

UNIVERSITÉ LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS



BP. 368 GOMA

www.ulpgl.net

FACULTÉ DE SCIENCES ET TECHNOLOGIES

DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL

**AMÉNAGEMENT D'UNE CHAUSSÉE EN PAVÉS
BASALTIQUES RELIANT LA RN2 A LA ROUTE
KATOYI (RUE KIBATI)**

Par **BARAKA SAGE Daniella**

Travail présenté et défendu en vue de l'obtention du
Diplôme de Licence en Sciences et Technologies

Option : Génie civil

Directeur : CT Ir **MASIKA MUHIWA Grace**

Encadreur : Ir **BAHATI KHASHI Yvan**

Avril 2025

Épigraphe

« La voie de l'avenir est pavée des routes bien construites. »

Inconnu

Dédicace

À ma très **chère famille**, pour votre amour inconditionnel et votre soutien sans faille tout au long de ce parcours ; ce travail est tout autant le vôtre que le mien.

BARAKA SAGE Daniella

Remerciements

Qu'il nous soit permis d'exprimer nos remerciements premièrement, au Seigneur notre Dieu qui a été pour nous un secours et un guide quelles que soient les épreuves. Que la gloire lui soit rendue dans les siècles.

D'une manière particulière, nos remerciements s'adressent à la CT. Ir. MASIKA MUHIWA Grace qui a dirigé ce travail ; ainsi qu'à l'ingénieur BAHATI KHASHI Yvan qui l'a encadré.

Nous tenons à remercier le corps académique et scientifique de la Faculté de Sciences et Technologies Appliquées, de manière particulière celui du département de Génie Civil.

Nos sincères remerciements s'adressent également à nos parents SAGE BISA et TOYOTA Beatrice pour leur soutien moral, spirituel, matériel que financier qu'ils n'ont cessé de nous accorder.

Nos remerciements s'adressent également à tous nos frères et sœurs, Esther, David, Daniel, Dorcas, Promesse, Samuel, Chance, Benjamin sans oublier notre cher neveu Naël.

Au couple du Me SALAMA François et Dr Deborah SAGE pour laquelle notre gratitude est profonde.

A monsieur KAVUNGA Muyisa pour son accompagnement précieux.

À notre ami Eddy, nous disons merci pour son apport important dans le cadre de la réussite de ce travail.

A nos camarades de promotion, en particulier, IRAGI, KOLIAMA et MUNGANGA.

Toutes ces personnes dont les noms ne sont pas repris mais qui nous ont soutenu d'une manière ou d'une autre au cours de ces quatre années de formation, recevez nos remerciements les plus sincères.

BARAKA SAGE Daniella

Résumé

Le présent travail porte sur l'aménagement de la rue Kibati (tronçon reliant la RN2 à la route Katoyi) dans la ville de Goma, en République Démocratique du Congo, à travers la mise en place d'une chaussée en pavés basaltique. Le projet s'inscrit dans un contexte de dégradation avancée des routes secondaires, accentuée par le trafic intense, le manque d'entretien régulier et l'insuffisance de ressources financières. L'étude repose sur une méthodologie rigoureuse combinant la recherche documentaire, des essais de laboratoire sur le sol de la plateforme, le dimensionnement géométrique et le dimensionnement structural de la chaussée. Les analyses géotechniques ont permis d'évaluer la portance du sol et de définir la structure optimale de la chaussée. L'indice CBR obtenu est de 21 %, avec une épaisseur critique de 12,56 cm et une épaisseur équivalente de 36 cm. Le dimensionnement a été réalisé selon la méthode CBR, adaptée au trafic local. Le projet prévoit un système d'assainissement à fossés triangulaires. Toutefois, leur dimensionnement repose sur des hypothèses, en l'absence de données climatiques détaillées. Le coût total des travaux est estimé à 384 364,44 USD. Les résultats confirment la faisabilité du projet et la pertinence des choix techniques.

Mot clés : Aménagement, chaussée, pavés basaltiques, RN2.

Abstract

This study focuses on the rehabilitation of Kibati Street (the section connecting National Road RN2 to Katoyi Road) in Goma, Democratic Republic of the Congo, using a basalt cobblestone pavement. The project addresses the severe deterioration of secondary roads, worsened by heavy traffic, lack of regular maintenance, and limited financial resources.

The research follows a rigorous methodology, combining desk studies, laboratory tests on subgrade soil, and geometric and structural pavement design. Geotechnical analyses assessed soil-bearing capacity and determined the optimal pavement structure. The obtained CBR value was 21%, with a critical thickness of 12.56 cm and an equivalent thickness of 36 cm. The design was based on the CBR method, tailored to local traffic conditions.

The project includes a triangular ditch drainage system, though its design relies on assumptions due to the lack of detailed climate data. The total estimated cost of the work is \$384 364,44. The results confirm the project's feasibility and the suitability of the chosen technical solutions.

Key words: Upgrading ,pavement, basalt pavers, N2 Road .

