = 43.1 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment résistant

$$M_{serb} = \frac{b \times d^2}{2} \times \bar{\sigma}_{bc} \times \bar{\alpha}_{ser} \times (1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3})$$

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

$$\bar{\alpha}_{ser} = 0,53$$

$$M_{serb} = \frac{2 \times 0,18^2}{2} \times 15 \times 0,53 \times (1 - \frac{0,53}{3})$$

$$M_{serb} = 212 \text{ kN.m} > M_{ser} \text{ il n'ya donc pas d'aciers comprimés}$$

- Section d'aciers principaux

$$A_{pr} = \frac{M_{ser}}{d \times (1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}) \times \bar{\sigma}_{st}} = \frac{43.1 \times 10^{-3}}{0,18 \times (1 - \frac{0,53}{3}) \times 200}$$

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

- Section d'aciers de répartition

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4} = \frac{14.54}{4}$$

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

Condition de non fragilité :

$$A_{min} = \frac{0.23 \times b \times d \times Ft28}{Fe} = \frac{0.23 \times 2.1 \times 2 \times 0,18}{400}$$
$$A_{min} = 4.35 \text{ cm}^2$$

Nous retiendrons alors : **$A_{pr} = 14.54 \text{ cm}^2$** et **$A_{rep} = 4.35 \text{ cm}^2$**

3.1.3. Calcul des aciers sur appui B et C (lit supérieur)

✓ **A'ELU**

$$M_u = 1.35 \times 4.7 + 1.6 \times 54.02$$

$$M_u = 92.78 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment réduit du béton

$$\mu_u = \frac{M_u \times 10^{-3}}{b_0 \times d_1^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{92.78 \times 10^{-3}}{1 \times 0.18^2 \times 14.17}$$

$$\mu_u = 0.101$$

$\mu_u < \mu_s$ Il n'y a donc pas de présence d'acier comprimé

$$\alpha_u = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1.25(1 - \sqrt{1 - (2 \times 0,101)})$$

$$\alpha_u = 0.133$$

- Bras du levier

$$Z_u = d_1(1 - 0.4 \times \alpha_u) = 0.18 \times (1 - 0.4 \times 0.133)$$

$$Z_u = 0.170$$

- Calcul des aciers tendus

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s} = \frac{92.78 \times 10^{-3}}{0.170 \times 347.83}$$

$$A_{st} = 15.65 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité

$$A_{min} = \frac{0.23 \times b \times d \times Ft28}{Fe} = \frac{0.23 \times 2.1 \times 2 \times 0,18}{400}$$

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

Nous retiendrons alors **$A_{st} = 15.65 \text{ cm}^2$**

✓ **A'ELS**

$$M_{ser} = 4.7 + 1.2 \times 54.02$$

$$M_{ser} = 69.254 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment résistant

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

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

$$\bar{\alpha}_{ser} = 0.53$$

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

$M_{serb} = 212 \text{ kN.m} > M_{ser}$ il n'ya donc pas d'aciers comprimés

- Section d'aciers principaux

$$A_{pr} = \frac{M_{ser}}{d \times \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{st}} = \frac{69.254 \times 10^{-3}}{0.18 \times \left(1 - \frac{0.53}{3}\right) \times 200}$$

$$A_{pr} = 23.46 \text{ cm}^2$$

- Section d'aciers de répartition

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4} = \frac{23.46}{4}$$

$$A_{rep} = 5.86 \text{ cm}^2$$

Nous retiendrons alors : $A_{pr} = 23.46 \text{ cm}^2$ et $A_{rep} = 5.86 \text{ cm}^2$

3.2.Calcul des armatures du radier

3.2.1. Travées A-B et C-D (lit supérieur)

✓ **A'ELU**

$$M_u = 1.35 \times 6.81 + 1.6 \times 12.85$$

$$M_u = 29.75 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment réduit du béton

$$\mu_u = \frac{M_u \times 10^{-3}}{b_0 \times d_1^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{29.75 \times 10^{-3}}{1 \times 0.18^2 \times 14.17}$$

$$\mu_u = 0.0324$$

$\mu_u < \mu_s$ Il n'y a donc pas de présence d'acier comprimé

$$\alpha_u = 1.25 \left(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}\right) = 1.25 \left(1 - \sqrt{1 - (2 \times 0.0324)}\right)$$

$$\alpha_u = 0.04$$

- Bras du levier

$$Z_u = d_1(1 - 0.4 \times \alpha_u) = 0.18 \times (1 - 0.4 \times 0.04)$$

$$Z_u = 0.177$$

- Calcul des aciers tendus

$$A_{st} = \frac{Mu}{Z_u \times \sigma_s} = \frac{29.75 \times 10^{-3}}{0.177 \times 347.83}$$
$$A_{st} = 4.83 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité

$$A_{min} = \frac{0.23 \times b \times d \times Ft28}{Fe} = \frac{0.23 \times 2.1 \times 0,18 \times 2}{400}$$
$$A_{min} = 4.35 \text{ cm}^2$$

