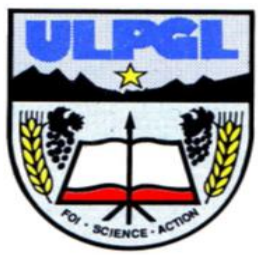


UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS

« ULPGL/ GOMA »



BP :368 GOMA

www.ulpgl.net

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES APPLIQUEES

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

**DIMENSIONNEMENT D'UNE CHAUSSEE EN PAVES DE
ROCHES BASALTIQUES : cas du tronçon routier Afia Bora-
Rue Katindo II**

**Travail de Fin de Cycle présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Graduat en Sciences
Appliquées.**

Présenté par : MUGHOLE MAYAO La Reine

Directeur : CT. Ir. CHERIF BISHWEKA

Encadreur : Ir. GABRIEL KASHALA Djibril

ANNEE ACADEMIQUE 2022-2023



EPIGRAPHE

« Il y a des choses qu'on a parfois peine à croire : le type qui a inventé le code de la route n'avait même pas son permis ».

Philippe Geluck



DÉDICACES

A mes parents et frères qui se sont tenu à mes côtés, m'accompagnant et me soutenant pour la réussite de mes études .

MUGHOLE MAYAO Reine



REMERCIEMENTS

Nos sincères remerciements s'adressent à notre Dieu suprême, Maître de temps et de circonstance pour la protection et le souffle de vie qu'il nous accorde.

Nous tenons à remercier les corps Scientifiques et Académiques de l'ULPGL, et de la FSTA en particulier, pour leur encadrement scientifique tout au long de notre formation.

Nous adressons nos remerciements respectivement à notre Directeur et encadreur CT. Ir. CHERIF BISHWEKA et Ir. GABRIEL KASHALA Djibril qui, à travers leurs conseils, suggestions et directives ce travail a pu être réalisé.

De manière particulière, nous exprimons notre gratitude à nos parents MASEKU MAYAO Gilbert et KAVIRA Esperance, ainsi qu'aux couples MBINDWA KESTER Grace, TSADOK VALENTIN Rachel, KISOROBO Seth Lydie, KAMBALE ONU Merveille, aussi à maman KAVUGHU Jorime pour nous avoir accompagné tout au long de notre cursus académique.

Nous accordons une pensée toute particulière à nos amis Ornella LULIHI, Neema KAZI, Synthia SAMBO, KASINDIVUKO Thérère, Delphine MATATA, KATEMBO KASIVITA Magloire ... pour le soutien morale et la solidarité dont ils n'ont pas cessé de faire preuve à notre égard tout au long de la réalisation de ce travail.

A mes très chers frères et sœurs chacun par son nom.

Que toute personne qui, de près ou de loin, a contribué la réussite de cet exercice scientifique, retrouve ici l'expression de notre profonde gratitude.

MUGHOLE MAYAO La Reine

SIGLES ET ABBREVIATIONS

Av. J.C	: Avant Jésus Christ
CAM	: Coefficient d'agressivité moyen
CBR	: Californian Bearing Ration
CEBTP	: Centre Expérimental de recherche et d'étude du Bâtiments et Travaux Publics
F	: Couche de fondation
MPA	: Méga Pascal
NF	: Norme Française
PF	: Plate-Forme
PL	: Poids Lourds
RN2	: Route nationale numéro 2
TJMA	: Trafic Annuel Moyen Journalier



RÉSUMÉ

Ce travail a pour objectif général de dimensionner une route des pavés en basaltes. Pour y arriver, non seulement la méthode CBTP pour le dimensionnement de la chaussée ; mais également le logiciel Autocad civil 3D a été utilisé, qui a généré tous les profils et la cubature de cette chaussée. Les résultats obtenus étant appropriés aux chaussées souples, il a été question de les assimiler à la chaussée en pavé étant donné que les chaussées en pavés peuvent être assimilées à des chaussées souples. Parlant de mots clés qui portent le sujet de ce travail :

- ✓ la chaussée c'est la surface revêtue de la route sur laquelle circulent normalement les véhicules ;
- ✓ les pavés : sont des blocs généralement cubiques et fait de pierre dure (basalte, granits, ...), taillé spécialement pour confectionner une route ;
- ✓ les roches basaltiques : sont des roches formées par refroidissement rapide du magma à la surface .

Le CBR et le trafic étant les éléments très importants pour le dimensionnement d'une chaussée ; notre CBR est de 24,6% ; d'où la classe de portance est S4 (Très élevée), le trafic était aussi de $N = 316949,6549$; ce qui implique que le trafic est de la classe T1 que nous avons majoré à T₂ pour la raison de l'évolution du trafic après construction de la chaussée dont il est question. Se basant sur le guide de dimensionnement pour les pays tropicaux du CEBTP, pour un trafic T2 et une portance S4, on a une constitution de la couche de base en scorie volcanique de 15cm et une couche de fondation en GNT concassé de 20cm.

ABSTRACT

The general objective of this work is to design a road of basalt cobblestones. To achieve this, not only the CBTP method for pavement design; but also the Autocad civil 3D software was used, which generated all the profiles and the cubature of this roadway. The results obtained being appropriate to flexible pavement, it was a question of assimilating them to the cobblestones pavement given that the cobblestone pavement can be assimilated to flexible pavements. Speaking of keywords related to the subject of this work:

- ✓ The pavement: is the surface of the road on which vehicles normally travel.
- ✓ The cobblestones: are generally cubic blocks made of hard stones (basalt, granite,...), specially cut to make a road;
- ✓ Basalt rocks: are rocks formed by rapid cooling of magma on the surface.

CBR and traffic being the very important elements for the design of a pavement; our CBR was 24.6%; hence the lift class is S4(very high), the traffic was also $N = 316949.6549$. This implies that the traffic is class T1 which we upped to T2 for the increase in traffic after construction of the roadway in question. For a T2 traffic and a S4 lift, there is a constitution of the base layer in volcanic slag of 15 cm and a layer of a GNT of 20 cm.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 chaussée et accotement	5
Figure 2 coupe type et terminologie.....	7
Figure 3 Eléments constitutifs du profil en travers	18
Figure 4 coupe schématique d'une chaussée revêtue pavées	22
Figure 5 Effet de la charge sur la hauteur de lit de pose	24
Figure 6 Vue aérienne du tronçon en étude en rouge.....	31
Figure 7 Allure du Terrain Naturel.....	31
Figure 8 Vue en plan du projet en étude.....	33
Figure 9 illustre le profil en travers type de la chaussée aménagée.....	34
Figure 10 Profil en long du projet en étude.....	34

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2 Epaisseurs normalisées des pavés en fonction de la destination	9
Tableau 3 Classes principales du GTR	12
Tableau 4 Distances d'arrêt en ligne droite d1 et en courbe d2 à différentes vitesses	16
Tableau 5 Valeurs de CAM	21
Tableau 6 Classe du trafic	21
Tableau 7 Classification selon le CBR	27
Tableau 8 constitution en couche de la chaussée en étude	28
Tableau 9 Résumé de différents facteurs d'équivalence du système "pavés + lit de pose"	35
Tableau 10 resultats CBR après 4 jours d'immerssion	37
Tableau 11 La structure du trottoir.....	39

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 volumes des Couches obtenus par Autocad Civil 3D	49
Annexe2 volume du matériau de la couche de roulement.....	50
Annexe 3 volume de matériau de la couche de base.....	51
Annexe 4 volume de matériau de la couche de fondation.....	52
Annexe 5 Les coordonnées topographiques.....	53
Annexe 6 ESSAI CBR/Poinçonnement.....	54
Annexe 7 Table de correspondance.....	55

SOMMAIRE

EPIGRAPHE.....	i
DEDICACE.....	ii
REMERCIEMENT	iii
SIGLE ET ABREVIATION	iv
RESUME	v
ABSTRACT	vi
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES ANNEXES	ix
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAP I : GENERALITES.....	3
I.1.1 HISTORIQUE	3
I.1.2 Quelques définitions	3
I.1.3 constitution d'une chaussée	6
I.2 GENERALITES SUR LE PAVAGE.....	8
I.2.1 Les Types des pavés	8
I.2.2 Les normes sur les pavés	9
I.2.3 Proposition de technologie.....	9
I.2.4 Le trafic	10
I.3 CONCLUSION PARTIELLE	13
CHAP II : METHODOLOGIES	14
II.1 ETUDE TOPOGRAPHIQUE	14
II.1.1 But	
II.1.2 Méthodes et techniques de collecte des données.....	14
II.2 Caractéristiques géométriques	15
II.3 Méthodes de dimensionnement	19
II.4 LA STRUCTURE DE LA CHAUSSEE	22
II.4.1 La fondation	22
II.4.1.1 Le lit de pose	23
II.4.1.2 Couche de roulement.....	24
II.6 Choix de matériaux.....	28
II.6.1 Matériau de la couche de base	28
II.6.2 Matériau de la couche de roulement.....	28
II.7 MATERIEL ET LOGICIELS UTILISES	28
II.8 CONCLUSION PARTIELLE.....	29
CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE TRONÇON ROUTIER	
AFIA BORA-RUE KATINDO II.....	30
III.1. PRESENTATION DU TRONÇON EN ETUDE	30
III.1.1. Levées topographiques, situation géographique et climatologie	30

III.1.2. Etat de lieu.....	31
III.2 DIMENSIONNEMENT HORIZONTAL DE LA ROUTE	32
III.2.1 Le tracé en plan	32
III.2.2 Le profil en travers	33
III.2.3 Le profil en long.....	34
III.3 DIMENSIONNEMENT STRUCTUREL DE LA CHAUSSEE	35
III.3.1 Choix de la méthode de dimensionnement	35
III.4 LES CUBATURES	37
III.4.1 Cubature de la couche de base	37
III.4.2 Trottoirs.....	38
III.4.3 Calcul de cubatures des terrassement.....	39
III.5 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT	39
III.5.1 Dimensionnement du fossé latéral	39
III .6 CONCLUSION PARTIELLE	40
CONCLUSION GENERALE	41
Annexes.....	48

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le développement économique d'un pays nécessite la construction des infrastructures de transport (routes, voies lacustres, voies ferrées, aviation, etc.) comme secteur de soutien à l'économie globale, pour faciliter la circulation des personnes et de leurs marchandises. Compte tenu du rôle important que joue les infrastructures routières dans le développement global d'un pays, il est essentiel que la République démocratique du Congo se dote d'une infrastructure routière d'envergure pour le développement de son territoire et ainsi garantir le bien-être social.

Le transport en République Démocratique du Congo a toujours été un défi en raison de la morphologie et des conditions climatiques difficiles [1]. Les réseaux routiers et fluviaux, à l'origine incomplets pour des raisons historiques ou géographiques ont vu leur état général se dégrader. Long de 159 209 km et seulement 3000 km revêtus, le réseau routier congolais reste un problème auquel il faut apporter solution [2].

La ville de Goma située à l'Est du pays, chef-lieu de la province du Nord-Kivu, connaît un déficit dans son secteur routier. Bien que certaines routes communales et urbaines revêtues, certaines chaussées sont presque impraticables ou quasi inexistantes suite à son mauvais état et le manque d'entretien régulier.

Négligées, les infrastructures routières telles que les routes communales, les routes régionales et la voirie urbaine de la République Démocratique du Congo, offrent moins d'accès aux secteur économique et sociaux favorisent moins les échanges de toute nature ainsi que le déplacement des personnes et de leurs biens, bien qu'elles constituent un investissement important pour le pays et par conséquent doivent être placées dans la prospective d'évolution du pays.

C'est la raison pour laquelle, dans le cadre de ce travail nous traitons: « Dimensionnement d'une chaussée en pavés des roches basaltiques : cas du tronçon routier Afia Bora- Katindo II ».Ce tronçon routier , très souvent victime des eaux stagnantes ne permet pas une circulation confortable tant des personnes que des engins roulants. Pour garantir une circulation confortable et sécurisée, le présent travail se propose de faire un dimensionnement de ce tronçon en y plaçant des pavées en roches basaltiques comme couche de roulement.Ce travail sera orienté par la question suivante : le revêtement en pavé sera-t-il une solution pour résoudre le problème d'assainissement sur notre site?

Une seule hypothèse nous servira de guide pour arriver à nos différents objectifs : Le revêtement par des pavés en roches basaltiques serait une des solutions pour lutter contre les eaux stagnantes et rendre le tronçon routier « Afia Bora- Rue Katindo II » praticable. Certes, les pavés routiers peuvent être confectionnés au moyen de plusieurs matériaux ; cependant, le choix dans ce travail de pavés en roches basaltiques est motivé par la disponibilité locale de ce matériau.

La démarche générale de vérification de notre hypothèse entamera en premier lieu,

- ✓ Une recherche documentaire, c'est à dire faire les études bibliographiques nécessaires au problème de recherche ;
- ✓ Les études topographiques, hydrauliques et études géotechniques ;
- ✓ Le dimensionnement de la structure de la chaussée.

Pour bien réaliser cette étude, nous avons subdivisé ce travail en trois chapitres. Hormis l'introduction et la conclusion générale, les différents chapitres sont repartis comme suit :

- **Le chapitre premier** : les généralités sur les chaussées et les pavés ;
- **Le chapitre deuxième** : les méthodologies utilisées dans ce travail
- **Le troisième chapitre** : le dimensionnement du tronçon routier Afia bora- Katindo II.

CHAP I : GENERALITES

Dans ce chapitre, il sera question de présenter les généralités sur les routes, sur les pavages .