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Valeurs de CAM [11]	12
Tableau I.2 : Classes de trafic en pays tropicaux (CEBTP, 1984) [11].....	12
Tableau I.3 : Classes de trafic en nombre de véhicules par jour [11].....	13
Tableau I.4 : Épaisseurs normalisées des pavés en fonction de la destination [16].....	26
Tableau II.1 : Les Points Kilométriques (PK)	36
Tableau II.2 Classe de plate-forme guide CEBTP [17]	46
Tableau II.3 : Valeurs usuelles du coefficient d'équivalence (CBR) [21]	49
Tableau II.4: Les matériaux de construction routière à Goma (donnée fournie par l'Office des Routes [22]	50
Tableau II.5 : Choix de l'épaisseur du pavé en fonction du trafic [17]	51
Tableau II.6 valeurs usuelle des épaisseurs de fondation partant du CBR [23]	51
Tableau II.7 : : Capacité max en (l/s) des fossés triangulaires revêtues pour (h=0,60m) [25]	56
Tableau III.1 Données de la levée topographique	59
Tableau III.2: Trafic par comptage manuel	60
Tableau III.3 : Récapitulatif du comptage du trafic	60
Tableau III.4: Indice CBR du sol en place.....	66
Tableau III.5 :Tableau différentes couches et leurs épaisseurs.....	67
Tableau III.6: Structure des trottoirs	68
Tableau III.7 : Cubature de déblai et remblai réalisé par Autodesk Civil 3D	69
Tableau III.8 : Tableau des volumes des Couches obtenus par Autocad Civil 3D.....	70
Tableau III.9 : Devis estimatif du projet.....	71

Liste des figures

Figure I-1 Schéma synoptique de la méthode de dimensionnement [9].....	9
Figure I-2 Principe d'un système multicouche [11].	15
Figure I-3 Fonctionnement de la méthode mécanique empirique de dimensionnement [11]	16
Figure I-4 Figure illustrant la constitution d'une structure de chaussée [12].	18
Figure I-5 Effet de la charge sur la hauteur de lit de pose [13]	23
Figure I-6 Dessin type d'une chaussée revêtue de pavés [13]	24
Figure I-7 Les pavés esthétiquement attrayant [17].....	27
Figure I-8 Les Pavés basaltique [17]	28
Figure I-9 Illustration sablonneuse [17].....	29
Figure I-10 Illustration des graves [17]	30
Figure I-11 Illustration des graves non traités [17].....	30
Figure II-1 la vue aérienne du tronçon RN2-Route KATOYI.....	35
Figure II-2 L'allure du terrain naturel tiré de Google Earth	35
Figure II-3 Illustre les éléments constitutifs ainsi que les types de profil en long [20].....	38
Figure II-4 :Éléments du profil en travers [20].....	38
Figure II-5 Schéma des fossés trapézoïdal et triangulaire [24].....	53
Figure III-1 Le tracé en plan du projet.....	62
Figure III-2 Profil en long du projet	64
La Figure III-3 illustre le profil en travers type de la chaussée aménagée	65

Sommaire

Épigraphe	i
Dédicace.....	ii
Remerciements.....	iii
Résumé.....	iv
Abstract	v
Sommaire	viii
Sigles et abréviations	xi
Liste des tableaux.....	vi
Liste des figures	vii
0. Introduction générale	1
0.1. Contexte	1
0.2. Identification et formulation du problème	1
0.3. Questions de recherches	2
0.4. Hypothèses	2
0.5. Justification du choix du sujet.....	3
0.6. Objectifs de recherche	3
0.6.1. Objectif général.....	3
0.6.2. Objectifs spécifiques	3
0.7. Méthodologie et délimitation du travail	4
0.8. Subdivision du travail.....	4
Chapitre I. Généralités sur les structures routières	5
I.1 Introduction	5
I.2 Généralités sur les routes.....	5
I.2.1 Réseau Routier de la RDC	5

AMENAGEMENT D'UNE CHAUSSEE EN PAVES BASALTIQUES RELIANT
LA RN2 A LA ROUTE KATOYI (RUE KIBATI)

I.2.2	Classification des routes en RDC	6
I.2.3	Terminologie routière	7
I.2.4	Dimensionnement routier.....	8
I.2.5	Approches empiriques	10
I.2.6	Les méthodes rationnelles.....	17
I.3	Généralités sur les chaussées et constitution des chaussées en pavé	18
I.3.1	Généralités sur les chaussées	18
I.3.2	Constitutions des chaussées en pavés	22
I.4	Pavage et mise en œuvre	24
I.4.1	Définition et objectifs du pavage	24
I.4.2	Types de pavés.....	25
I.4.3	Les normes et régulations sur les pavés [16].	26
I.4.4	Caractéristiques des routes en pavé basaltique [17]	27
I.4.5	Matériaux utilisés dans la construction des routes en pavés basaltiques [17]	28
I.4.6	Méthodes de pavage et technologies de mise en œuvre	31
I.5	Assainissement routier [2].....	31
I.5.1	Aperçu et objectifs de l'assainissement routier	31
I.5.2	Gestion des eaux pluviales et drainage	32
I.6	Conclusion partielle.....	33
Chapitre II. Matériels et Méthodes de Recherche.....		34
II.1	Présentation du site.....	34
II.2	Conception géométrique de la route.....	36
II.2.1	Profils géométriques de la chaussée	37
II.3	Étude géotechnique du sol de la plateforme.....	39
II.3.1	Teneur en eau naturelle du sol	39
II.3.1.1	Mode opératoire	39
II.3.2	Masse volumique	40
II.3.3	Essai Proctor modifié.....	41
II.3.4	Essai CBR	43
II.4	Dimensionnement structural des chaussées	46