A'ELS

$$M_{ser} = 6.81 + 1.2 \times 12.85$$

$$M_{ser} = 22.23 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment résistant

$$M_{serb} = \frac{b \times d^2}{2} \times \bar{\sigma}_{bc} \times \bar{\alpha}_{ser} \times \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right)$$
$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \bar{\sigma}_{bc}}{n \times \bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 200}$$
$$\bar{\alpha}_{ser} = 0.53$$

$$M_{serb} = \frac{2 \times 0,18^2}{2} \times 15 \times 0.53 \times \left(1 - \frac{0.53}{3}\right)$$

$M_{serb} = 212 \text{ kN.m} > M_{ser}$ il n'ya donc pas d'aciers comprimés

- Section d'aciers principaux

$$A_{pr} = \frac{M_{ser}}{d \times \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{st}} = \frac{22.23 \times 10^{-3}}{0,18 \times \left(1 - \frac{0.53}{3}\right) \times 200}$$
$$A_{pr} = 7.5 \text{ cm}^2$$

- Section d'aciers de répartition

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4} = \frac{7.5}{4}$$
$$A_{rep} = 1.875 \text{ cm}^2$$

Nous retiendrons alors : $A_{pr} = 7.5 \text{ cm}^2$ et $A_{rep} = 4.35 \text{ cm}^2$

3.2.2. Travée B-C (lit supérieur)

✓ A'ELU

$$Mu = 1.35 \times 2.14 + 1.6 \times 9.66$$

$$\mathbf{Mu = 18.345 \text{ kN.m/ml}}$$

- Moment réduit du béton

$$\mu_u = \frac{Mu \times 10^{-3}}{b_0 \times d_1^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{18.345 \times 10^{-3}}{2 \times 0.18^2 \times 14.17}$$

$$\mu_u = 0.0199$$

$\mu_u < \mu_s$ Il n'y a donc pas de présence d'acier comprimé

$$\alpha_u = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1.25(1 - \sqrt{1 - (2 \times 0.0199)})$$

$$\mathbf{\alpha_u = 0.025}$$

- Bras du levier

$$Z_u = d_1(1 - 0.4 \times \alpha_u) = 0.18 \times (1 - 0.4 \times 0.025)$$

$$\mathbf{Z_u = 0.178}$$

- Calcul des aciers tendus

$$Ast = \frac{Mu}{Z_u \times \sigma_s} = \frac{18.345 \times 10^{-3}}{0.178 \times 347.83}$$

$$\mathbf{Ast = 2.96 \text{ cm}^2}$$

- Condition de non fragilité

$$Amin = \frac{0.23 \times b \times d \times Ft28}{Fe} = \frac{0.23 \times 2.1 \times 0.18 \times 2}{400}$$

$$\mathbf{Amin = 4.35 \text{ cm}^2}$$

A'ELS

$$Mser = Mu = 2.14 + 1.2 \times 19.66$$

$$\mathbf{Mser = 13.73 \text{ kN.m/ml}}$$

- Moment résistant

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

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

$$\mathbf{\bar{\alpha}_{ser} = 0.53}$$

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

$$M_{serb} = 212 \text{ kN.m} > M_{ser} \text{ il n'ya donc pas d'aciers comprimés}$$

- Section d'aciers principaux

$$A_{pr} = \frac{M_{ser}}{d \times (1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}) \times \bar{\sigma}_{st}} = \frac{13.73 \times 10^{-3}}{0,18 \times (1 - \frac{0,53}{3}) \times 200}$$
$$A_{pr} = 4.63 \text{ cm}^2$$

- Section d'aciers de répartition

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4} = \frac{4.63}{4}$$
$$A_{rep} = 1,16 \text{ cm}^2$$

Nous retiendrons alors : $A_{pr} = 4.63 \text{ cm}^2$ et $A_{rep} = 4.35 \text{ cm}^2$