I.1 Généralités sur les routes

I.1.1 Historique [3]

De tout temps, l'homme a besoin de circuler. L'idée du matelas pierreux a survécu de nombreux siècles. Elle s'est développée à époque des romains pour donner naissance à la chaussée romaine: le dallage. Plus tard la route empierrée « macadam » a fait son apparition et avec Elle, les premières spécifications en construction routière. Cependant avec le développement des véhicules lourds au début du XXème siècle, les premiers problèmes ont surgi et entre autres:

- ✓ Apparition de nids de poule ;
- ✓ Poinçonnement du hérisson (bloc de moellons de 20 à 25 cm disposés en hérisson posé à la main et cylindré par des rouleaux tri cycliques a jantes métalliques) ;
- ✓ Effondrement de la chaussée aux premières pluies.

Une mutation s'imposait alors pour obtenir une route moderne. Elle a été initiée par l'emploi de matériaux à granulométrie continue et de calibre déterminé et aussi avec l'émergence des matériaux traités au ciment.

I.1.2 Quelques définitions [4]

1- Chaussée: C'est la surface revêtue de la route sur laquelle circulent normalement les véhicules, elle peut être soit bitumée ou bétonnée.

On distingue:

- **Les chaussées rigides:** Elles sont constituées d'une dalle de béton en ciment portland reposant directement sur la couche de fondation ou sur la couche de forme. La dalle de béton joue un double rôle : elle est à la fois la surface de roulement et la couche de base. Elle répartit les efforts de surface dus aux charges de cisaillement sur une large surface afin d'éviter une déformation sur la couche de fondation ou sur l'infrastructure.
- **Les chaussées semi rigides :** Une chaussée semi rigide est une chaussée avec une couche de surface en béton bitumineux reposant sur une couche de base en matériaux stabilisés aux liants hydrauliques et une couche de fondation granulaire. Les couches bitumineuses assurent :
 - La qualité de la surface de roulement ;

- La limitation de la remontée des fissures transversales de la couche de matériaux traités aux liants hydrauliques.
 - La couche de base diffuse et atténue les efforts transmis de par sa rigidité élevée offerte par le liant hydraulique.
- **Les Chaussées souples:** Elles sont constituées d'une couche bitumineuse en surface au-dessus d'une couche de base et d'une couche de fondation en matériaux granulaires traités ou non. La chaussée souple distribue les efforts de surface à travers les couches de base et de fondation. Cette distribution se fait de façon à ce que l'effort sur la PF soit compatible avec la résistance de l'infrastructure et du sol support. La caractéristique d'une chaussée flexible est son aptitude de se déformer sans se fissurer.

2- Accotements: c'est la partie de la plate-forme aménagée entre la chaussée et le talus ou le fossé. La largeur des accotements varie généralement entre 3 m.

L'accotement sert:

- ✓ De support latéral à la structure de la chaussée;
- ✓ De refuge aux véhicules arrêtés ou en panne ;
- ✓ Permet la circulation des véhicules d'urgence;
- ✓ Protégé l'automobiliste lors d'un dépassement imprévu en lui permettant d'éviter une collision frontale.

On distingue:

- Les accotements pourvus d'un revêtement ;
- Les accotements sans revêtement. La figure 1 ci-dessous présente les exemples de la chaussée et l'accotement :



Figure 1 chaussée et accotement [5].

- Chaussée ↓
- accotement ↙

3 Terre Plein central

Le terre-plein central (TPC) est la partie située au milieu d'une route unidirectionnelle permettant la séparation physique des deux sens de circulation, IL a pour fonctions d'éviter les mouvements de traversée des véhicules et les mouvements de tourne-à-gauche vers les accès éventuels. Ses caractéristiques dépendent essentiellement du milieu traversé, des fonctions de la route et de la Limitation de vitesse.

4- Plate-forme

C'est la surface de la route qui comprend la ou les chaussées, les accotements et, éventuellement les terres pleines centrales (TPC).

5- Assiette

C'est la surface du terrain réellement occupée par la route et ses annexes; c'est à dire (Plate-forme + fossés + talus + toute dépendance et ouvrages affectés au DP).

6-Emprise

C'est la surface de terrain juridiquement affectée à la route et ses annexes. Elle est au moins égale à l'assiette Elle est généralement d'une largeur de:

- 30 m pour les routes nationales,

- 70 à 100 m pour les autoroutes.

7- Fossé

Ce sont les excavations aménagées latéralement de part et d'autre de la plate-forme.

Ils sont destinés à assainir la plate-forme en collectant les eaux de ruissellement.

8- Remblais - Déblais

Quand la route est construite au-dessus du terrain naturel, on dit qu'elle est en remblais. Quand elle est construite au-dessous du terrain naturel, on dit qu'elle est en déblais.

9- Dévers

C'est l'inclinaison transversale de la route en alignement droit; le devers est destiné à évacuer les eaux superficielles. En courbe les devers permettent à la fois d'évacuer les eaux de ruissellement et de compenser une partie de la force centrifuge.

10- Talus

C'est une Partie de route comprise entre l'accotement et le fossé ou au-delà du fossé.

On distingue les talus de remblais et les talus de déblais, sa pente est définie en fonction de la stabilité des matériaux le constituant.

- ✓ Les talus de remblais sont généralement réglés à une pente de 3/2.
- ✓ Les talus de déblais sont généralement réglés à une pente de 1/L

I.1.3 constitution d'une chaussée

Une chaussée est constituée généralement de deux couches des matériaux différents superposées, posées sur une surface du terrain naturel déjà terrassé qu'on appelle **sol support**. Dans l'infrastructure nous avons la plate-forme et la couche de forme en cas de remblai; pour la superstructure nous avons la couche de base, la couche de fondation et la couche de surface ou le revêtement [6]. Le figure ci-dessous représente le coupe type et la terminologie :

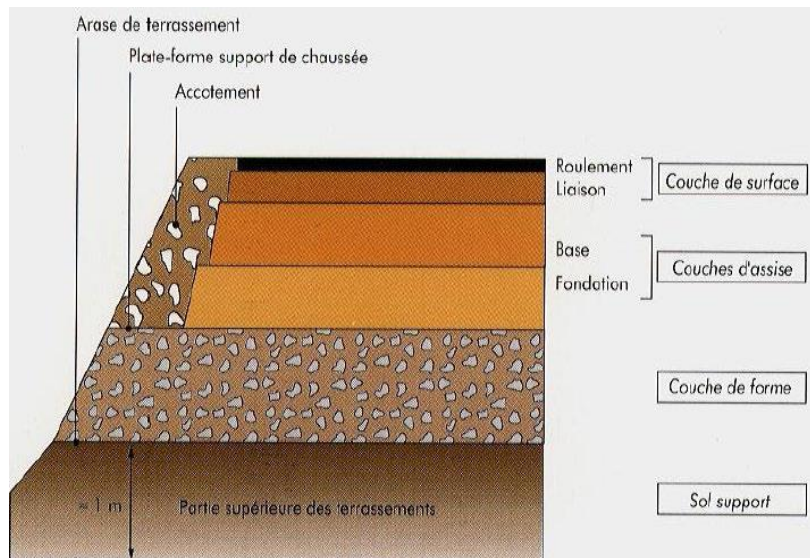


Figure 2 coupe type et terminologie [7]

La couche d'assise : constituée généralement de deux couches qui sont respectivement la couche de fondation et la couche de base, permettant à la chaussée de résister mécaniquement aux charges verticales induites de la circulation et repartissent les pressions sur la plate-forme support afin de maintenir les déformations à un niveau admissible.

La couche de surface : Elle est constituée de la couche de roulement et éventuellement d'une couche de liaison, interagit directement avec les sollicitations mécaniques et climatiques induite par respectivement le trafic et le climat. Une couche de liaison est parfois intégrée entre la couche de roulement et la couche de base pour permettre de spécialiser le confort aux usagers. La couche de roulement peut être revêtue de plusieurs façons, et dans ce sens, il existe actuellement trois (3) catégories de revêtement à savoir : le revêtement par béton de ciment, le revêtement par béton bitumineux, et le revêtement formé à partir des éléments de construction distincts.

a. Le revêtement par béton du ciment

C'est un revêtement de la chaussée par un mélange de ciment, sable, granulat, d'eau et éventuellement des adjuvants, obtenu à partir de la formulation du béton afin de répondre aux normes de la chaussée. Ce mélange peut être aussi marié à une armature des fers pour plus de résistance.

b. Le revêtement par béton bitumineux ou asphalte

C'est un aménagement d'une chaussée par un mélange de sable, de gravillons, des gravillons, de fillers et d'un dérivé du pétrole appelé **brai** comme couche de roulement. On distingue 3 types d'asphalte : le béton bitumineux étanche, drainant et « Stone Mastic Asphalte » ou SMA.

c. Revêtement par les éléments de constructions distincts(Pavés)

Ce type de revêtement fait intervenir différentes sortes de pavés dont notamment : les pavés en terre cuite, les pavés en béton et les pavés en pierre naturelle. Parlons particulièrement du revêtement avec pavés en pierres naturelles, car ils font l'objet de notre étude.

I.2 Généralités sur le pavage

Le pavage est une technique de revêtement de chaussée qui consiste en une préfabrication d'éléments appelés pavés, puis la pose de ces éléments sur un lit de pose. Les pavés sont utilisés dans le domaine de la construction pour le revêtement de sols ou de chaussées par pavage.

I.2.1 Les Types des pavés [8]

Les différents pavés sont :

➤ Les pavés autobloquants.

Souvent agglomérés de béton et teintés, ils remplissent le pavage avec l'avantage de non-glissement des éléments et qui permettent des pentes et des surfaces courbes (garnissage des remblais et contreforts des piles de pont d'autoroute).

➤ Les pavés de bois

A Paris, en 1882, les Champs-Élysées furent pavés en bois et beaucoup de voies de la capitale suivirent. S'ils furent progressivement remplacés par des pavés en pierre moins glissant et moins couteux à partir de 1905, ils perdurèrent néanmoins car ils évitaient aussi les inconvénients de la pierre : les bruits de roulement et ceux de l'asphalte ; le ramollissement lors des saisons chaudes et les nids-de-poule après les gelées. En résumé, dans le cadre de ce travail, la chaussée soumise à l'étude est de la catégorie Chaussée souple (pavée en pierres basaltiques).

➤ Les pavés mécaniques en béton.

Moules et de forme régulière, ils se posent généralement sur du sable, mais aussi sur de la criblure de pierre couramment appelée poussière de pierre. Le fait qu'ils s'encastrent parfaitement les uns dans les autres rend inutile le jointoiement au mortier. Il est en revanche nécessaire de préparer avec soin le terrain où l'on va les poser.

➤ Les pavés en pierre.

Ces pavés de pierre sont posés depuis l'antiquité dans les villes. Ils sont de tailles diverses suivant les chaussées et les traditions locales et la nature des roches environnant les villes ou on les pose.

I.2.2 Les normes sur les pavés [9]

Les pavés doivent respecter les normes CAN3-A231.2-M85 et NQ 2624-1203 (normes canadiennes) qui stipule en général une résistance à la compression minimale de 45 MPa ; un taux d'absorption de l'eau inférieur à 5% ; une très grande résistance aux intempéries. Lorsqu'un pavé ne rencontre pas ces normes, il risque de s'écailler ou de se désagréger avec le temps et de se casser sous le poids d'un véhicule.

La norme française régissant les pavés de pierre est : P98-342/NF EN1342 . Elle présente des similitudes avec la norme canadienne. L'ensemble des normes régissant la fabrication des pavés, se repose sur les habitudes de fabrication antérieure aux normes et recommande une gamme d'épaisseur minimale en fonction de la destination des pavés. Ainsi, on distinguera des épaisseurs différentes suivant que l'on veut les utiliser au niveau d'un trottoir, d'un patio, d'une entrée résidentielle, des entrées des zones commerciales et des routes des villes. Ces dimensions sont données dans le tableau 1.

Tableau 1 Epaisseurs normalisées des pavés en fonction de la destination [10]

I.2.3	Destinations	Epaisseurs recommandées(cm)
	Trottoirs-patio	5
	Les entrées résidentielles	7
	Les entrées commerciales	8
	Chaussées urbaines	11

Proposition de technologie

Un des objectifs poursuivis par ce travail de fin du cycle est d'utiliser des pierres en couche de roulement ainsi que les techniques de leurs mises en oeuvre. Dans ces conditions, il s'agira de faire

plusieurs options, d'en commenter les précautions préalables à garantir pour utiliser l'une ou l'autre des différentes options. Ainsi, les options de mise en oeuvre sont :

❖ **Le pavage par liant**

Pour ce type de pavage, on utilise un élément de liaison qui assure un maintien et ainsi une plus grande rigidité de l'ensemble pavé plus liant. Il est à souligner que ce type de pavage est utilisé pour des milieux à fort trafic et exigeant une très grande transmission des efforts dans le sol suite à des lourds engins qui peuvent y passer. Cet élément de liaison peut être un mortier, un sable stabilisé au polymère, au ciment ou au bitume, cette liaison peut aussi être faite par une colle maintenant les pavés les uns contre les autres pour assurer une rigidité de l'ensemble.

❖ **Le pavage sec**

Un pavage est dit sec lorsque sa réalisation est faite sans élément de liaison. C'est-à-dire qu'on s'arrange justement à bien disposer les pavés d'une façon esthétique sans élément maintenant les uns sur les autres. C'est cette technologie qui fait l'objet d'étude de ce travail.