**AMENAGEMENT D'UNE CHAUSSEE EN PAVES BASALTIQUES RELIANT
LA RN2 A LA ROUTE KATOYI (RUE KIBATI)**

II.4.1	Choix et justification de la méthode de dimensionnement	46
II.4.2	La méthode basée sur le CBR [21]	47
II.5	Choix de matériaux	50
II.6	Assainissement routier	52
II.6.1	Calculs des fossés latéraux [25].....	54
II.7	Évaluation du coût (devis estimatif) [26].....	56
II.8	Matériel et logiciels utilisés.....	57
II.9	Conclusion partielle.....	58
Chapitre III. Présentation et analyse des résultats		59
III.1	Présentation du milieu d'étude	59
III.1.1	Le trafic routier	60
III.2	Dimensionnement horizontal de la route.....	61
III.2.1	Le tracé en plan.....	61
III.2.2	Profil en long.....	63
III.2.3	Profil en travers.....	65
III.3	Présentation des résultats des essais	66
III.4	Dimensionnement structural selon le CBR	66
III.5	Présentations des matériaux de la chaussée.....	67
III.6	Calcul de cubatures des terrassements.....	68
III.7	Dimensionnement des ouvrages d'assainissement	70
III.8	Évaluation du coût de réalisation.....	71
Conclusion générale.....		72
Références.....		74
Annexes.....		77
A. LES RESULTATS DES ESSAIS EFFECTUES AU LABORATOIRE DE GENIE CIVIL/ ULPGL		78

Sigles et abréviations

AASHTO	: American Association of Highway and Transportation Officials
CAN	: Conforme Aux Normes
CBR	: California Bearing Ratio
CEBTP	: Centre d'Expertise du Bâtiment et Travaux Publics ou Centre Expérimental de Recherches et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics
DVDA	: Direction des Voies de Desserte Agricole
GNT	: Granulat Non Traités
LBTP	: Laboratoire du bâtiment et travaux publics
LCPC	: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
MITPR	: Ministère des Infrastructures, Travaux publics et Reconstruction
NF	: Norme Française
OR	: Office des Routes
OVD	: Office des voiries et Drainage
RDC	: République Démocratique du Congo
RN2	: Route Nationale numéro 2
RTR	: Résistance au trafic Routier
TPC	: Terre -Plein-Central
V_r	: Vitesse de référence
V/j	: Véhicules par jour

0. Introduction générale

Les routes sont des axes de communication nécessaire au développement économique et social d'un pays. Elles permettent le transport des marchandises, le déplacement des personnes et contribuent à l'occupation du territoire ainsi qu'à l'exploitation des ressources. Le réseau routier de la RDC couvre au total 153.209 km, et joue un rôle important dans le transport par rapport à d'autres infrastructures de transport. Ce réseau routier est classifié en 3 catégories, à savoir les axes routiers d'un linéaire de 58.129 km¹, les voiries urbaines d'un linéaire de 7.401 km¹ et les routes d'intérêt local ou de desserte agricole d'un linéaire de l'ordre de 87.300 km¹. Les axes routiers et les voiries urbaines sont à charge des organismes publics relevant du ministère des Infrastructures, Travaux publics et Reconstruction (MITPR) ; les premiers à charge de l'Office des Routes (OR) et les secondes de l'Office des Voiries et Drainage (OVD) [1].

0.1. Contexte

L'entretien des routes secondaires demeurent un défi considérable, car ces dernières normalement conçues pour une durée de vie très large (moyennement de quinze ans selon le CEBTP) n'atteignent même pas la moitié. Ainsi les dégradations qui se font remarquer subviennent habituellement au niveau de la couche de roulement qui est habituellement en pavées basaltiques dans le contexte de la ville de Goma qui est le nôtre. Ce problème de dégradation est dû au fait de [2] :

- Surcharge des routes secondaires par un trafic des poids lourds ;
- Absence d'un entretien régulier ;
- Manque de soutien financier pour les réhabilitations.

0.2. Identification et formulation du problème

En République Démocratique du Congo, le revêtement des chaussée ou pavage connaît un grand essor avec le début du programme national de lutte contre la malaria (PNLM) financé

par la Banque Mondiale dans la lutte contre les eaux usées et les eaux stagnantes considérées comme principales causes du paludisme communément appelé malaria [3].

Remarquons que l'absence d'artères secondaires en bon état reliant la RN2 à la route Katoyi ; à l'exception de celle de Afia Bora engendre plusieurs problèmes majeurs entre autre :

- Une perte de temps due aux détours obligatoires
- Une augmentation de la consommation du carburant
- Une contribution limitée au désengorgement des embouteillages
- Des défis liés à l'insalubrité

C'est dans ce contexte que ce travail propose une étude d'emménagement d'une chaussée en pavés basaltiques taillés sur le tronçon reliant la RN2 à la route Katoyi.