3.2.3. Travée B-C (lit inférieur)

✓ A l'ELU

$$Mu = 1.35 \times 8.55 + 1.6 \times 14.94$$
$$Mu = 35.45 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment réduit du béton

$$\mu_u = \frac{Mu \times 10^{-3}}{b_0 \times d_1^2 \times f_{bu}}$$
$$\mu_u = \frac{35.45 \times 10^{-3}}{2 \times 0.18^2 \times 14.17}$$
$$\mu_u = 0.0386$$

$\mu_u < \mu_s$ Il n'y a donc pas de présence d'acier comprimé

$$\alpha_u = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1.25(1 - \sqrt{1 - (2 \times 0.0386)})$$
$$\alpha_u = 0.0492$$

- Bras du levier

$$Z_u = d_1(1 - 0.4 \times \alpha_u) = 0.18 \times (1 - 0.4 \times 0.0492)$$
$$Z_u = 0.176$$

- Calcul des aciers tendus

$$A_{st} = \frac{Mu}{Z_u \times \sigma_s} = \frac{35.45 \times 10^{-3}}{0.178 \times 347.83}$$
$$A_{st} = 5.78 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité

$$A_{min} = \frac{0.23 \times b \times d \times Ft28}{Fe} = \frac{0.23 \times 2.1 \times 0,18 \times 2}{400}$$
$$A_{min} = 4.35 \text{ cm}^2$$

A l'ELS

$$M_{ser} = Mu = 8.55 + 1.2 \times 14.94$$

$$M_{ser} = 26.48 \text{ kN.m/ml}$$

- Moment résistant

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

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

$$\bar{\alpha}_{ser} = 0.53$$

$$M_{serb} = \frac{2 \times 0,18^2}{2} \times 15 \times 0.53 \times \left(1 - \frac{0.53}{3}\right)$$

$$M_{serb} = 212 \text{ kN.m} > M_{ser} \text{ il n'ya donc pas d'aciers comprimés}$$

- Section d'aciers principaux

$$A_{pr} = \frac{M_{ser}}{d \times \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{st}} = \frac{28.48 \times 10^{-3}}{0,18 \times \left(1 - \frac{0.53}{3}\right) \times 200}$$

$$A_{pr} = 8.93 \text{ cm}^2$$

- Section d'aciers de répartition

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4} = \frac{8.93}{4}$$

$$A_{rep} = 2.23 \text{ cm}^2$$

Nous retiendrons alors : $A_{pr} = 8.93 \text{ cm}^2$ et $A_{rep} = 4.35 \text{ cm}^2$

3.3. Calcul des armatures des piédroits

3.3.1. Calcul des armatures du piédroit Central B et C

Le piédroit sera dimensionné au ml comme un poteau de 100×20

Effort normal sollicitant le poteau :

$$Nu = 1.35 \times 42.7 + 1.6 \times 253.41$$

$$Nu = 463.10 \text{ kN}$$

- ✓ *Evaluation de l'effort de compression repris par le béton seul du poteau*

- Section réduite du béton

$$Br = (0.2 - 0.02) \times (1 - 0.02)$$

$$Br = 0.18 \text{ m}^2$$

- Longueur de flambement

$$Lf = 0.7 \times H = 0.7 \times 1$$

$$Lf = 0.7 \text{ m}$$

- Elancement

$$\lambda = \frac{3.45 \times Lf}{b} = \lambda = \frac{3.45 \times 0.7}{0.2}$$

$$\lambda = 12.12$$

- Calcul de l'effort normal maximal

$$N_{max} = \frac{\alpha \times Br \times Fc28}{0.9 \times \gamma b}$$

Avec :

$$\alpha = \frac{0.85}{1 + 0.2 \times \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} = \frac{0.85}{1 + 0.2 \times \left(\frac{12.12}{35}\right)^2}$$

$$\alpha = 0.83$$

$$N_{max} = \frac{0.83 \times 0.17 \times 25 \times 10^3}{0.9 \times 1.5}$$

$$N_{max} = 2612 \text{ kN}$$

$N_{max} > Nu$ On adoptera alors les valeurs minimales des armatures

Le béton a lui seul suffit pour reprendre les efforts de compression, mais pour des raisons constructives nous adoptons les sections minimales :