En général pour la réalisation de ces deux technologies de pavages, la préparation du terrain qui doit recevoir les pavés doit se faire de la manière suivante :

- ✓ Le stabiliser s'il s'agit d'un sol non cohérent ;
- ✓ Le renforcer si c'est une terre à faible portance
- ✓ Le remblayer ou le déblayer pour uniformiser la surface ;
- ✓ ...

Après cette étape, il faut à tout prix construire des bordures scellées dans un béton ou des planches de bois taillé de dimension : 100×40 mm de section ; maintenu par des pics solides (exclusivement pour des allées et espaces de cours et de réserve).

I.2.4 Le trafic [11]

Le trafic constitue un élément très important du dimensionnement des chaussées. En effet, chaque passage de véhicule sur la chaussée entraîne une légère fatigue de celle-ci, tant pour ce qui concerne la structure que les qualités de surface. L'accumulation de ces dommages élémentaires conduit à la dégradation progressive de l'ensemble. Le calcul de dimensionnement fait donc intervenir le trafic cumulé qui circule sur la chaussée durant la période de service prévue.

D'autre part, l'expérience a montré l'influence fondamentale du poids des essieux sur le dommage observé : un essieu de poids lourds est infiniment plus agressif qu'un essieu de voiture légère. Il est donc nécessaire de quantifier le trafic sur le plan de l'agressivité des véhicules. Le trafic estimé à la mise en service est converti en nombre d'essieux standards au moyen d'un coefficient multiplicateur qui tient compte de l'agressivité du type de véhicule. Le terme « essieu standard » désigne l'essieu isolé à roues jumelées supportant une charge de 13 tonnes, qui est la charge maximale légale dans plusieurs pays.

Comme l'objectif de la chaussée est d'assurer le passage des véhicules pendant un certain nombre d'années, le calcul de dimensionnement fait donc intervenir le trafic cumulé, converti en « essieu standard », qui circule sur la chaussée tout au long de cette période. Ce trafic cumulé à prendre en compte dépend alors :

- ❖ Du trafic existant ou prévu lors de la mise en service de la route ;
- ❖ De l'agressivité du trafic ;
- ❖ De la période de service souhaitée de la chaussée ;
- ❖ Du taux moyen de croissance annuelle du trafic pendant cette période

I.3.3 Évaluation de la portance de la plate-forme [11]

Pour dimensionner correctement une voirie, il est indispensable d'évaluer la portance à long terme du sol support. Cette portance est égale à la portance à long terme du sol mis à nu par les terrassements, augmentée, le cas échéant, du gain de portance obtenu soit par une éventuelle couche de forme, soit par un éventuel traitement en place du sol.

I.3.4. Caractéristiques des matériaux de la plate-forme

Les revêtements routiers doivent répondre aux sollicitations répétées du trafic et des effets climatiques. Pour le dimensionnement, le matériau qui constitue le revêtement routier doit présenter des caractéristiques mécaniques adéquates. Ainsi la détermination de ces différentes caractéristiques se fait à l'aide d'une étude géotechnique.

I.3.4.1 La géotechnique routière

La géotechnique routière peut être comprise comme une science qui traite du sol en tant que matériau de construction. Elle s'applique en particulier sur la géologie, l'hydrogéologie, la mécanique des sols et roches et à l'étude des propriétés physico-chimiques des sols remaniés.

❖ Classification des sols selon le guide des techniques routières.

La classification géotechnique des matériaux identifie le sol en six classes A, B, C, D, E et F données sur le tableau 2 :

Tableau 2 Classes principales du GTR [12]

Class e	Définition	caractérisation	Sous classe
A	Sols fins	$D_{\max} \leq 50\text{mm}$ /Passant à $80\mu\text{m} > 35\%$	A1 a A4 selon VBS ou IP
B	Sols sableux et graveleux avec fines	$D_{\max} \leq 50\text{mm}$ /Passant à $80\mu\text{m} > 35\%$	B1 a B6 selon VBS ou IP et tamisat
C	sols comportant des fines et des gros éléments	$D_{\max} > 50\text{mm}$ /Passant à $80\mu\text{m} > 12\%$ Ou Passant à $80\mu\text{m} \leq 12\% + \text{VBS} > 0.1$	30 Sous classes selon VBS ou IP et tamisat a 50 mm
D	sols insensibles à l'eau	$\text{VBS} \leq 0.1$ /Passant à $80\mu\text{m} \leq 12\%$	D1 a D3
R	Matériaux rocheux	Nature pétrographique (Norme NFP 11-300)	
F	Sols organiques et sous-produits industriels	Teneur en éléments chimiques (Norme NFP 11-300)	

Les caractéristiques permettant d'effectuer la classification du tableau 5 . sont définies à partir des essais géotechniques et peuvent être regrouper en trois catégories dont les Paramètres de Nature, les Paramètres de comportement mécanique et les Paramètres d'état.

❖ Détermination des épaisseurs des revêtements

Pour déterminer les épaisseurs du revêtement, il convient en premier lieu de préciser les points suivants :

- Le trafic à la mise en service « t »,
- La période de service « n »,
- Le taux annuel de croissance du trafic « τ »,
- La classe de portance à long terme de la plate-forme support,
- Les caractéristiques mécaniques du matériau utilisé.

I.3 CONCLUSION PARTIELLE

ce chapitre présente les généralités sur les voies routiers, les types des routes, les généralités sur les pavages, il présente aussi quelques définitions des concepts clés, mais aussi les généralités sur le trafic.

CHAP II : METHODOLOGIES

Ce chapitre traite de méthodes utilisées pour le dimensionnement de la chaussée, sur la structure de la chaussée, le dimensionnement des ouvrages d'assainissement, mais aussi il présente les différents matériels et logiciels que nous avons utilisés pour aboutir au résultat.

II.1 Etude topographique [13]

Le levé topographique consiste à mesurer les terrains, la terre et les éléments qui s'y trouvent. Il détermine l'emplacement spatial de points. La topographie s'appuie sur la géodésie qui s'occupe de la détermination mathématique de la forme de la terre (forme et dimension de la terre, coordonnées géographiques des points, altitudes, déviations de la vertical...). La topographie rentre dans les détails de plus en plus fins pour établir des plans et cartes à différentes échelles.

II.1.1 But

La topographie permet de mener les travaux à l'échelle d'une ville ou d'un pays en utilisant une représentation planimétrique et altimétrique identique sur l'ensemble de son territoire. Ces travaux peuvent être des constructions d'autoroutes, de ponts, de canaux, tunnels, etc.

La topographie par le biais des levés topographiques, nous permet de connaître l'emplacement exact des éléments existants et de planifier l'aménagement de nouveaux éléments ; de nouvelles structures, en les plaçant exactement où nous voulons les placer.

II.1.2 Méthodes et techniques de collecte des données

Les collectes des données jouent un rôle très capital dans le développement de notre milieu physique. Les données précises sont importantes pour la construction d'une route, ainsi que pour la localisation de nos ressources naturelles et nos frontières. Les technologies et les types de levés sont nombreux et peuvent être classés en deux catégories :

- La méthode directe : les levés au sol par station totale, GPS, etc
- La méthode indirecte : les levés aéroportés par photogrammétrie, Lidar, etc

Le choix de la méthode à utiliser est fonction des critères suivants :

- ✓ La précision recherchée : pré-etude grossière, lever expédier,...
- ✓ La nature du terrain : relief, masques, couvert, étendue, distance des points...
- ✓ La densité requise des points du levé

- ✓ Disponibilité des points de rattachement
- ✓ Etc

Dans le domaine routier, on prend en compte un autre critère déterminant qui est la nature des travaux à construire :

- En cas de constructions neuve sur un grand espace : l'utilisation de la photogrammétrie est très souhaitée malgré qu'elle est assez limitée en terme de précision, surtout pour les terrains accidentés. Mais sur un espace moins important, la méthode directe est la plus précise et recommandée.
- En cas d'entretien ou récupération de la chaussée existante : un levé très minutieux avec une bonne précision, ceci nécessite l'utilisation des méthodes de levé au sol. Ceci étant, malgré leur haute précision, elles restent limitées en termes de rendement.

Notre collecte de données a été faite par la méthode directe et nous a permis, grâce au traitement des données, d'avoir les informations nécessaires sur notre terrain cible. Cette étude va nous permettre, à partir du profil en long du terrain naturel que l'on va obtenir, de marquer décisivement sur différentes pentes et rampes de la ligne du projet afin de limiter les besoins en matériaux sur le chantier. (les résultats de cette étude seront présentés en annexe)

II.2 Caractéristiques géométriques

Les caractéristiques géométriques d'une route sont définies en fonction du trafic à écouler et du niveau de confort et de sécurité que l'on souhaite offrir à l'utilisateur.

II.2.1 Distance d'arrêt

En tout point du tracé, la visibilité doit être suffisante pour que le véhicule puisse voir à temps un obstacle placé sur la chaussée et qu'il puisse réaliser, dans des conditions acceptables, une manœuvre de dépassement. Pour ce qui concerne l'arrêt avant un obstacle, on doit distinguer les obstacles permanents (par exemple musoir d'îlot directionnel) dont la hauteur est connue, et les obstacles imprévus, dont la hauteur conventionnelle est supposée être 0,15 m.

La distance d'arrêt en ligne droite est, donnée par la formule suivante:

$$d_1 = \frac{0,55V + 4V^2}{100f} \quad (1)$$

Avec

V : la vitesse du véhicule en (km/h),

d1 : la distance d'arrêt en alignement en (m) et

f : étant le coefficient de frottement.

En courbe, on estime que le freinage ne peut pas être aussi énergique, et la distance d2 prise en compte est obtenue en majorant de 25 % le terme $4/1000$ dès lors que le rayon en plan R (m) est inférieur à $5 V$ (km /h). Les coefficients de frottement pris en compte par les règlements français diminuent lorsque la vitesse augmente comme le montre le Tableau 3 qui donne également les distances d'arrêt d1 en ligne droite et d2 en courbe.

Tableau 3 Distances d'arrêt en ligne droite d1 et en courbe d2 à différentes vitesses [10]

V(km/h)	40	60	80	100	120	130	140
F	0,46	0,46	0,42	0,38	0,34	0,32	0,3
d1(m)	40	70	105	160	230	275	330
d2(m)	45	80	120	180	280	330	390

Il faut insister sur le caractère conventionnel de ces chiffres. Sur un mauvais revêtement, en cas de pluie, et s'il y a blocage des roues, l'adhérence effective peut être très inférieure à ces valeurs.

II.2.2 Tracé en plan

Le tracé en plan est la projection sur un plan horizontal de l'axe de la chaussée. C'est une succession de droites, d'arcs de cercle et de courbes de raccordement [14].

1. Choix du rayon des virages

Le rayon des arcs de cercle et leurs dévers doivent permettre au minimum à un véhicule roulant à la vitesse de référence V_r de ne pas déraper. Le rayon minimal dépend donc des dévers et du frottement mobilisable. Le dévers ne doit pas être trop grand pour éviter le risque de glissement à faible vitesse par temps de verglas. Il est recommandé de le limiter à 7 % [14].

Le rayon au dévers minimal (RH) est le rayon qui permet de déverser la chaussée à une valeur minimale de 2% (chaussée rigide) ou de 2.5% (chaussée souple). Ce rayon correspond au dévers minimal que doit présenter toute chaussée.

Il faut donc éviter de très longs alignements droits favorables à l'éblouissement par les phares et créent chez les conducteurs une certaine torpeur. Il est recommandé d'alterner les alignements droits et les courbes de grands rayons. La combinaison des alignements droits et courbes doit respecter dans la mesure du possible les contraintes topographiques, politiques, économiques, sécuritaires et de confort. En fonction de la vitesse de référence adoptée, des valeurs minimales des rayons permettant d'atteindre principalement les objectifs de confort et de sécurité.

II.2.3 Le Profil en long

a. Caractéristiques générales [15]

Le profil en long est la représentation d'une coupe verticale suivant l'axe d'un projet linéaire de la route. Il est constitué de segments de droite raccordés par des arcs de cercle caractérisés par leur rayon. Pour les segments de droite, on parle de pente ou de rampe suivant que la route descend ou monte dans le sens de la marche. Les rampes sont contraignantes pour les véhicules lourds dont elles augmentent les consommations. Elles le sont d'autant plus qu'elles sont plus longues et que le véhicule perd le bénéfice de son élan initial. Le ralentissement de ces véhicules perturbe, de plus, la circulation générale.

Outre le respect des rampes maximales, on doit s'efforcer, dans la conception générale du tracé, de réduire la dénivelée cumulée qui influe directement sur le coût de circulation des véhicules lourds. Cependant, il peut en résulter un enchérissement du projet. Seule l'étude économique peut permettre de définir l'optimum d'aménagement.

Le choix des rayons en angles saillants RV est basé sur les conditions de visibilité.

Il existe deux types de profils à long dont :

- ❖ Le profil en long du terrain naturel : C'est la représentation sur un plan vertical des différents points (en X et Z) du terrain naturel suivant l'axe du tracé en plan choisi.
- ❖ Le profil en long du projet : C'est la représentation des éléments définissant en altitude de la route suivant le cheminement du tracé en plan. Cette représentation est appelée ligne rouge.

II.2.4 Le profil en travers

C'est la coupe transversale de la chaussée et de ses dépendances. Il permet de connaître la position des points théoriques d'entrée en terre des terrassements, l'assiette du projet et son emprise sur le terrain naturel et les cubatures (volumes de déblais et de remblais).