0.3. Questions de recherches

Face à la problématique, les questions suivantes ont été retenues pour orienter les recherches:

- Quel type de chaussée serait le plus adapté pour l'aménagement du tronçon reliant la RN2 à la route Katoyi ?
- Quelle épaisseur de couche de roulement serait la mieux adaptée pour une chaussée en pavés basaltique sur ce tronçon ?
- Quel est le coût estimé de l'aménagement de la chaussée en pavés basaltique sur ce tronçon ?

0.4. Hypothèses

Afin d'éclairer les questions de recherches, quelques hypothèses ont été maintenues:

- ✓ La chaussée serait dimensionnée comme une structure souple mais avec une couche de roulement rigide en pavés basaltiques remplaçant la couche bitumineuse traditionnelle.
- ✓ L'épaisseur de la couche de roulement en pavés basaltiques serait déterminée en fonction des charges attendues ;
- ✓ L'utilisation des pavés basaltiques répondrait aux défis maintenance réduite.

0.5. Justification du choix du sujet

Plusieurs travaux antérieurs ont exploré l'aménagement des chaussées en pavés, en mettant en évidence leurs performances mécaniques et esthétiques ; toutefois, aucun ne s'est concentré spécifiquement sur le tronçon reliant la route nationale n° 2 à la route Katoyi. Le présent mémoire, intitulé « Aménagement d'une chaussée en pavés basaltiques reliant la route nationale n° 2 à la route Katoyi (Rue Kibati) », se distingue par l'intégration d'essais de laboratoire adaptés aux matériaux locaux et par un dimensionnement conçu pour répondre aux contraintes de trafic propres à cette liaison. Le contexte de cette étude s'inscrit dans la nécessité d'améliorer la fluidité du trafic et la durabilité routière dans une zone caractérisée par une circulation dense et une dégradation progressive de la chaussée.

Pour une portée sociale, ce travail apporte une solution aux problèmes d'embouteillage constaté sur les lignes principales que relie ce tronçon en améliorant la fluidité du trafic. Il vise également à réduire le nombre d'accidents routiers dus à la dégradation de la chaussée, à embellir cette ville touristique et à prévenir les maladies causées par les eaux usées ; les eaux stagnantes et les poussières.

Par ailleurs ; la réalisation des essais en laboratoire permettra d'approfondir les connaissances dans le domaine routier, d'associer les théories à la pratique et d'interpréter les résultats obtenus.

0.6. Objectifs de recherche

0.6.1. Objectif général

L'objectif général de ce travail est de proposer un projet d'aménagement du tronçon reliant la RN2 à la Route Katoyi (Rue Kibati), en mettant en place une chaussée en pavés basaltique, afin d'améliorer la circulation, la durabilité de l'infrastructure et le cadre de vie des usagers.

0.6.2. Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques suivants ont été formulés pour mieux orienter cette étude :

- Diagnostiquer l'état actuel du tronçon en identifiant les principales contraintes géotechniques et de trafic.
- Déterminer les caractéristiques mécaniques du sol, notamment à travers les essais au laboratoire en vue d'évaluer sa portance et son aptitude à recevoir une structure en pavés.
- Proposer une solution technique d'aménagement respectant les normes en vigueur et adaptée au contexte de la ville de Goma.

0.7. Méthodologie et délimitation du travail

La méthodologie retenue s'articule en trois phases, à savoir : une recherche documentaire permettant de rassembler les données écrites relatives au domaine routier, une approche expérimentale pour l'évaluation des matériaux, et enfin, le dimensionnement de la chaussée réalisé à l'aide de méthodes analytiques.

0.8. Subdivision du travail

Pour bien réaliser cette étude, ce travail est subdivisé trois chapitres. Hormis l'introduction générale et la conclusion générale, les différents chapitres sont repartis de la manière suivante :

Chapitre 1. Généralités sur les routes

Chapitre 2. Méthodologie de travail

Chapitre 3. Présentation des résultats

Chapitre I. Généralités sur les structures routières

I.1 Introduction

Ce chapitre passe en revue les généralités liées au sujet afin d'établir un contexte et d'orienter les résultats. Il présente les notions fondamentales sur routes et des types de chaussées, les caractéristiques des pavés et les méthodes de pose, les principales méthodes de dimensionnement, les essais envisagés ainsi que les principes de l'assainissement routier.

I.2 Généralités sur les routes

Une route est au sens littéral une voie terrestre (au niveau du sol ou sur viaduc) aménagée pour permettre la circulation de véhicules à roues. Ce terme s'applique plutôt aux voies importantes situées en rase campagne et ne peut être apparenté à une rue. La route fait partie du domaine public : elle se trouve sous la responsabilité des services de l'État ou des collectivités publiques. Sa construction et son exploitation peuvent être déléguées à une société concessionnaire. Les études de conception vont permettre de mettre au point les modalités pratiques qui permettront sa construction : pour atteindre les objectifs de départ, la route projetée doit satisfaire à certaines caractéristiques tout en respectant la réglementation existante ; elle doit également utiliser au mieux les ressources en matériaux disponibles à proximité [4].

I.2.1 Réseau Routier de la RDC

Le réseau routier de la RDC comprend au total 153.209 km de routes répartis comme suit [5] :

- 58.509 km de routes d'intérêt général, à charge du Ministère des Infrastructures, Travaux Publics et Reconstruction (MITPR), placés sous la gestion de l'Office des Routes « OR en sigle », dont environ 3.000 km sont revêtus.