$$A = 4 \times 2 \times (1 + 0.2)$$

$$A = 9.6 \text{ cm}^2$$

Soit $A = 4.80 \text{ cm}^2$ sur chaque face

3.3.2. Calcul des armatures piédroits extérieurs A et D

✓ *A'ELU*

$$Mu = 1.35G + 1.6Q$$

$$Mu = 1.35 \times 1.9 + 1.6(34.91 + 2.38)$$

$$Mu = 62.23 \text{ kN/ml}$$

$$Nu = 1.35 \times 15.54 + 1.6 \times 95.03$$

$$Nu = 173.03 \text{ kN}$$

- Détermination de l'excentricité

$$e = \frac{Mu}{Nu} = \frac{62.23}{173.03}$$

$$e = 0,36 \text{ m}$$

- Calcul de l'effort de compression maximal supportable par le béton

$$N_{bmax} = b \times h \times f_{bc} = 1 \times 0.20 \times 14.16 = 2832 \text{ kN}$$

$$N_{bmax} = 2832 \text{ kN}$$

- Le coefficient de remplissage

$$\psi_1 = \frac{Nu}{N_{bmax}} = \frac{173.03}{2832}$$

$$\psi_1 = 0,061$$

$\psi_1 < 0,81$ on détermine l'excentricité critique relative ζ

- Détermination de l'excentricité critique relative

$$\zeta = \frac{1 + \sqrt{9 - 12\psi_1}}{4(3 + \sqrt{9 - 12\psi_1})} = \frac{1 + \sqrt{9 - 12 \times 0.061}}{4(3 + \sqrt{9 - 12 \times 0.061})}$$

$$\zeta = 0,16$$

- Calcul de e_{Nc}

$$e_{Nc} = \zeta \times h = 0.16 \times 0.2$$

$$e_{Nc} = 0,032 \text{ m}$$

$e > e_{Nc}$ section partiellement comprimée

- Calcul du moment fictif

$$M_{fictif} = Nu \times e_A$$

$$e_A = e + (d - 0.5h) = 0.36 + (0.18 - 0.5 \times 0.2)$$

$$e_A = 0,44$$

$$M_{fictif} = 173.03 \times 0.44$$

$$M_{fictif} = 76 \text{ kN/ml}$$

- Moment réduit du béton

$$\mu_u = \frac{M_{fictif} \times 10^{-3}}{b_0 \times d_1^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{76 \times 10^{-3}}{1 \times 0.18^2 \times 14.17}$$

$$\mu_u = 0,16$$

$\mu_u < \mu_s$ Il n'y a donc pas de présence d'acier comprimé

$$\alpha_u = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1.25(1 - \sqrt{1 - (2 \times 0,16)})$$

$$\alpha_u = 0.219$$

- Bras du levier

$$Z_u = d_1(1 - 0.4 \times \alpha_u) = 0.18 \times (1 - 0.4 \times 0.219)$$

$$Z_u = 0.16$$

- Calcul des aciers tendus

$$A_{st,fictif} = \frac{M_{fictif}}{Z_u \times \sigma_s} = \frac{76 \times 10^{-3}}{0.164 \times 347.83}$$

$$A_{st,fictif} = 13.32 \text{ cm}^2$$

- Section réelle d'aciers tendus

$$A_{st,réel} = A_{st,fictif} - \frac{Nu}{\sigma_s} = 0,00133 - \frac{173.03 \times 10^{-3}}{347,48}$$

$$A_{st,réel} = 8.33 \text{ cm}^2$$

✓ *A'ELS*

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

$$M_{ser} = 1.92 + 1.2(34.91 + 2,38)$$

$$M_{ser} = 46.65 \text{ kN/ml}$$

$$N_{ser} = 15.54 + 1.2 \times 95.03$$

$$N_{ser} = 129.58 \text{ kN}$$

- Détermination de l'excentricité

$$e = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} = \frac{46.65}{129.58}$$

$$e = 0.38 \text{ m}$$

- Calcul de l'effort de compression maximal supportable par le béton

$$N_{bmax} = b \times h \times f_{bc} = 1 \times 0.20 \times 14.16 = 2832 \text{ kN}$$

$$N_{bmax} = 2832 \text{ kN}$$

- Le coefficient de remplissage

$$\psi_1 = \frac{N_{ser}}{N_{bmax}} = \frac{129.58}{2832}$$

$$\psi_1 = 0.046$$

$\psi_1 < 0,81$ on détermine l'excentricité critique relative ζ

- Détermination de l'excentricité critique relative

$$\zeta = \frac{1 + \sqrt{9 - 12\psi_1}}{4(3 + \sqrt{9 - 12\psi_1})} = \frac{1 + \sqrt{9 - 12 \times 0.046}}{4(3 + \sqrt{9 - 12 \times 0.046})}$$