1. La largeur de chaussée

Il n'y a pas de largeur minimale réglementaire pour une chaussée. Cette valeur doit être retenue en fonction du type de véhicules circulant ou attendus sur l'itinéraire et des vitesses prévues. Le choix du nombre de voies de circulation, celui de leur largeur et celui de la structure générale du profil en travers est à la fois dicté par les débits que l'on souhaite écouler et par la fonction que l'on souhaite faire jouer à la route [5]. La Figure 3 illustre la constitution du profil en travers :

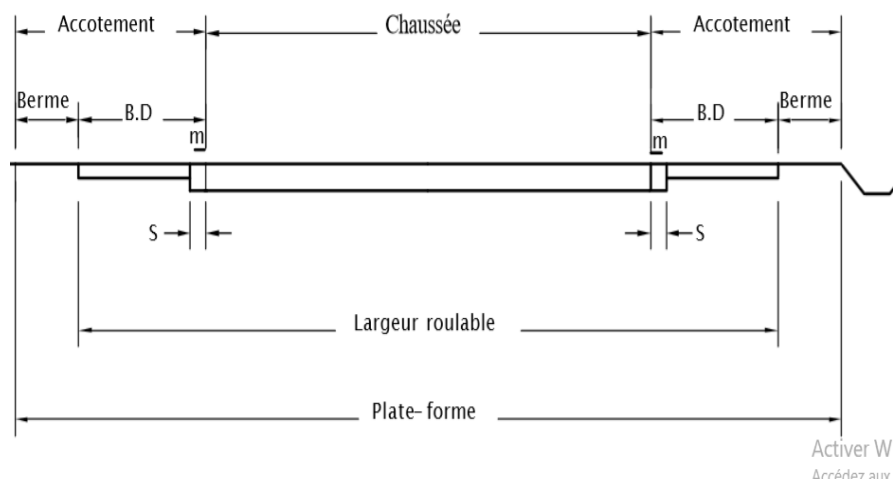


Figure 3 Eléments constitutifs du profil en travers [14]

Les marges de sécurité latérales doivent tenir compte des vitesses pratiquées sur l'itinéraire et de ce fait, des valeurs de 3,00 à 3,50 m sont usuellement retenues pour les routes principales. Le standard international se situe à 3,50m. En fonction des contraintes de topographie et de l'importance du trafic poids lourd, des largeurs inférieures peuvent être adoptées. Toutefois Pour les voiries existantes de largeur de chaussée comprise entre 4 et 6 m, il est important de noter que les niveaux de vitesse pratiquée sont très sensibles aux largeurs de route et en conséquence, toute intervention en matière d'élargissement de chaussée devra tenir compte de l'impact en matière d'augmentation des vitesses [16].

II.2.5 Les dévers

Le dévers ou pente transversale permet de favoriser l'évacuation des eaux de surface. Dans les rayons de courbure faible, il contribue à l'équilibre dynamique des véhicules. Toutefois, cette contribution reste limitée et sa valeur est donc plafonnée (généralement à 7%). Au-delà de cette valeur plafond, d'autres problèmes surviennent et notamment des difficultés constructives [14].

En section courante, le profil de la chaussée est en toit, la pente de chaque versant résulte d'un compromis entre la recherche d'un écoulement rapide des eaux de pluie et la limitation de l'instabilité des véhicules lorsqu'ils passent d'un versant à l'autre. Pour la chaussée on adopte les pentes transversales suivantes [14] :

- ✓ Chaussée en béton de ciment : 2,0 % ;
- ✓ Enduit superficiel ou enrobé : 2,5 % ;
- ✓ Chaussée non revêtue : 4,0 %.

En courbe, le profil ne comporte plus qu'un seul versant, dont la pente est le dévers évoqué précédemment, le passage d'une situation à l'autre nécessitant une zone de transition. Cette zone doit être très soigneusement étudiée, particulièrement pour les chaussées de grande largeur, pour éviter les accumulations d'eau génératrices d'aquaplanage.

II.3 Méthodes de dimensionnement

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement structural de la chaussée, qui se sont développées soit à partir des observations expérimentales de comportement de chaussée sous le trafic (méthodes partiellement ou entièrement empiriques), soit à partir de fondement théorique basé sur l'analyse des contraintes et déformations engendrées au sein de la structure de la chaussée et du sol, en relation avec les caractéristiques des matériaux (méthodes analytiques ou mécanistiques ou rationnelles). Nous allons parler que de la méthode que nous avons utilisée dans notre travail.

II.3.1 Les méthodes empiriques

Les méthodes empiriques de dimensionnement font appel exclusivement à des expériences comparant le comportement à long terme de diverses structures pour différentes conditions climatiques et de trafic. Elles sont basées sur l'observation faite lors de la réalisation d'une série des tests pour lesquels on charge les épaisseurs données jusqu'à la rupture. C'est cette charge à la rupture qui sera considérée.

Parmi les méthodes empiriques, on peut citer la méthode CBR, CEBTP, AASHTO de l'Asphalt Institute, etc.

L'attention de ce travail sera focalisée sur la méthode CEBTP étant donné que c'est une méthode qui est le plus adaptée pour la zone tropicale [17].

A. Méthode CEBTP

Cette méthode tient compte de deux critères : l'intensité du trafic et la portance de la plateforme. La connaissance de ces deux critères donne l'épaisseur de la couche de fondation, de la couche de base et du revêtement. Les possibilités d'utilisation de différents matériaux sont conditionnées par l'intensité du trafic et la nature du matériau. La méthode décrit 5 classes de trafic exprimées en nombre cumulés de passage d'un essieu équivalent de 13 tonnes et 5 classes de portance de la plateforme. C'est ainsi qu'elle donne des épaisseurs en centimètres de corps de chaussée.

1. Le trafic

Le trafic exprime la circulation ou la fréquence en nombre N cumulé d'essieux équivalent d'un tonnage déterminé caractéristique des véhicules circulant sur une route. L'effet destructeur d'un véhicule, à chaque passage sur une chaussée, dépend grandement du poids total du véhicule du nombre de ses essieux et du nombre des roues qui transmettent la charge totale à la chaussée, ainsi que de leurs dispositions relatives. L'étude du trafic en vue du dimensionnement des chaussées comporte trois phases :

- La détermination de l'intensité des charges de la circulation,
- La détermination de la composition du trafic et du nombre d'application des charges,
- La prévision de l'accroissement du trafic initial.

Pour déterminer la composition du trafic en charges diverses et en nombres de répétitions présents et futurs, il est nécessaire d'effectuer des enquêtes de la circulation telles que les comptages automatiques ou périodiques, des études origine-destination et des enquêtes sur la composition et le poids des véhicules. Plusieurs modèles permettent d'évaluer le trafic cumulé. Les deux modèles les plus connus sont le modèle linéaire et le modèle exponentiel. Ainsi le modèle qui approche le plus l'évolution du volume de la circulation reste le modèle exponentiel.

Le modèle exponentiel est donné par la formule :

$$365 * n * TMJA * CAM * \frac{(1+i)^n - 1}{n} \quad (2)$$

Avec,

N : le trafic cumulé en nombre d'essieux standard après n années ;

n : la durée de service en nombre d'années

TMJA : le trafic moyen journalier annuel en nombre de poids lourds

i : le taux de croissance annuelle du trafic exprimé en %

CAM : le coefficient d'agressivité moyen.

Le CAM est donné par le Tableau 4 :

Tableau 4 Valeurs de CAM [10]

Giratoire	Chaussée souple ou bitumineuses			Chaussée Hydraulique, béton ou mixtes.		
	Min	Par défaut	Max	Min	Par défaut	Max
Distributeur	2	0,5	1	2	0,5	1
Principale	0,5	1	1,5	0,5	1	1,5

Notre trafic sera tiré dans le tableau 5 ci-dessous après avoir affectuer le comptage au sein de notre tronçon :

Tableau 5 Classe du trafic [17]

Classe du trafic	N cumulé
T1	$\leq 5.10^3$
T2	$5.10^3 < N \leq 1,5.10^6$
T3	$1,5.10^6 < N \leq 4.10^6$
T4	$4.10^6 < N \leq 10^7$
T5	$10^7 < N \leq 2.10^7$

II.4 La structure de la chaussée

Dimensionner une route, c'est parvenir à trouver l'épaisseur de ses différentes couches et le choix des matériaux devant être utilisés s'avèrent nécessaires pour un meilleur service aux usagers. Les méthodes de dimensionnement des chaussées sont multiples et leur application peut varier suivant le type de chaussée et les pays. Etant donné que la structure d'une chaussée doit résister à diverses sollicitations, celle doit assurer la diffusion des efforts induits par spécifiquement le trafic dans le sol de fondation. L'application d'une charge roulante induit ainsi une déformation en flexion des couches de la structure. Cette flexion entraîne des sollicitations en compression au droit de la charge et des sollicitations en traction à la base des couches.

Notre travail se limite à la structure de la chaussée en pierre(ROCHES). La Figure 4 illustre la constitution d'une chaussée en pavées.

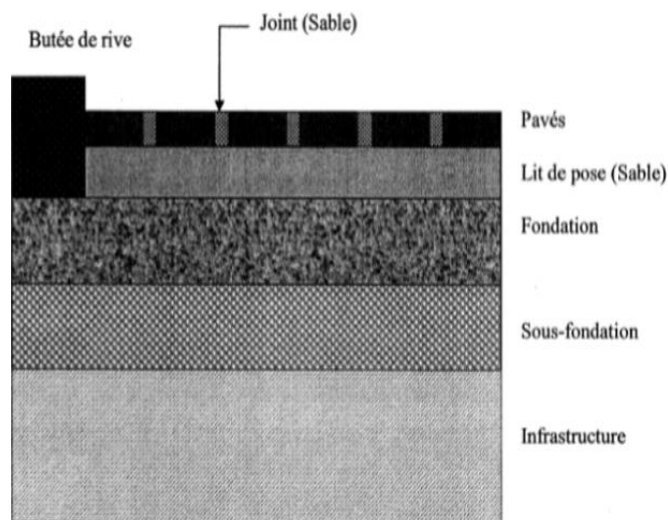


Figure 4 coupe schématique d'une chaussée revêtue pavées [17]

II.4.1 La fondation [18]

La couche de fondation apporte à la chaussée la résistance mécanique nécessaire pour supporter les charges induites par le trafic. Elle repartit ainsi ces dernières sur le sol support. Ainsi, avant la mise en place du sol de fondation, il est recommandé de compacter directement le fond excavé à l'aide d'un compacteur : vibrant de préférence. Lorsque le sol en place est de type pulvérulent

comme l'argile, le sol ne doit pas être compacté et pour prévenir la contamination des matériaux apportés (le sol de fondation) et assurer une plus grande stabilité on doit utiliser une membrane géotextile pour isoler le sol de fondation. Le sol de fondation doit être fait à l'aide d'un matériau grenu souvent le sable ou à l'aide de la pierre concassée. Le sol de fondation est étendu et compacté par couches successives de 100mm à l'aide d'un compacteur (d'une pilonneuse ~ jumping jack) jusqu'à l'obtention de la hauteur voulue. Pour les zones piétonnes, la couche de fondation est d'une épaisseur d'environ 20 cm, dans les zones soumises à la circulation de véhicules, elle doit être d'une épaisseur d'environ 30–40 cm.

II.4.1.1 Le lit de pose [18]

Le lit de pose est une couche de sable ou de criblure de pierre bien propre et bien fin. La classe granulaire utilisée à cet effet est de 03. Le lit de pose reposera sur la couche de base et subira un damage des bords vers l'intérieur pour avoir une épaisseur finale de 4–5 cm. Ce damage doit être bien mené pour éviter les risques d'un affaissement futur. Aussi, doit-on aménager un dispositif de drainage de l'eau contenue dans le corps de chaussée. Ainsi, on s'efforcera de réaliser un profil avec devers d'un côté pour permettre à toute goutte d'eau de s'écouler de l'intérieur vers les bords. Seuls les pavés de bords nécessitent un blocage particulier et ce blocage sera assuré par les bordures. Dans le cas de la voirie urbaine, cette bordure est constituée par les canaux latéraux d'assainissement. De façon pratique, la mise en place du lit de pose doit suivre les étapes suivantes :

- Étendre 25 mm de sable à béton ou de criblure de pierre. Pour le niveau final, on tiendra compte du fait que le lit de pose sera réduit de 10 mm après le compactage.
- Nivelier le sable ou la criblure de pierre à l'aide d'une planche droite sur deux tuyaux de 25 mm ;
- Ne pas compacter la criblure ou le sable.

Une hauteur de lit de pose adéquate est un facteur important. Si l'épaisseur du lit de pose est trop faible, les pavés risquent de subir du poinçonnement sous l'effet de la charge alors qu'une épaisseur trop élevée risque d'engendrer un tassement différentiel. La figure 5 montre l'effet de la hauteur du lit de pose sur la déformation du revêtement sous l'effet d'une charge de roue.

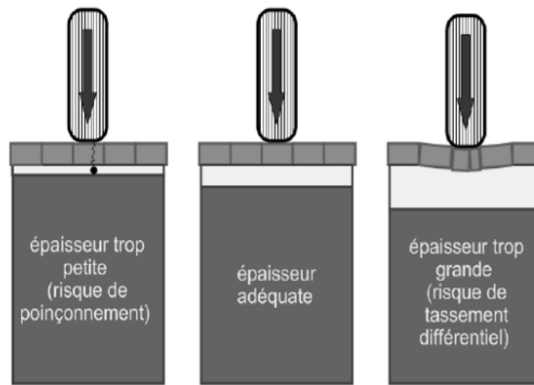


Figure 5 Effet de la charge sur la hauteur de lit de pose [19]

II.4.1.2 Couche de roulement

Elle est faite par les pavés en pierre volcanique ou basalte dont les caractéristiques sont reprises dans les paragraphes qui suivent.