Il comprend les ouvrages de franchissement suivants :

- 3.500 ponts de portée de 4 à 750 mètres pour une longueur totale de 68.000 mètres,

- 175 bacs (à moteur, à traîlle et à pirogues)
- 7.400 km de voiries urbaines sous la gestion de l'Office des Voiries et Drainage « OVD en sigle » ;
- 87.300 km de routes d'intérêt local ou de desserte agricole à charge du Ministère du Développement Rural, sous la gestion de la Direction des Voies de Desserte Agricole « DVDA en sigle ».

1.2.2 Classification des routes en RDC

Eu égard à leurs fonctions les routes en RDC sont classées en 3 catégories, et pour les classifier on a tenu compte des critères suivants [6] :

- Critères administratifs et juridiques ;
- Critères techniques ;
- Critères fonctionnels.

Du point de vue administratif et juridique on distingue :

- Routes nationales et régionales (secondaires) gérées par l'office des routes (OR)
- Voiries urbaines, gérées par l'office des voiries et de drainage (OVD)
- Routes de desserte agricole, gérées par la direction des voies de desserte agricole (DVDA).

1.2.2.1 Routes nationales

Ces routes intéressent de vaste région qui relie les principaux centres de population entre eux ainsi que les zones d'intense production au centre de consommation, de transformation et d'exportation. Elles supportent des trafics très élevés à circulation rapide. Son intensité varie entre 1000 à 5000 véhicules par jour.

1.2.2.2 Routes secondaires

La capacité de trafic varie entre 50 à 100 V/j. Elles assurent la liaison du reste du pays aux routes prioritaires et relient les agglomérations d'importance moyenne aux zones avoisinantes.

I.2.2.3 Voiries urbaines

Ce sont les routes aménagées dans les centres urbains. Par exemple pour les autoroutes et routes express dont l'intensité de trafic est supérieure à 5000 V/j. La conception et la réalisation de cette catégorie des routes doit faire l'objet des normes spéciales.

I.2.2.4 Routes de desserte agricole

Les routes de dessertes agricoles sont essentiellement à l'usage des riverains, donnent accès aux routes de catégories supérieures et desservent les activités d'échanges locaux.

Du point de vue structural ou technique on distingue principalement:

- Chaussés souples ;
- Chaussés semi- rigides ;
- Chaussés Rigides.

Du point de vue fonctionnel :

- Routes à simple voie,
- Routes à double voie,
- Autoroutes ;
- Routes express ; etc.

I.2.3 Terminologie routière

- **Accotement** : est la partie de la plate-forme aménagée entre la chaussée et le talus ou le fossé. La largeur des accotements varie généralement entre 1 à 3 m [7].

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 ;
- Protège l'automobiliste lors d'un dépassement imprévu en lui permettant d'éviter une collision frontale.

Les accotements larges suscitent chez les conducteurs une sensation de confort et de sécurité. On distingue :

- Les accotements pourvus d'un revêtement ;
 - Les accotements sans revêtement.
- **Chaussée** : c'est la partie d'un chemin public normalement utilisée pour la circulation des véhicules routiers. Une chaussée peut comprendre plusieurs voies, lesquelles peuvent être dans la même direction ou dans des directions opposées [4].
- **Voie** : Partie de la chaussée sur laquelle se fait la circulation et qui est souvent délimitée par des marques sur la chaussée [4].
- **Vélorue** : Chemin public sur lequel la circulation des cyclistes est favorisée [4].
- **Plate- forme** : C'est la surface de la route qui comprend la ou les chaussées, les accotements et, éventuellement les terres pleines centrales [8].
- **Assiette** : C'est la surface du terrain réellement occupée par la route et ses annexes. (Plate-forme + faussée + talus + toute dépendance et ouvrages affectés au domaine public). [8]
- **Emprise** : C'est la surface du terrain juridiquement affectée à la route et ses annexes. Elle est au moins égale à l'assiette et est généralement de [8] :
- 30 m pour les routes,
 - 70 à 100 m pour les autoroutes.
- **Fossés** : Ce sont les excavations aménagées de part et d'autre de la plate-forme. Ils sont destinés à assainir la plate-forme en collectant les eaux de ruissellement [8].

I.2.4 Dimensionnement routier

Dimensionner une route consiste en bref, à établir le profil en travers tout en déterminant la nature et les épaisseurs de différentes couches des matériaux constituant la chaussée. Le deuxième chapitre présente avec beaucoup plus de détails ces deux catégories de méthodes de dimensionnement des structures routières. Par contre le présent point de ce chapitre met en évidence les critères communs à toutes ces méthodes [9].