$$\zeta = 0,165$$

- Calcul de e_{Nc}

$$e_{Nc} = \zeta \times h = 0.165 \times 0.2$$

$$e_{Nc} = 0.033 \text{ m}$$

$e > e_{Nc}$ section partiellement comprimée

- Calcul du moment fictif

$$M_{ser,fictif} = N_{ser} \times e_A$$

$$e_A = e + (d - 0.5h) = 0.38 + (0.18 - 0.5 \times 0.2)$$

$$e_A = 0.46$$

$$M_{ser,fictif} = 129.58 \times 0.46$$

$$M_{ser,fictif} = 59 \text{ kN/ml}$$

- Moment résistant

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

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

$$\bar{\alpha}_{ser} = 0.53$$

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

$M_{serb} = 106 \text{ kN.m} > M_{ser,fictif}$ il n'ya donc pas d'aciers comprimés

- Section d'aciers principaux

$$A_{pr,fictif} = \frac{M_{ser,fictif}}{d \times \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_{ser}}{3}\right) \times \bar{\sigma}_{st}} = \frac{59 \times 10^{-3}}{0,18 \times \left(1 - \frac{0.53}{3}\right) \times 200}$$

$$A_{pr,fictif} = 19.91 \text{ cm}^2$$

$$A_{st,réel} = A_{st,fictif} - \frac{N_{ser}}{\bar{\sigma}_{st}} = 0.001991 - \frac{129.58 \times 10^{-3}}{200}$$

$$A_{pr,réel} = 13.43 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité

$$A_{min} = \frac{0.23 \times b \times d \times Ft28}{Fe} = \frac{0.23 \times 2.1 \times 0,18 \times 1}{400}$$