- **Caractéristiques de surface et de sécurité**

Les pavés de pierres doivent offrir une surface de roulement sécuritaire par leur surface rugueuse non glissante. En effet, la rugosité de la surface des pierres limite le glissement des véhicules lors des freinages brusques.

- **Caractéristiques de surface et de confort**

Les pavés de pierres doivent offrir à l'utilisateur et aux riverains un bon confort. L'émission de bruit est favorisée par les irrégularités ayant une longueur de défaut de quelques centimètres (qui favorisent la mise en vibration des flancs des pneumatiques). Par les décalages relatifs des pavés les uns par rapport aux autres et par une macro-texture élevée. À l'autre extrême, une surface très fermée et lisse est responsable de l'émission de sifflements.

- **Caractéristiques de protection du reste de la chaussée**

Les chaussées réalisées doivent permettre une protection du reste de la chaussée vis-à-vis des facteurs de l'environnement climatique tels que l'eau (l'étanchéité) et la température (vieillesse). Ainsi, les pavés de pierre dans leur mise en œuvre doivent présenter une grande faculté de drainage des eaux.

II.4.1.3 Étapes de mise en œuvre de la technologie [19]

Les techniques d'installation ont pour but de conserver la surface plane et empêcher les déformations causées par le compactage inégal du sol avec le temps. Les différentes étapes se résument successivement en : la pose des pavés et le remplissage des joints.

1. La pose des pavés de pierres

Le pavage doit toujours être adapté au profil du terrain : hauteurs, pentes et alignements. Les précautions suivantes doivent être respectées pour une bonne pose des pavés de pierres :

- Disposer les pavés à partir d'un coin et à angle de 90 degrés ;
- Progresser en marchant sur les pavés et jamais sur le lit de pose ;
- Vérifier l'alignement des pavés à toutes les 5 rangées.

2. Le remplissage des joints

Il est important respecter l'écart des joints. Il doit être d'au moins 3 mm. Bien que cette étape soit souvent négligée par les ouvriers mais elle s'avère d'une importance incontestable. Ainsi, successivement les étapes suivantes doivent être respectées :

- Pour bien égaliser la surface des pavés, on utilisera une plaque vibrante qu'on passera à deux reprises dans les deux sens. Les pavés s'affaisseront d'environ 10mm.
- Étendre du sable à béton sur les pavés. Une fois le sable sec, balayer le sable dans les joints et cela dans tous les sens.
- Repasser la plaque dans les deux sens et enlever le surplus de sable si après quelques jours, certains joints ne sont pas suffisamment remplis, sabler à nouveau et repasser le balai.
- Réaménager l'assise suivant une périodicité quinquennale et ré-sabler le pavé chaque année au besoin.

Disons qu'après le comptage et les calculs notre trafic a été retrouvé dans la classe T_1 . Après quoi nous l'avons majoré pour la classe T_2 car après dimensionnement nous supposons que le trafic va croître par rapport à avant dimensionnement ; cela sera vu dans le troisième chapitre.

2. Les caractéristiques du sol support [20]

La plate-forme, couche du mètre supérieure des terrassements doit pouvoir supporter les charges transmises par les autres couches de la chaussée sans subir de dommages. Les caractéristiques du sol support induisent la classification de ce dernier suivant sa portance. Il existe plusieurs méthodes de classification des sols (méthodes LCPC, RTR, CBR).

La portance est la capacité qu'a un sol de résister aux charges qui lui sont soumises. Ce paramètre est très important dans la construction de la chaussée car elle permet d'affirmer ou de déterminer, à l'aide de l'essai CBR, la qualité d'un sol, à supporter une structure routière sans qu'il se produise les phénomènes de tassement excessif.

- ✓ **L'essai CBR** : L'indice portant californien ou CBR est un nombre sans dimension exprimant en pourcentage le rapport entre les pressions produisant dans le même temps un enfoncement donné dans les matériaux étudiés d'une part et dans un matériau type d'autre part. La valeur de l'indice CBR, critère de portance, est un élément d'appréciation du sol en vue de sa réinitialisation en remblai.
- ✓ **But de l'essai** :

L'essai consiste au compacte d'un échantillon d'un sol d'infrastructure dans un cylindre de 15 cm de diamètre et de 15 cm à 18 cm de hauteur. On immerge ainsi l'échantillon dans l'eau pendant quatre jours. On le retire ensuite on le laisse s'égoutter pendant 15 min. Puis, aussitôt l'échantillon est soumis, avec sa surcharge à la pénétration d'un piston de 5 cm de diamètre se déplaçant à la vitesse de 1 mm/min sous une charge variant de façon à garder constante la vitesse de pénétration. On note des charges correspondantes à des pénétrations de 2,5mm, 5mm, 10mm et 12,5mm. On trace une courbe des pénétrations en fonction des charges ; si c'est nécessaire, on la corrige, puis on l'utilise pour la valeur d'unité de charge correspondant à 2,5mm de pénétration. On compare cette vitesse à celle qui est requise pour effectuer la même pénétration dans le roc concassé, c'est-à-dire 70kg/cm² [21].

Les résultats obtenus permettent de classer le sol et de calculer à partir des abaques les épaisseurs de couches de la structure et définir les matériaux.

Pour le cas de notre travail il était question de faire l'essai CBR au laboratoire de Génie Civil de l'ULPGL Goma. Vu que cet essai ne va pas seul ; on commence toujours par effectuer l'essai Proctor ; précisons que c'est le proctor modifié qui a pour but de déterminer l'optimum proctor pour afin poursuivre avec le CBR. Après le laboratoire notre CBR a été de 24,6 c'est à dire entre 15 et 30 après quatre jours d'imbibition. Ceci a permis de situer la plate-forme du projet dans la classe de S4 sur le guide CEBTP. Voici le tableau 6 de classification CBR :

Tableau 6 Classification selon le CBR [17]

CBR	Classe du sol
≤ 5	S1
$5 < \text{CBR} \leq 10$	S2
$10 < \text{CBR} \leq 15$	S3
$15 < \text{CBR} \leq 30$	S4
$\text{CBR} > 30$	S5

II.5 Assainissement routier [22]

La vie humaine, la vie animale, l'activité industrielle, sont à l'origine de la production de déchets qui, en cas de concentration excessive et mal maîtrisée, peut mettre en cause la santé des individus. Il faut supprimer ces causes d'insalubrité et pour cela :

- éloigner rapidement et sans stagnation tous les déchets susceptibles de produire des putréfactions et des odeurs ;
- prendre toutes les dispositions pour éviter que les produits évacués n'entraînent de contamination, de pollution et de perturbation du milieu constituant leur destination finale (en particulier les sols, les nappes phréatiques, les cours d'eau, les lacs, les mers, etc.).

Ces deux concepts simples suffisent pour définir les fonctions de l'assainissement, qui consiste à résoudre deux problèmes très différents qu'il convient de ne pas confondre :

Assainissement = évacuation + épuration

Évacuation = ensemble des procédés permettant d'assurer la collecte et l'évacuation rapide des déchets.

Épuration = ensemble des traitements applicables à des déchets avant rejet dans un milieu naturel. L'assainissement a donc pour but d'assurer la collecte, le transport et si besoin, la rétention des eaux pluviales et des eaux usées et de procéder à leur prétraitement puis à leur traitement avant rejet dans le milieu naturel. Les techniques utilisées doivent être compatibles avec les exigences qu'impose le respect de la santé publique et de l'environnement. Il apparaît que les fonctions dévolues à l'assainissement sont nombreuses. Par ailleurs, la nature et l'importance des équipements à mettre en œuvre pour assurer ces fonctions sont variables. Ils dépendent en effet, du type d'habitat (assainissement collectif autonome), de la topographie du site (système gravitaire ou non gravitaire), de la nature des effluents concernés (système séparatif, unitaire ou mixte), de

la nature du sous-sol, etc. Il est évident qu'il existe plusieurs types d'ouvrage d'assainissement des eaux de pluie ; dans le cas de ce travail, nous aurons à utiliser les fossés comme ouvrage d'assainissement.

II.6 Choix de matériaux

La qualité de service d'une route est étroitement liée aux caractéristiques des matériaux constituant sa structure. C'est donc dire qu'une importance particulière accordée à l'étude des matériaux à sélectionner pour réaliser la structure de la chaussée. Il sied de signaler que pour la couche de base et celle de roulement les matériaux sont respectivement les scories volcaniques et les pavés en basaltes. Tableau 10 offre plus de synthèse et d'éclaircissement :

Tableau 7 constitution en couche de la chaussée en étude [10]

Revetement	En pavés basaltiques
Couche de base	En scories volcaniques
Couche de fondation	Sol en place (GNT concassée)

II.6.1 Matériau de la couche de base

A Goma, les sites potentiels pour le ravitaillement en matériaux de construction des routes sont nombreux mais une carrière a particulièrement attiré l'attention de ce travail : La carrière de MUNIGI, situé sur la RN2 et allant vers Rutshuru. Cette dernière devant respectivement intervenir pour la fourniture des matériaux pour la couche de base.

II.6.2 Matériau de la couche de roulement

Comme dit précédemment le revêtement sera en pavés basaltiques. Le choix de cette technologie se justifie par la simplicité de mise en œuvre imposée par cette dernière et sa disponibilité.

Pour l'aménagement du tronçon en étude il sera question d'utiliser les pavés de 15cm de longueur, 8cm d'épaisseur et 10cm de largeur en provenance de l'entreprise SOCCOC à Goma.

II.7 Matériel et logiciels utilisés

Au cours de l'élaboration de ce travail, les matériels et logiciels utilisés sont les suivants :

- **Le GPS** (Système Mondial de Positionnement) : c'est un système de Géopositionnement par satellite qui fonctionne sur le principe de triangulation des signaux électromagnétiques

synchronisés émis par les satellites [23]. Cette technologie a permis de récolter sur terrain les coordonnées de l'axe principale du tronçon en étude qui sont présentées en annexe.

- **Le logiciel Google Earth** : c'est un logiciel développé par la société Google, permettant une visualisation de la Terre avec un assemblage de photographies aériennes ou satellitaires. Ce logiciel permet à tout utilisateur de survoler la Terre et de zoomer sur un lieu de son choix. Selon les régions géographiques, les informations disponibles sont plus ou moins précises. Pour ce travail, le logiciel Google Earth a permis d'avoir une vue aérienne sur le milieu d'étude qui est présenté au chapitre suivant.
- **Le logiciel Global Mapper** : Le logiciel Global Mapper est une application qui donne accès à une variété inégalée de jeux de données spatiales. Utilisé aussi bien comme outil autonome de gestion des données spatiales que comme élément intégral d'un système d'information géographique (SIG) à l'échelle de l'entreprise, Global Mapper est indispensable pour quiconque travaille avec des cartes ou des données spatiales. Ce logiciel a permis d'avoir les coordonnées géographiques (x, y, z) de l'ensemble du milieu d'étude.
- **Le logiciel AutoCAD civil 3D** : c'est un logiciel CAO développé par Autodesk. Le logiciel AutoCAD Civil 3D répond aux besoins des entreprises de génie civil impliquées dans des projets de génie civil autonomes et BIM (Building Information Modeling). Construit sur une plate-forme AutoCAD familière, Civil 3D a été spécifiquement conçu pour répondre aux besoins complexes des ingénieurs civils du monde entier impliqués dans des projets de génie civil complexes et exigeants tels que l'aménagement du terrain, le transport et même l'eau. Ce logiciel a permis d'avoir les différents tracés de l'axe en étude et la cubature. Bref il a permis de faire l'aménagement du tronçon en étude.

II.8 CONCLUSION PARTIELLE

Dans ce chapitre nous avons premièrement présenté la méthode d'étude topographique ; en suite le dimensionnement horizontal de la route ; ce chapitre a permis d'avoir une aperçue sur les caractéristiques géométriques de la route. Il a aussi traité sur la structure de la chaussée ; qui est constituée d'une couche de roulement faite par le matériau roche basaltique, le dimensionnement des ouvrages d'assainissement routier, se basant principalement sur les fossés triangulaires, En fin, nous avons eu à présenter les différents outils et logiciels que nous avons utilisé.

Chapitre III : DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE TRONÇON

ROUTIER Afia bora-Rue katindo II

Ce chapitre présente le tronçon en étude, traite en plus sur le dimensionnement horizontal du tronçon, le dimensionnement des ouvrages d'assainissement de la chaussée ; les résultats obtenus pour l'essai effectué au laboratoire et son interprétation ; le dimensionnement structurel de la chaussée ainsi que de cubatures.

III.1. Présentation du tronçon en étude

III.1.1. Levées topographiques, situation géographique et climatologie

Une levée topographique consiste à prélever les données ou les différentes mesures du milieu en étude pour enfin représenter sur le plan ou une carte des formes et détails visibles sur le terrain. Son objectif est de déterminer la position et l'altitude de n'importe quel point situé dans une zone donnée. Le tronçon en étude est situé en République Démocratique du Congo, dans la province du Nord-Kivu, dans la ville de Goma, commune de Karisimbi, dans le quartier Katoyi, Avenue Bukonde. Long de 561 m d'une emprise moyenne de 10 m non revêtu, ce tronçon présente les caractéristiques suivantes :

- ✓ Il y a création des zones de rétention d'eau le long de la route car certains points sont plus surélevés par rapport à d'autres ;
- ✓ La pente maximale du terrain naturel est de 3.9% et -3.0% ; alors que la pente minimale est de 1.0% et -1.8%.
- ✓ Le point le plus élevé est à 1529 m d'altitude pendant que le point le plus bas est à 1525 m, soit une différence de 4 m.