I.2.4.1 Méthodes de dimensionnement

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement des chaussées, basées sur des modèles mathématiques et ou des considérations pratiques tirées de l'expérience et qui se présentent sous la forme soit d'abaques de dimensionnement, soit d'un catalogue de

structures types, soit de méthodes de calcul pratiques. Il s'agit de fixer une période de service à assurer par la structure, définie comme la période probable pendant laquelle la chaussée supportera le trafic prévu sans devoir recourir aux travaux d'entretien structurel. Le choix de la période de service intervient dans le calcul du trafic cumulé. Elle peut être prise entre cinq et cinquante ans. Mais son coût initial varie en fait assez peu en fonction de la période de service choisie. Il y a donc intérêt à retenir une durée longue (entre vingt et cinquante ans). Les paramètres d'entrée indispensables au dimensionnement d'une chaussée sont relatifs à l'action du trafic, à la portance du sol ou de la plate-forme support de chaussée et aux caractéristiques des matériaux qui constituent la chaussée. Le choix de ces différents paramètres, et notamment l'évaluation du trafic, conditionnera en grande partie le comportement futur de la chaussée. La Figure I.1 présente le schéma synoptique de dimensionnement d'une chaussée.

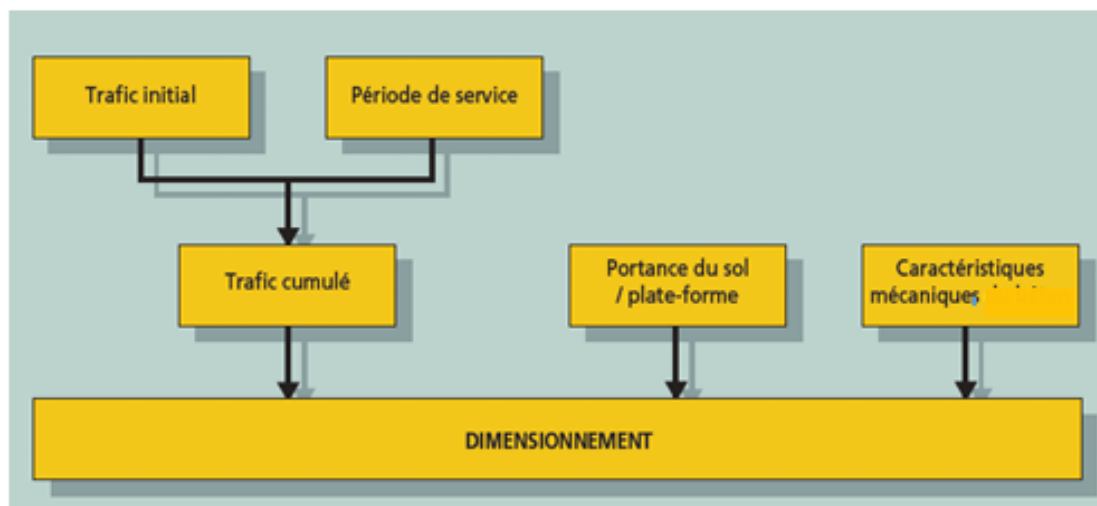


Figure I-1 Schéma synoptique de la méthode de dimensionnement [9].

Lors d'un dimensionnement de chaussée, plusieurs paramètres ou critères doivent entrer en jeu entre autres [10] :

- Le trafic ;
- La durée de vie ;
- La qualité de la plateforme support de chaussée ;

- Les caractéristiques des matériaux de la chaussée ;
- Les conditions climatiques.

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement des structures de chaussées proposées dans la littérature regroupée en deux grandes catégories (approches) :

Approche empirique et Approche rationnelle.

I.2.5 Approches empiriques

Parmi les méthodes empiriques, on peut citer la méthode CEBTP, CBR, AASHTO de l'Asphalt Institute, etc. [11].

L'approche empirique est basée sur l'observation sous trafic des chaussées réelles ou expérimentales et le suivi de leur évolution dans le temps. A partir des études statistiques sur les différentes observations, le principe est de trouver des relations entre la géométrie de la route, la nature des matériaux, le trafic et l'état global de la chaussée (dégradations). A partir des relations trouvées, des abaques sont établis et ils vont servir de base de dimensionnement des chaussées.

Dans les méthodes empiriques, on distingue :

- Les méthodes de calculs à partir d'une formule : méthodes CBR, AASHTO, etc.
- Les méthodes catalogues de structures : des structures de chaussées pré-calculées et testées par l'expérience au niveau national sont regroupées dans un catalogue. Il s'agit par exemple du manuel de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux en voie de développement (établi par le CEBTP), du manuel pour la conception et le dimensionnement des chaussées neuves (fait par le LBTP en 1977), etc. Cette méthode évite au concepteur des calculs numériques et diminue les risques d'erreurs.

I.2.5.1 Méthode CEBTP

Basée sur les catalogues de structure, elle tient compte de deux critères [11] :

- De l'intensité du trafic et la portance de la plateforme à partir desquels les épaisseurs des différentes couches de chaussées seront déterminées ;

- De l'intensité du trafic et la nature des matériaux afin de vérifier les spécifications d'usage.

i. 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 (1. 1) :

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

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.

AMENAGEMENT D'UNE CHAUSSEE EN PAVES BASALTIQUES RELIANT LA RN2 A LA ROUTE KATOYI (RUE KIBATI)

Le CAM est donné par le Tableau I.1:

Tableau I.1 : Valeurs de CAM [11]

Giratoire	Chaussée souple ou bitumineuse			Chaussée hydraulique, béton ou mixtes		
	Min	Par défaut	Max	Min	Par défaut	Max
Distribution	2	0,5	1	2	0,5	1
Principale	0,5	1	1,5	0,5	1	1,5

Le tableau I.2 illustre les classes de trafic en zones tropicales selon la classification du CEBTP (1984) .