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

- Section d'aciers de répartition

$$A_{rep} = \frac{A_{pr}}{4} = \frac{13.43}{4}$$

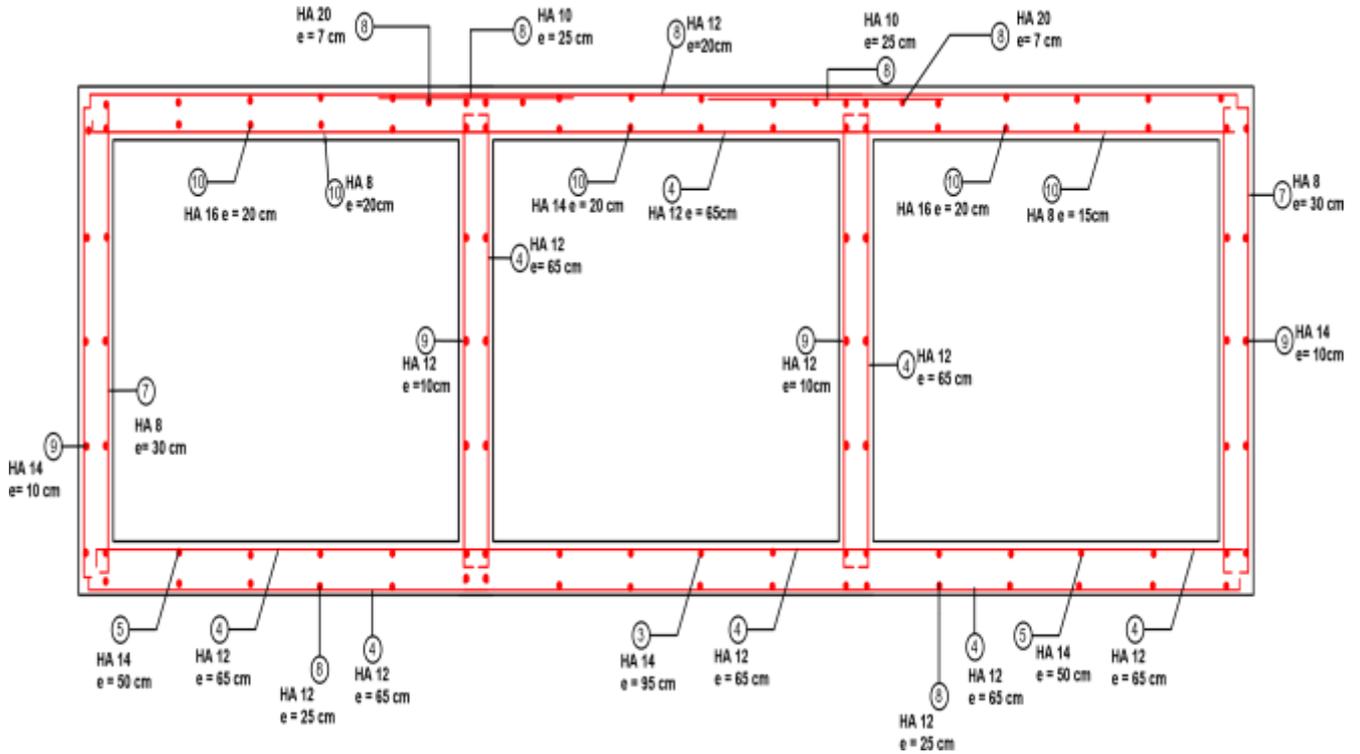
$$A_{rep} = 3.36 \text{ cm}^2$$

Sections retenues pour le ferrailage des armatures des piédroits extérieurs :

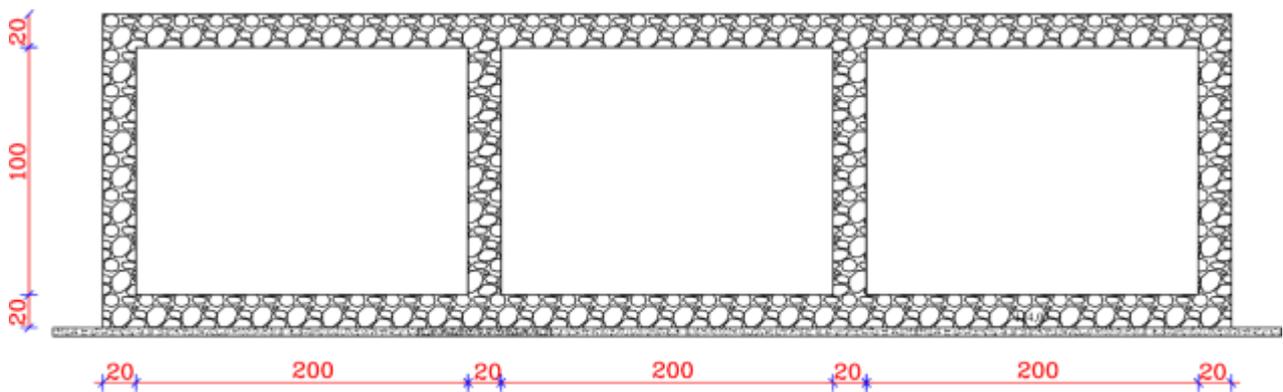
$$A_{pr} = 13.43 \text{ cm}^2$$

Soit 5,61 cm² par face

$$A_{rep} = 3.36 \text{ cm}^2$$



PLAN DE FERRAILAGE DU DALOT1 3*2*1



PLAN DE COFFRAGE DU DALOT1 (3*2*1)

Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)

Annexe 14 : Note de calcul du dalot2

Dalot est dimensionné avec le logiciel « CYPE » avec comme configuration pont cadre de type PICF.

Description des armatures

Panneau	Position	Direction	Armature de base	Renfort	
Tablier	Supérieur	Longitudinal	HA10e=15, crosse=25cm		
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA10e=25, crosse=24cm	Piédroit gauche: HA10 - Longueur=1.01 m, crosse=24 cm	Piédroit droit: HA10 - Longueur=1.01 m, crosse=25 cm
	Inférieur	Longitudinal	HA12e=15, crosse=30cm		
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA16e=25, crosse=25cm	Renforts 1 : HA12 - Cellules 1 à 1 - Longueur ini= 0.58m - Longueur fin.= 0.58m	
Radier	Inférieur	Longitudinal	HA10e=15, crosse=35cm		
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA10e=25, crosse=25cm	Piédroit gauche: HA12 - Longueur=1.08 m, crosse=31 cm	Piédroit droit: HA12 - Longueur=1.08 m, crosse=30 cm
	Supérieur	Longitudinal	HA12e=15, crosse=30cm		
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA12e=15, crosse=15cm	Renforts 1: HA10 Cellules 1 à 1 Longueur ini.= 0.51m Longueur fin.= 0.51m	
Piédroit gauche	Arrière	Vertical	HA10e=25, crosse=25cm - Attente=0.21 m - Longueur crosse en piéd=24 cm	Renfort sup : HA16 Longueur=1.46 m, crosse=45 cm Renfort inf : HA16 Attente=0.34 m Longueur crosse en piéd=45 cm	
		Horizontal	HA10e=25, crosse=30cm		
	Avant	Vertical	HA10e=25, crosse=15cm - Attente=0.21 m - Longueur crosse en piéd=10 cm		
		Horizontal	HA10e=20, crosse=35cm		
Piédroit droit	Arrière	Vertical	HA10e=25, crosse=24cm - Attente=0.21 m - Longueur crosse en piéd=24 cm	Renfort supérieur: HA16 - Longueur=1.46 m, crosse=45 cm Renfort inférieur: HA16 - Attente=0.34 m - Longueur crosse en piéd=35 cm	
		Horizontal	HA10e=25, crosse=35cm		
	Avant	Vertical	HA10e=25, crosse=11cm - Attente=0.21 m - Longueur crosse en piéd=11 cm		
		Horizontal	HA10e=20, crosse=35cm		

Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)

*Annexe 15 : PLAN D'EXECUTION DU DALOT2 (1*2*2)*

Types A = 8



Types B = 4



Virage à droite :



Types C = 8



Virage à droite :



Type AB = 14



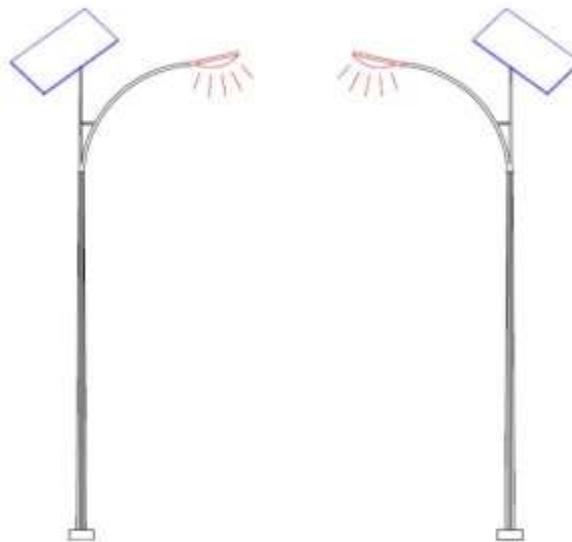
Balises J3= 8



Endroit fréquenté par des Enfants :



Eclairage public : Implantation bilatérale vis à vis

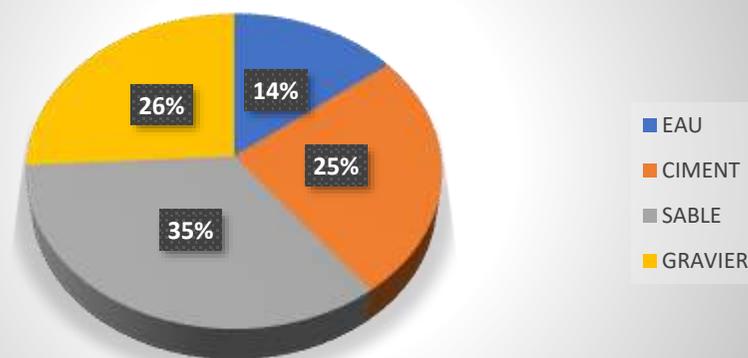


Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)

Annexe 16 : Formulation de béton pour pavé

DETERMINATION DES COMPOSANTES-NF P 18-404				COMPOSITION DU BETON EN VOLUME ABSOLU PAR m3			
N°	Désignation	Unités	Valeur	EAU	0,20 m3	0,2 m3	
1	Dosage C	kg/m3	350	CIMENT	350 kg	0,35 m3	
2	Classe vraie du ciment fc	MPa	55	SABLE	0,48 m3	0,48 m3	
3	Masse volumique absolue ciment	t/m3	3,1	GRAVIER	300 kg	0,36 m3	
4	Masse volumique absolue sable	t/m3	1,59				
5	Masse volumique absolue gravier	t/m3	2,12				
6	Densité apparente sable	t/m3	1,59				
7	Densité apparente gravier	t/m3	1,61				
8	Densité apparente ciment	t/m3	1				
9	Résistance fc28	MPa	30				
10	Coefficient de sécurité de Fc28		1,5				
11	Volume sable absolu	m3	0,48				
12	Volume gravier 5/15 absolu	T	0,3				
13	Volume gravier 15/25 absolu	T	0,97				
14	Volume ciment absolu	T	0,35				
15	Volume D'Eau absolue	m3	0,29				