La ville de Goma, quant à elle, se trouve dans la zone tempérée avec un climat de montagne. Elle connaît annuellement deux saisons : la saison de pluie et la saison sèche. La saison de pluie peut aller de 6 à 7 mois par an. Ses coordonnées géographiques sont :

- Latitude ($1^{\circ} 45'$ Sud) ;
- Longitude ($29^{\circ} 14'$ Est) ;
- Altitude (1401.8 m du Niveau de la Mer).

Le lac Kivu, situé au sud de la ville de Goma, sert d'exutoire principal pour toutes les eaux de ruissellement [7]

Les figures 6 et 7, tirées de Google Earth, présentent respectivement la vue aérienne du tronçon et l'allure du terrain naturel (terrain non revêtu) :



Figure 6 Vue aérienne du tronçon en étude en rouge

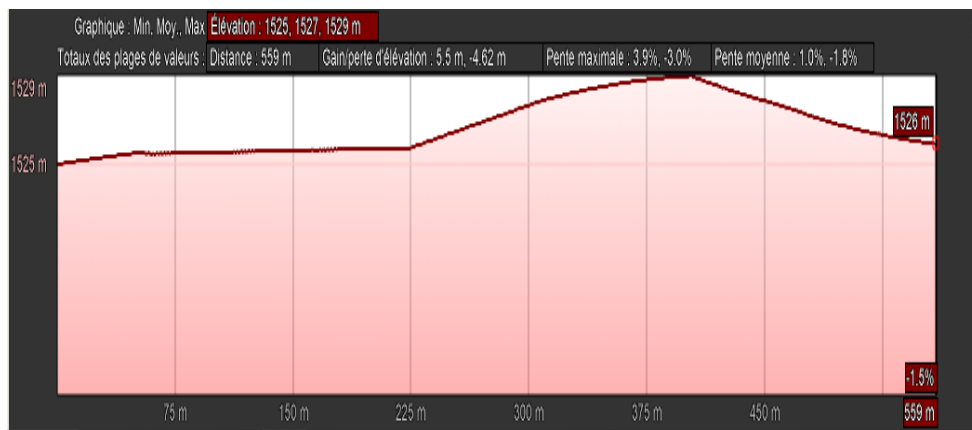


Figure 7 Allure du Terrain Naturel

III.1.2. Etat de lieu

Les informations ci-après donnent une brève description de l'état actuelle du tronçon en étude :

- Le tronçon présente des canalisations d'eau
- Le tronçon en étude n'est pas revêtu et est en état de délabrement, surtout en période de pluie ;
- Il présente, sur certaines zones, des points de rétention d'eau ; d'où des flaques d'eau qui rendent la circulation pénible.

III.2 Dimensionnement horizontal de la route

Le tracé routier étant défini par son axe en plan, de la position en altitude ou profil en long et de son gabarit ou profil en travers, le présent travail, s'est proposé d'aménager une route en pavée des pierres volcaniques dont les caractéristiques géométriques sont présentées dans les paragraphes qui suivent.

III.2.1 Le tracé en plan

Le tracé en plan du projet, long de 561 m, se présente comme suit :

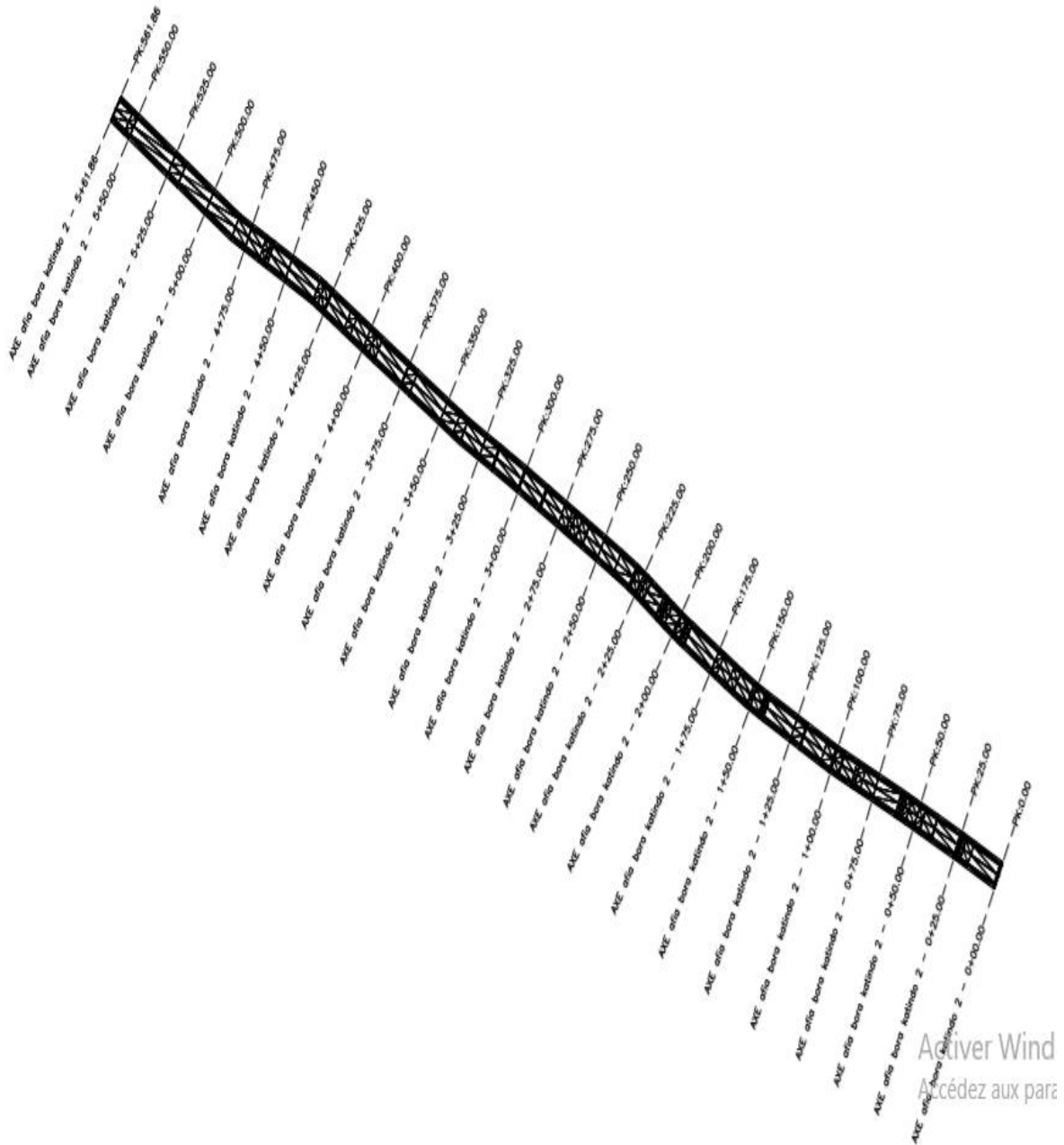


Figure 8 Vue en plan du projet en étude

III.2.2 Le profil en travers

Etant une coupe transversale de la chaussée et ses dépendances, le profil en travers de la chaussée qui fait l'objet de ce travail a pour caractéristique :

- Plate-forme : elle a une largeur de 10 m ;
- La chaussée : elle est de type 2×1 dont chaque voie est de 3,5 m donc au total 7 m ;
- Dévers : ayant pour rôle de favoriser l'écoulement des eaux de surface, le dévers de 2% a été retenue ;

- Fossé triangulaire de 0.45m de large et bordure de 0.15m de large.

Pour notre travail, la chaussée est constituée de 3 couches dont la fondation, le lit de pose et la couche de roulement qui est donc le pavé lui-même. D'autres profils en travers seront illustrés en annexe. Mais, voici la figure 9 qui illustre le profil en travers type de notre chaussée :

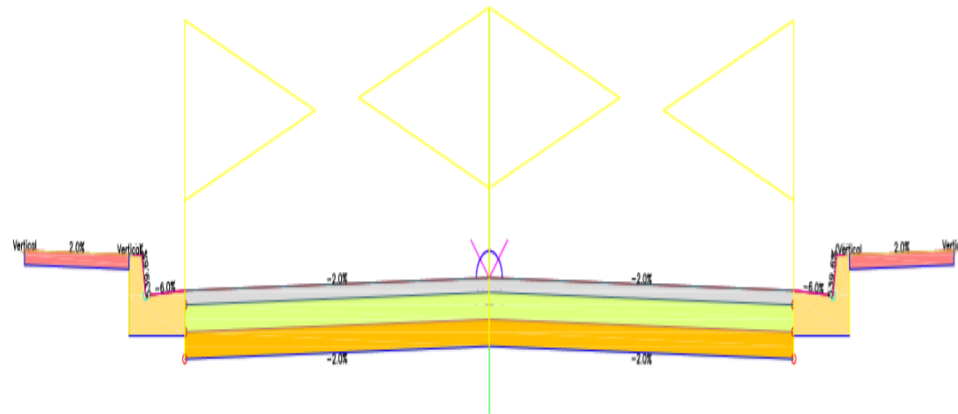


Figure 9 illustre le profil en travers type de la chaussée aménagée.

III.2.3 Le profil en long

Le profil en long d'une route est une coupe vertical du sol naturel et du projet selon l'axe du tracé en plan ; elle comprend une ligne noire (dit tracé altimétrique du terrain naturel) et une ligne rouge du projet (dit tracé altimétrique du projet). Elle se présente comme suit :

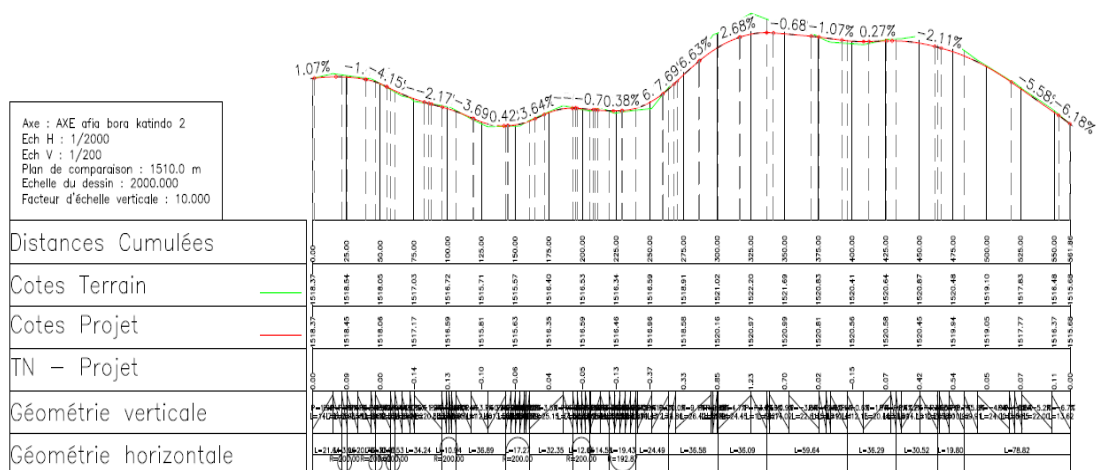


Figure 10 Profil en long du projet en étude

III.3 Dimensionnement structurel de la chaussée

III.3.1 Choix de la méthode de dimensionnement

Il sied de signaler que les chaussées revêtues de pavés ont un comportement qui s'apparente à celui des chaussées souples [24]. Ainsi les méthodes de dimensionnement présentées sur le point II.3.4 de ce travail, dérivent généralement des méthodes utilisées pour les chaussées souples. D'une manière générale, ces méthodes sont utilisées en convertissant les couches de pavés et de lit de pose en une couche unique d'un matériau connu par un facteur d'équivalence.

De ce fait, la couche unique est caractérisée par un module combiné du système "pavés + lit de pose" et il est alors possible d'avoir recours aux méthodes de dimensionnement usuelles utilisées pour les chaussées souples. Ainsi, le CMA en 2004 a recensé divers facteurs d'équivalence et le matériau correspondant, présentés dans le tableau 8 :

Tableau 8 Résumé de différents facteurs d'équivalence du système "pavés + lit de pose"

Pays	Le système "pavés + lit de pose" est équivalent à :
Argentine	2,5 fois l'épaisseur de sous-fondation granulaire
Australie	2,1 à 2,9 fois l'épaisseur de fondation de pierres concassées 1,1 à 1,5 fois l'épaisseur d'enrobé bitumineux
USA	165 mm de revêtement d'enrobé bitumineux 2 à 2,85 fois l'épaisseur de fondation granulaire
Royaume-Uni	225 mm de sol stabilisé au ciment 160 mm de béton bitumineux coulé

Il est préférable de faire recours à une méthode de dimensionnement utilisée pour une chaussée souple et adapter les résultats au projet en étude dont le revêtement sera en pavé.