Tableau I.2 : Classes de trafic en pays tropicaux (CEBTP, 1984) [11]

Classe de trafic	Nombre de poids
T1	$N < 5.10^5$
T2	$5.10^5 < N < 4.10^6$
T3	$1,5.10^5 < N < 10.^7$
T4	$4.10^6 < N < 10^7$
T5	$10^7 < N < 2.10^7$

ii. Classes de trafic (CEBTP)

Les classes de trafic retenues sont définies de plusieurs façons, en fonction du degré de précision des données disponibles :

- Trafic journalier toutes catégories de véhicules confondues ;
- Trafic cumulé de poids lourds (véhicule définis comme ayant un poids total, en charge, supérieur à 3,5t ;

iii. Trafic en nombre de véhicules par jour

Il est défini par son intensité journalière moyenne sur une durée de vie de l'ordre de quinze ans, toutes classes de véhicules incluses. Le pourcentage moyen de poids lourds est supposé de l'ordre de 30% du trafic total.

Cinq classes de trafic sont distinguées et présentées dans le **tableau I.3**.

Tableau I.3 : Classes de trafic en nombre de véhicules par jour [11]

T1	< 300
T2	De 300 à 1 000
T3	De 1 000 à 3 000
T4	De 3 000 à 6 000
T5	De 6 000 à 12 000

I.2.5.2 La méthode basée sur le CBR

La méthode C.B.R. fut conçue dès 1938 par O.J. Porter, du *California State Highway Department*. Elle est basée sur la résistance au poinçonnement du sol de plateforme caractérisée par l'indice CBR et sur la méthode de Boussinesq (massif homogène, sol élastique et de dimension infinie) qui donne la répartition de contrainte verticale dans le sol. Cette méthode donne en fonction de l'indice CBR de la plateforme l'épaisseur de la couche sus-jacente [11].

L'épaisseur globale de la chaussée est donnée par la formule (1.2)

$$e = \frac{100 + \sqrt{P}[75 + (50 \times \log \frac{N}{10})]}{I_{CBR} + 5} \quad (1.2)$$

Avec :

- ✓ e : épaisseur globale de la chaussée en cm
- ✓ P : la charge par roue de l'essieu en t,
- ✓ N: le nombre moyen journalier de véhicules de plus de 1,5 t à vides,
- ✓ I_{CBR} : l'indice de portance du sol support.

L'épaisseur trouvée est l'**épaisseur critique**, celui en dessous duquel on ne peut pas aller dans la détermination des épaisseurs des couches.

i. Notion de l'épaisseur équivalente

La méthode considère que la chaussée est constituée d'une seule couche d'un même matériau. L'épaisseur de la couche obtenue est celle d'une grave concassée propre (grave de référence de coefficient d'équivalence égale à l'unité).

La détermination des épaisseurs des différentes couches d'une chaussée en matériaux divers est obtenue en utilisant les coefficients d'équivalence qui permettent de convertir l'épaisseur équivalente calculée en une épaisseur réelle de plusieurs couches. L'épaisseur équivalente de la chaussée est égale à la somme des épaisseurs équivalentes des couches est donnée par l'expression(1.3):

$$E_{eq} = \sum_{i=0}^n a_i \times e_i \quad (1.3)$$

Avec :

- ✓ a_i : Les coefficients d'équivalences
- ✓ e_i : Les épaisseurs des couches

1.2.5.3 Méthode AASHTO

La méthode américaine AASHTO est basée sur une analyse empirique des résultats des essais AASHO Road tests réalisés de 1957 à 1961 dans la région d'Ottawa en Illinois (Agal, 2005). Son rôle est d'établir une relation entre les caractéristiques structurales de la chaussée et l'évolution dans le temps du niveau de qualité des chaussées (exprimé en indice de viabilité). La conception de chaussées souples selon l'AASHTO débute par le calcul du nombre structural SN qui exprime l'épaisseur effective de la structure de la chaussée. Ce nombre correspond à la somme pondérée des épaisseurs des différentes couches (**équation 1.4**) ; le coefficient pondéral de chaque couche dépend de la nature des matériaux et des conditions de drainage de la couche [11].

$$SN_n = \frac{D_1 a_1 + \sum_{i=2}^n D_i a_i m_i}{25,4} \quad (1.4)$$

Avec :

- ✓ SN_n : nombre structural composé pour n couches déterminé à partir de l'abaque de l'AASHTO des nombres structuraux ;
- ✓ D_i : épaisseur des couches de roulement, de base, de fondation et de forme respectivement ;
- ✓ m_i : Coefficient de drainage des couches de base, de fondation et de forme respectivement ;

- ✓ a_i : Coefficients structuraux des couches de roulement, de base, de fondation et de forme respectivement.

La conception finale correspond à un assemblage de couches de matériaux et d'épaisseurs définies comme le montre la figure I-2.