Formulation du Béton de Pavé



Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)

Annexe 17 : DETAIL DU DEVIS ESTIMATIF DES TRAVAUX

Devis quantitatif et estimatif d'une route en pavé dans la ville de TILLABERI					
ref	Designation	unité	quantités	prix unitaire	prix total
1.	installation du chantier	ff	1	30 000 000	30 000 000
2.	amené et repli	ff	1	20 000 000	20 000 000
3.	Nettoyage du site	m2	21 292	150	3 193 839
	sous total				53 193 839
1.	TERRASSEMENT				
1.1	abattage d'arbre	u	10	40 000	400 000
1.2	Décapage	m2	21 292	440	9 368 594
1.3	deblais	m3	3 066	4 201	12 880 625
1.4	plus valu pour transport de matériau de terrassement	m3/Km	4 099	200	819 752
	sous total 1				23 468 971
2.	TRAVAUX DE LA CHAUSSEE				
2.1	mise en forme réglage et compactage de la plateforme	m2	5 110	150	766 521
2.2	fourniture et mise en œuvre de la couche d'assise	m3	1 706	11 000	18 766 000
2.3	fourniture et mise en œuvre de couche de pose	m3	248	10 000	2 484 097
2.4	pavage avec de pavé de 8cm d'épaisseur	m2	4 968	11 100	55 146 953
	sous total 2				77 163 571
3.	EQUIPEMENTS				
3.1	Bordure en béton de 25cm	m3	35	120 000	4 258 452
3.2	accotement en pavé	m2	2 129	11 100	23 634 409
3.3	panneaux des signalisations	u	18	184 123	3 314 214
3.4	ralentisseurs en BA	u	3	700 000	2 100 000
3.5	balises en beton	u	8	32 000	256 000

Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)

3.6	candélabres en panneau solaire	u	30	500 000	15 000 000
3.7	plantation et entretien des arbres	u	94	8 000	752 000
	sous total 3				41 315 075
4.	Assainissement				
4.1	Dalot 1 (3*2,00*1,00)				
4.1.1	Décapage du couvert vegetal	m2	70	450	31500
4.1.2	Deviation du cours d'eau	ff	1	500 000	500000
4.1.3	Curage du lit du cours d'eau	m3	12	2 500	30000
4.1.4	Déblais	m3	1	5 000	5000
4.1.5	Remblais	m3	10,5	6 000	63000
4.1.6	Béton de propreté dosé à 150 kg/ m3	m3	2,625	100 000	262500
4.1.7	BA dosé à 400 kg/m3 pour mur en ailes	m3	10,5	240 000	2520000
4.1.8	BA dosé à 400 kg/m3 pour mur de tete	m3	6	240 000	1440000
4.1.9	BA dosé à 400 kg/m3 pour corps du dalot	m3	15,4	240 000	3696000
4.1.10	Coffrage	m2	91	10 000	910000
4.1.11	Echaffaudage	ff	1	200 000	200000
4.1.12	Garde corps	ml	8	25 000	200000
4.2	Dalot 2 (1*2,00*2,00)				
4.2.1	Décapage du couvert vegetal	m2	40	450	18000
4.2.2	Deviation du cours d'eau	ff	1	500 000	500000
4.2.3	Curage du lit du cours d'eau	m3	8	2 500	20000
4.2.4	Déblais	m3	3,6	5 000	18000
4.2.5	Remblais	m3	14,2	6 000	85200

Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville de Tillabéri (NIGER)

4.2.6	Béton de propreté dosé à 150 kg/ m3	m3	1	100 000	100000
4.2.7	BA dosé à 400 kg/m3 pour mur en ailes	m3	3	240 000	720000
4.2.8	BA dosé à 400 kg/m3 pour mur de tete	m3	4	240 000	960000
4.2.9	BA dosé à 400 kg/m3 pour corps du dalot	m3	8,4	240 000	2016000
4.2.10	Coffrage	m2	70	10 000	700000
4.2.11	Echaffaudage	ff	1	200 000	200000
4.2.12	Garde corps	ml	3	25 000	75000
	sous total 4				15270200
	TOTAL (HT)				210 411 656
	TOTAL (TTC)				248 285 754

Le montant définitif des travaux s'élève à deux cent trente-quatre millions trois cent quarante-neuf mille trois cent trente un (248 285 754) Fcfa.