III.3.2 Proposition de la structure selon le guide CEBTP

Partant de la formule 1, du résultat trouvé après comptage de véhicules sur notre tronçon pendant 2 jours où nous avons trouvés le TMJA égale à 1184, avec une durée de vie de 15 ans, un taux d'accroissement annuelle du trafic de 4% et un coefficient d'agressivité moyen de 1 provenant du Tableau 3, N sera calculé de la manière suivante :

$$N = 365 * n * TMJA * CAM * \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad (2)$$

D'où

$$N = 365 * 15 * 1184 * 1 * \frac{(1 + 0,04)^{15} - 1}{0,04}$$

$N = 316949,6549 \leq 5.10^3 \Rightarrow$ Ceci implique, partant du Tableau 4 que le trafic est de la classe T1. Après nos analyses nous nous sommes dit que la chaussée aura un trafic élevé après construction, alors nous avons majoré le trafic T1 à T2. Se basant sur le guide de dimensionnement pour les pays tropicaux du CEBTP, pour un trafic T2 et une portance S4, on a une constitution suivante [24] :

- ✓ Couche de base en scorie volcanique de 15cm
- ✓ Couche de fondation en GNT concassé de 20cm

Pour adapter ces résultats au projet en étude, il est important de se référer sur une étude faite par l'interlocking concrete pavement Institute en 1995 qui dit qu'un revêtement constitué de pavés dont la hauteur est de 80mm reposant sur un lit de pose de 25mm est comparable à une épaisseur d'enrobé bitumineux de 105mm avec un module de 3100MPa.

Cela étant, il est donc possible d'adopter une hauteur de pavés comprises entre 5-10cm et un lit de pose de 2-4cm en tenant compte de la normalisation.

En tenant compte du risque de poinçonnement présenté à la Figure 8 et celui du tassement pouvant résulter d'un choix du lit de pose très petit, des erreurs commises sur la charge d'exploitation et en intégrant le facteur de surcharges, il serait utile d'adopter ce qui suit :

- ✓ Un lit de pose d'une épaisseur de 4cm ;
- ✓ Un pavé de 15cm de longueur, 8cm d'épaisseur et 10cm de largeur ;
- ✓ La couche de base de 15 cm ;
- ✓ L'épaisseur de la fondation dépendra du profil en travers du terrain naturel.

En effet, l'indice CBR exprimé en % le rapport entre les pressions produisant dans le même temps un enfoncement donné dans le sol étudié d'une part et dans un matériau type d'autre part ; Par définition cet indice est pris égal à la plus grande des deux valeurs suivantes [25]:

$$I_{CBR2,5} = 100 \times F_{2,5} / 13,6$$

$$I_{CBR5} = 100 \times F_5 / 20,3$$

Avec

- $F_{2,5}$: la force(en KN) à 2,5 mm d'enfoncement
- F_5 : la force(en KN) à 5 mm d'enfoncement
- 13,6 : la force(en KN) à 2,5 mm d'enfoncement pour le matériau type
- 20,3 : la force(en KN) à 5 mm d'enfoncement pour le matériau type

Après les essais au laboratoire notre CBR à 95% c'est-à-dire 5×25(5kg de l'échantillon, 25 coups considéré comme 95% [26] a été de :

Pour 5×25

Tableau 9 resultats CBR après 4 jours d'immerssion

enfoncement	Effort de pénétration	CBR après immerssion
CBR_{2,5}	2,61 ×100 13,6	19,19%
CBR₅	5,00 ×100 20,3	24,6% =24%

D'où notre CBR est de 24,6%⇒La classe de portance est S4(Très élevée) selon le tableau 5.

III.4 Les cubatures

Les mouvements des terres désignent tous les travaux de terrassement, et ils ont pour objectif primordial de modifier la forme du terrain pour qu'il soit disponible à recevoir des ouvrages en terme général. Ces actions sont nécessaires et fréquemment constatées sur les profils en longs et les Profils en travers.

La modification de la forme du terrain naturel comporte deux actions, la première s'agit d'ajouter des terres (remblai) et la deuxième s'agit d'enlever des terres (déblai). Le calcul des volumes des déblais et des remblais s'appelle "les cubatures des terrassements". Nous le montrerons en annexe dans le tableau 11.

III.4.1 Cubature de la couche de base

Le besoin en matériau pour la couche de base sera calculé à partir des données ci-après :

- Largeur de la plate-forme (9,4m) ;
- Longueur de la chaussée (561m) ;

- Epaisseur de la couche de base (15cm).

Ceci, après calcul, donne un volume de 79101m³.

Pour les paves, les dimensions données sont telles que :

- Largeur : 10 cm ;
- Longueur : 15 cm ;
- Hauteur : 8 cm.

Pour connaître le nombre des pavés, il est important de déterminer la surface de la chaussée et la surface du trottoir car destine en pavés basaltiques également.

- La surface de la chaussée est donnée par : 561m×7m= 3 927m²
- La surface du trottoir : 561m×1.2m=673,2 m²
- La surface d'un pavé : 0,1m×0,15m= 0,015 m² Le nombre de pavés total sera donné par :

$$NP = \frac{SC+ST}{SP} (3)$$

Avec, **SC** : surface de la chaussée

ST : surface du trottoir

SP : Surface d'un pavé.

D'où, **NP = 306 680 pavés**. Ce nombre de pavé que nous avons majorés à **NP= 306 980 pavés** suite à la mesure de prudence en supposant que certains peuvent se casser lors du chargement et dechargement aussi.

III.4.2 Trottoirs

Pour permettre aux piétons de circuler aisément, les accotements de la chaussée seront en trottoir de deux côtés de la chaussée. Les trottoirs seront d'une dimension de 1.2 m de largeur. Ils seront construits en pavé en roches basaltiques. Les pavés seront déposés sur une base en gravier non traité. Les bordures de séparation de la chaussée avec les trottoirs seront en béton surélevé de 0.5 m de longueur sur 0.15m. le tableau 9 donne la Structure de trottoir.

Tableau 10 La structure du trottoir

Base en scorie volcanique	15 cm
Fondation en grave non traité	20 cm

III.4.3 Calcul de cubatures des terrassement

Avec la notion de triangulation, les surfaces des profils en travers se décomposent simplement en des surfaces des trapèzes et triangles dont le calcul est aisé dès que l'on connaît les côtes du projet, ceux du terrain naturel et les distances partielles sur profils en travers.

Pour les profils mixtes, les surfaces des déblais et celles des remblais ne doivent pas être additionnées. Ainsi, une étude des mouvements des terres serait nécessaire.

III.4.4 Mouvement de terre

C'est l'étude des cubes à transporter et de la longueur de transport. Notons par V le volume des cubes à transporter et d la distance de transport.

Dans le but d'assurer l'économie des matériaux, les terres sont transportées des déblais vers les remblais et les excédents sont mis en dépôt. Lorsque les déblais sont insuffisants pour combler les remblais, on est amené à faire des emprunts. Ces transports se font à des distances variables et parfois indéterminées. Le coût global de transport dépend directement de ces distances, donc de la distance moyenne. Réalisé à l'aide du logiciel Autocad Civil 3D, les cubatures sont présentées par les tableaux 10 et 11 en enexe.

III.5 Dimensionnement des ouvrages d'assainissement

Comme signalé au chapitre précédent, ce travail se focalisera sur le dimensionnement du fossé triangulaire de type 2/1 et 1/2 .

III.5.1 Dimensionnement du fossé latéral

Ce travail s'est proposé de dimensionner sur un coté de la chaussée un fossé de talus 2/1 et ½. Pour calculer le débit des fossés latéraux, on utilise la formule 2 de MANNING qui est la suivante :

$$Q = VS = KSR^{\frac{2}{3}}i^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Etant donné que la hauteur d'un fossé triangulaire est limitée à 0.60m, et les vitesses supérieures à 3.5 m/s déconseillée à cause des débordements dès qu'il y a obstacles, cette vitesse maximale fixe la capacité maximale pour le fossé revêtu en béton qui fait l'objet de ce travail.

Comme développé dans le chapitre précédent, la surface mouillée S et le rayon hydraulique R étant fonction de la hauteur d'eau h , on peut les éliminer de la formule de MANNING, ce qui permet de calculer la capacité limite des fossés triangulaires en fonction des paramètres V et i qui sont fixés.

Pour le cas de ce travail, étant donné que le fossé ne prendra que les eaux de la chaussée et pas les eaux des fossés extérieurs, la vitesse maximale de 3.5 m/s et la pente de 6% ont été retenues.

Se basant alors sur les résultats du Tableau 6 qui présente les capacités max en (l/s) des fossés triangulaires revêtues pour ($h=0,60m$), la capacité du fossé qui est l'objet de ce travail sera de 306 l/s.

Pour éviter les éventuels débordements de l'eau quand les débits dépassent la capacité du fossé ou bien pour que les vitesses d'écoulement dans le fossé n'atteignent pas les limites d'affouillement, les fossés latéraux comporteront des ouvrages de décharges sur chaque 200 m.

Dans notre tronçon, nous aurons trois fossés : au point PK=00m, PK=225m, PK=559m car nous nous sommes rendus compte que la grande quantité des eaux se dirigera vers ce points.

III .6 CONCLUSION PARTIELLE

Après avoir traité principalement du dimensionnement du tronçon routier en étude, ce chapitre a permis d'avoir ses différents tracés, il a aussi parlé du dimensionnement des ouvrages d'assainissement. Par la suite, ce chapitre nous a présenté les résultats généraux et a permis d'avoir les épaisseurs des différentes couches qui constituent la chaussée en étude ainsi que les volumes de cubatures.

CONCLUSION GENERALE

Des études ont montrés que le mauvais état de routes reduit les échanges entre les habitants. Ainsi pour le developpement de la nation, il faut immanquablement passer par la réhabilitation et la construction de plusieurs routes du pays.

Notre sujet en étude étant, le dimensionnement d'une chaussée en pavées des roches basaltiques :cas du tronçon routier afia bora-katindo II, l'objet global de ce travail est celui de réaliser un dimensionnement du tonçon routier Afia bora-Rue Katindo II

Ce travail, contribue dans le sens d'épanouissement du pays, non seulement au plan infrastructure, mais également architectural. Après une étude documentaire des travaux antérieurs et du projet de pavage en cours dans la ville de GOMA, il a été question de préconiser l'aménagement d'une chaussée en pavés de roches basaltiques, avec une durée de vie de 15 ans, cela pour répondre aux problèmes de stagnations des eaux pluviales observés dans ce tronçon, tout en améliorant la qualité touristique de la ville. En termes de ce travail, il s'est avéré important de remarquer que l'avènement des pavés en roches basaltiques, est une réponse pour urbaniser les routes à faibles trafic dans la ville de GOMA et améliorer au même moment la beauté de la ville, étant donné qu'elle est nommée ville touristique. Le choix de ce matériau a été fait non seulement pour sa disponibilité mais également pour sa convenance technique. En effet les roches basaltiques existants à GOMA présentent des caractéristiques physico-mécaniques satisfaisantes. Cependant les résultats obtenus dans le chapitre III du dimensionnement, ont été obtenus en assimilant les chaussées en pavés en une chaussée souple. De ce fait, pour avoir le nombre et épaisseur des couches, il a été question d'utiliser la méthode CEBTP connaissant le trafic T du tronçon en étude qui était égal à : $N = 316949,6549 \leq 5.10^3$ et la portance du sol de notre tronçon après les essaies (Proctor modifier et CBR) au laboratoire de Genie Civil à l'ULPGL Goma, était de **24.6 %**. D'où notre trafic a été dans la classe T1, que nous avons majoré en T2 vu que le trafic augmentera après la construction de la chaussée et notre CBR situé dans la classe S4 car $15 < CBR < 30$ selon le tableau 4. Ces deux données étant très important pour le dimensionnement d'une chaussée, elles nous ont aidé à trouver les dimensions des couches dans les abaques. Ainsi, connaissant aussi la surface de la chaussée, celle du trottoir et celle d'un pavé ; nous avons trouvé le nombre des pavé $NP=306\ 680$ majoré à $NP=306\ 980$ qui seront utiles pour la construction de la chaussée en étude ayant une longueur de 561m et une largeur de 10m .

Ce travail a été un champ d'étude et de fixation des idées innovatrices en matière des infrastructures routières en générale et de dimensionnement des chaussées en pavés de roches basaltiques en particulier.

Ce travail étant une œuvre humaine, donc pourvu d'erreurs, il est du devoir de tout chercheur de compléter, d'apporter des corrections éventuelles pouvant être utiles tout en continuant la recherche étant donné que le domaine routier est très vaste.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Ministère des infrastructures, «Situation des infrastructures en rdc», [En ligne]. Available: <http://www.celluleinfra.org/index.php/le-ministere/situation-des-infrastructures-en-rdc>., 26 Juin 2020. .
- [2] Office des Routes, «Présentation du réseau routier de la R.D. Congo à charge de l'office des routes», http://www.officedesroutes.cd/reseau_routier_presentation.html. [Accès le 18 Avril 2021]., jorochib, 2019. [En ligne]. Available:..
- [3] SAMBOUMBE, dimensionnement mécanistique- empirique des structures de chaussées, DAKAR: Université Cheikh Anta Diop, 2005-2006..
- [4] A. A. E. C. Hind, Cours De Route, Maroc, février 2013.
- [5] D. KASHALA, cours de routes G3 Génie Civil/FSTA,, Goma, inédit, 2021..
- [6] A. C. Christian, Etude comparative des chaussées souples et pavées en pierres Volcaniques : cas du tronçon Arret campus Salomon-Campus Salomon, Goma, Goma: Université libre des pays des grands lacs, 2017-2018..
- [7] A. C. Christian, Etude comparative des chaussées souples et pavées en pierres Volcaniques : cas du tronçon Arret campus Salomon-Campus Salomon,, Goma: Université libre des pays des grands lacs,, 2017-2018. .
- [8] J.-P. Leguary, La rue au Moyen Age,, Ouest France., 1984,.
- [9] Centre d'études et de Recherches de l'industrie du Béton(CERIB), Guide de pose des pavés, dalles et bordures préfabriqués en Béton, vol. 2,, CERIB, Août 2010..
- [10] K. K. Magloire, Aménagement d'une chaussée en pierres volcaniques:cas de l'entrée hotel boneza-musée,, Goma/ULPGL/G3.GC, 2021-2022.
- [11] CIM béton, Voiries et aménagements urbains en béton: Conception et dimensionnement,vol1,, 2019..
- [12] G. K. Djibril, cours des routes, ULPGL/GOMA, 2021-2022.
- [13] I. P. SYAYITSUTSWA, Cours de Topographie,G2/GC, GOMA/ULPGL, 2020.
- [14] J. BERTHIER, Projet et construction de routes..
- [15] J. BERTHIER, Projet et construction de routes.
- [16] Sétra: services d'études techniques des routes et autoroutes, Sétra: services d'études techniques dComprendre les principaux paramètres de conception géométrique des routes,, 2006.

- [17] CEBTP, Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux,, 1984. .
- [18] Kronimus, «Conseil de pose des pavés,» [En ligne]. Available: <https://www.kronimus.fr/service-2/conseils-de-pose/>, [Accès le 10 Octobre 2021]. .
- [19] A. d. r. p. r. p. l. c. e. l. g. d. l. r. 1. SETTRA, recommandations pour la conception et la géométrie de la route, 1994., SETTRA, Aménagement des routes principales: recommandations pour la conception et la géométrie de la route, 1994..
- [20] F. NGAPGUE, Cours de mécanique de sols,, GOMA: ULPGL/DRC,, 2021. .
- [21] F. NGAPGUE, Cours de mécanique de sols,, GOMA: ULPGL/DRC,, 2021. .
- [22] C. e. CE, Ouvrage d'assainissement en beton, octobre 2004.
- [23] K. Jego, «Le GPS: une précision toute relativiste,» [En ligne]. Available: [irma.ustansbg.fr.](http://irma.ustansbg.fr/), [Accès le 05 octobre 2022]..
- [24] K. B. Bruno, conception et dimensionnement d'une route en pavé sise tronçon college Mwanga-boulevard enock Nyamwisi Muvungi,, GOMA: ULPGL/DRC, 2020. .
- [25] I. S. Pierre, ESSAI CBR(california Bearing Ratiotest) Norme NF P 94-08, 2006-2007.
- [26] T. BUYANA, Dimensionnement du tronçon Hotel LINDA-Port SNCC, Goma/ULPGL, 2013-2014.
- [27] MLEBING BUSHIRI NELLY MEMOIRE, ETUDE COMPARATIVE DES CARACTERISTIQUES DU SOL PAR STABILISATION AU CIMENT ET A LA CHAUX : APPLICATION AU SOL DE BUGANGA A MINOVA, ULPGL/GOMA , 2020-2021.
- [28] OVD, Rôle des infrastructures routières dans l'intégration économique et territoriale,, goma, Mai 2008.
- [29] «. d. r. r. d. l. R. C. à. c. d. l. Office des Routes.
- [30] SETTRA, recommandations pour la conception et la géométrie de la route,, 1994..
- [31] J. BERTHIER, Projet et construction de routes, 2002.
- [32] B. L. e. J. P. N. V. TUU, Route et Hydraulique,, , 1979, pp. 283-345. .

ANNEXES

Annexe 1 : volumes des Couches obtenus par Autocad Civil 3D

Table des volumes déblai/remblai totaux							
PK	Surface déblai	Vol déblai	Vol déblai cumulé	Surface remblai	Vol remblai	Vol remblai cumulé	Vol net
0.00	3.13	0	0	0.24	0	0	0
25.00	3.60	84	84	0.05	4	4	81
50.00	2.87	81	165	0.24	4	7	158
75.00	2.15	63	228	0.42	8	15	212
100.00	4.01	77	305	0.01	5	21	284
125.00	2.00	75	380	0.49	6	27	353
150.00	2.87	61	441	0.18	8	36	405
175.00	3.88	84	525	0.51	9	44	481
200.00	2.64	81	606	0.56	13	58	549
225.00	2.49	64	670	0.49	13	71	600
250.00	0.73	41	711	1.85	29	100	611
275.00	6.14	86	797	0.01	23	123	674
300.00	12.32	231	1027	0.00	0	123	904
325.00	15.73	351	1378	0.00	0	123	1255
350.00	10.15	323	1701	0.00	0	123	1578
375.00	3.02	165	1866	0.21	3	126	1740
400.00	1.88	61	1927	0.60	10	136	1791
425.00	3.43	66	1994	0.09	9	145	1849
450.00	6.78	128	2121	0.00	1	146	1975
475.00	8.70	193	2315	0.00	0	146	2169
500.00	3.27	150	2464	0.13	2	147	2317
525.00	3.56	85	2550	0.04	2	150	2400
550.00	3.81	92	2642	0.02	1	150	2491
561.86	3.07	41	2683	0.12	1	151	2531

Annexe 2 : volume du matériau de la couche de roulement

Roulement : Volume			
PK	Surface	Volume	Vol cumulé
0.00	0.56	0	0
25.00	0.56	14	14
50.00	0.56	14	28
75.00	0.56	14	42
100.00	0.56	14	56
125.00	0.56	14	70
150.00	0.56	14	84
175.00	0.56	14	98
200.00	0.56	14	112
225.00	0.56	14	126
250.00	0.56	14	140
275.00	0.56	14	154
300.00	0.56	14	168
325.00	0.56	14	182
350.00	0.56	14	196
375.00	0.56	14	210
400.00	0.56	14	224
425.00	0.56	14	238
450.00	0.56	14	252
475.00	0.56	14	266
500.00	0.56	14	280
525.00	0.56	14	294
550.00	0.56	14	308
561.86	0.56	7	315

Annexe 3 : volume de matériau de la couche de base

Base : Volume			
PK	Surface	Volume	Vol cumulé
0.00	1.05	0	0
25.00	1.05	26	26
50.00	1.05	26	53
75.00	1.05	26	79
100.00	1.05	26	105
125.00	1.05	26	131
150.00	1.05	26	158
175.00	1.05	26	184
200.00	1.05	26	210
225.00	1.05	26	236
250.00	1.05	26	263
275.00	1.05	26	289
300.00	1.05	26	315
325.00	1.05	26	341
350.00	1.05	26	368
375.00	1.05	26	394
400.00	1.05	26	420
425.00	1.05	26	446
450.00	1.05	26	473
475.00	1.05	26	499
500.00	1.05	26	525
525.00	1.05	26	551
550.00	1.05	26	578
561.86	1.05	12	590

Annexe 4 : volume de matériau de la couche de fondation

Fondation : Volume			
PK	Surface	Volume	Vol cumulé
0.00	1.05	0	0
25.00	1.05	26	26
50.00	1.05	26	53
75.00	1.05	26	79
100.00	1.05	26	105
125.00	1.05	26	131
150.00	1.05	26	158
175.00	1.05	26	184
200.00	1.05	26	210
225.00	1.05	26	236
250.00	1.05	26	263
275.00	1.05	26	289
300.00	1.05	26	315
325.00	1.05	26	341
350.00	1.05	26	368
375.00	1.05	26	394
400.00	1.05	26	420
425.00	1.05	26	446
450.00	1.05	26	473
475.00	1.05	26	499
500.00	1.05	26	525
525.00	1.05	26	551
550.00	1.05	26	578
561.86	1.05	12	590

Annexe 5 : Les coordonnées topographiques

PK	Y	X	
Station	Northing	Easting	
0000.00	9816202.4018m	745834.0119m	
0050.00	9816223.8762m	745788.8609m	
0100.00	9816244.2461m	745743.1998m	
0150.00	9816266.8934m	745698.6255m	
0200.00	9816293.1596m	745656.0877m	
0250.00	9816320.4340m	745614.2319m	
0300.00	9816345.2273m	745570.8119m	
0350.00	9816369.7980m	745527.2834m	
0400.00	9816396.1600m	745484.7976m	
0450.00	9816421.3233m	745441.6388m	
0500.00	9816445.5413m	745397.9609m	
0550.00	9816472.6555m	745355.9512m	
0561.86	9816479.00 m	745350.00 m	

Annexe 6 : ESSAI CBR/Poinçonnement

	5×55			5×25/95%			5×10		
	Lecture 1/100mm	F/Kg	Kg /cm ²	Lecture 1/100mm	P/Kg	P/Kg	Lecture 1/100mm	P/Kg	P Kg/cm
0,2	18			10			5		
0,4	35			22			8		
0,6	51			33			11		
0,8	66			44			14		
1	82			59			18		
1,5	130			101			22		
2	187			149			29		
2,5	192		4,13	181		2,61	34		0,65
3	215			210			40		
3,5	235			225			46		
4	280			265			51		
4,5	300			290			57		
5	325		6,96	315		5,00	62		1,30
6	400			390			69		
7	490			480			78		
8	580			540			87		
9	695			589			120		
10	752			645			135		

Annexe 7 : Table de correspondance [27]

Identification : S370-10/AA/0029

Force Maximum : 50 KN

Déformation maximum : 2,28mm

Déformation mesurée/ Force appliquée

Lecture comparateur (mm)	Force appliquée (KN)	Lecture comparateur (mm)	Force appliquée (KN)	Lecture comparateur (mm)	Force appliquée (KN)	Lecture comparateur (mm)	Force appliquée (KN)
-	-	0,57	12,44	1,14	25,00	1,71	37,56
0,01	0,22	0,58	12,67	1,15	25,22	1,72	37,78
0,02	0,43	0,59	12,89	1,16	25,43	1,73	38,00
0,03	0,65	0,60	13,11	1,17	25,65	1,74	38,22
0,04	0,87	0,61	13,33	1,18	25,87	1,75	38,44
0,05	1,09	0,62	13,56	1,19	26,09	1,76	38,67
0,06	1,30	0,63	13,78	1,20	26,30	1,77	38,89
0,07	1,52	0,64	14,00	1,21	26,52	1,78	39,11
0,08	1,74	0,65	14,22	1,22	26,74	1,79	39,33
0,09	1,96	0,66	14,44	1,23	26,96	1,80	39,56
0,10	2,17	0,67	14,67	1,24	27,17	1,81	39,78
0,11	2,39	0,68	14,89	1,25	27,39	1,82	40,00
0,12	2,61	0,69	15,11	1,26	27,61	1,83	40,22
0,13	2,83	0,70	15,33	1,27	27,83	1,84	40,43
0,14	3,04	0,71	15,56	1,28	28,04	1,85	40,65
0,15	3,28	0,72	15,78	1,29	28,26	1,86	40,87
0,16	3,48	0,73	16,00	1,30	28,48	1,87	41,09
0,17	3,70	0,74	16,22	1,31	28,70	1,88	41,30
0,18	3,91	0,75	16,44	1,32	28,91	1,89	41,52
0,19	4,13	0,76	16,67	1,33	29,13	1,90	41,74
0,20	4,35	0,77	16,89	1,34	29,35	1,91	41,96
0,21	4,57	0,78	17,11	1,35	29,57	1,92	42,17
0,22	4,78	0,79	17,33	1,36	29,78	1,93	42,39
0,23	5,00	0,80	17,56	1,37	30,00	1,94	42,61
0,24	5,22	0,81	17,78	1,38	30,22	1,95	42,83
0,25	5,43	0,82	18,00	1,39	30,44	1,96	43,04
0,26	5,65	0,83	18,22	1,40	30,67	1,97	43,26
0,27	5,87	0,84	18,44	1,41	30,89	1,98	43,48
0,28	6,09	0,85	18,67	1,42	31,11	1,99	43,70
0,29	6,30	0,86	18,89	1,43	31,33	2,00	43,91
0,30	6,52	0,87	19,11	1,44	31,56	2,01	44,13
0,31	6,74	0,88	19,33	1,45	31,78	2,02	44,35
0,32	6,96	0,89	19,56	1,46	32,00	2,03	44,57
0,33	7,17	0,90	19,78	1,47	32,22	2,04	44,78
0,34	7,39	0,91	20,00	1,48	32,44	2,05	45,00

0,35	7,61	0,92	20,22	1,49	32,67	2,06	45,22
0,36	7,83	0,93	20,43	1,50	32,89	2,07	45,43
0,37	8,04	0,94	20,65	1,51	33,11	2,08	45,65
0,38	8,26	0,95	20,87	1,52	33,33	2,09	45,87
0,39	8,48	0,96	21,09	1,53	33,56	2,10	46,09
0,40	8,70	0,97	21,30	1,54	33,78	2,11	46,30
0,41	8,91	0,98	21,52	1,55	34,00	2,12	46,52
0,42	9,13	0,99	21,74	1,56	34,22	2,13	46,74
0,43	9,35	1,00	21,96	1,57	34,44	2,14	46,96
0,44	9,57	1,01	22,17	1,58	34,67	2,15	47,17
0,45	9,78	1,02	22,39	1,59	34,89	2,16	47,39
0,46	10,00	1,03	22,61	1,60	35,11	2,17	47,61
0,47	10,22	1,04	22,83	1,61	35,33	2,18	47,83
0,48	10,44	1,05	23,04	1,62	35,56	2,19	48,04
0,49	10,67	1,06	23,26	1,63	35,78	2,20	48,26
0,50	10,89	1,07	23,48	1,64	36,00	2,21	48,48
0,51	11,11	1,08	23,70	1,65	36,22	2,22	48,70
0,52	11,33	1,09	23,91	1,66	36,44	2,23	48,91
0,53	11,56	1,10	24,13	1,67	36,67	2,24	49,13
0,54	11,78	1,11	24,35	1,68	36,89	2,25	49,35
0,55	12,00	1,12	24,57	1,69	37,11	2,26	49,57
0,56	12,22	1,13	24,78	1,70	37,33	2,27	49,78