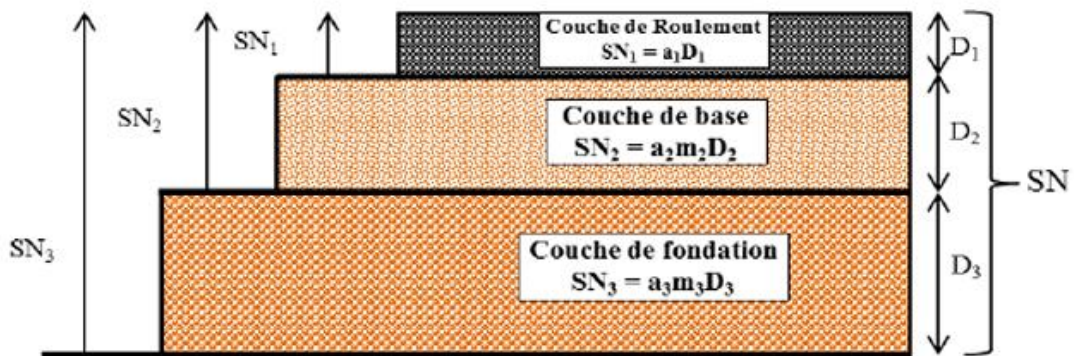


Figure I-2 Principe d'un système multicouche [11].

I.2.5.4 Méthode LBTP

Cette méthode est caractérisée par la résistance du sol de plateforme et le trafic journalier (trafic poids lourds et trafic équivalent d'essieux standards de 8,16 t). Le dimensionnement se déroule en quatre étapes [11]:

- Choix de la classe du sol de plateforme,
- Choix de la classe du trafic,
- Choix de la région de tracé de la route,
- Choix des structures : choisir les fiches de structures les plus adaptées à partir des matériaux (région), de la classe du trafic et de la classe du sol.

I.2.5.5 La méthode mécanique empirique

Elle fait partiellement appel à une approche analytique qui est complétée par des données empiriques. Le principe de fonctionnement des méthodes de dimensionnement mécaniques empiriques est défini dans le schéma de la figure I-3.

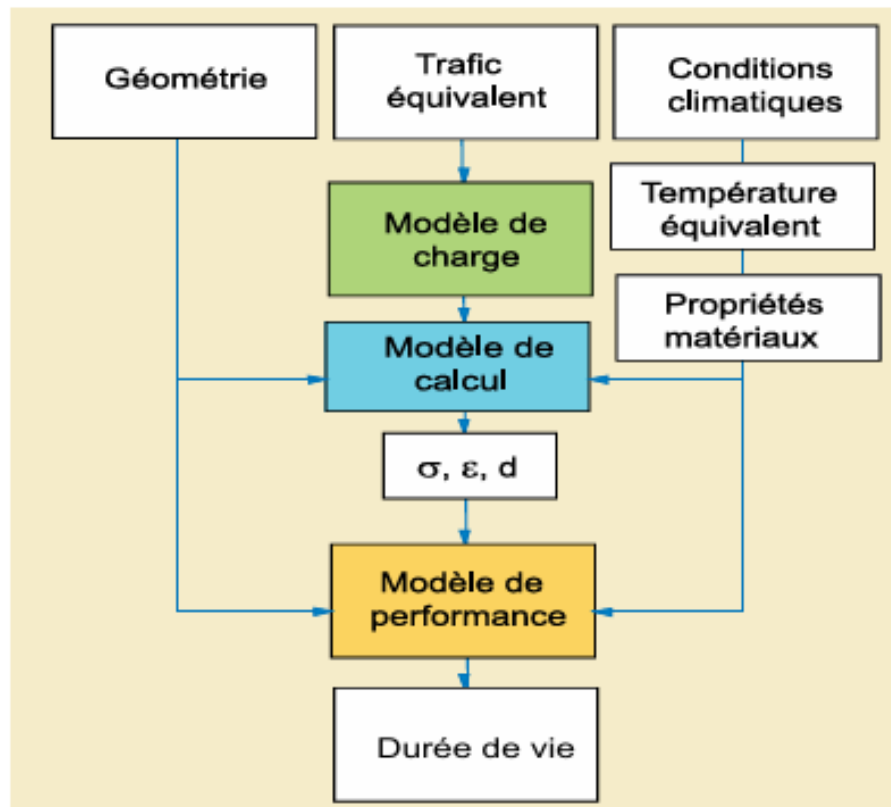


Figure I-3 Fonctionnement de la méthode mécanique empirique de dimensionnement
[11]

Le modèle de charge consiste à donner une image aussi réaliste que possible de la charge induite par une roue dans une chaussée routière. Le modèle de calcul permet de définir les contraintes et déformations qui apparaissent au sein d'une chaussée, sous l'effet d'une charge et dans des conditions bien définies. Ils fournissent des résultats théoriques correspondant aux hypothèses retenues pour la modélisation. Dans la plupart des cas, ces modèles se basent sur un comportement élastique des matériaux.

Le modèle de performance relie les états de sollicitations issus du modèle de calcul avec les dégradations des chaussées. Ils sont généralement obtenus en combinant des résultats d'essais en laboratoire avec l'observation du comportement réel des chaussées. Ils permettent d'exprimer le nombre de cycles d'une sollicitation donnée qu'une chaussée est à même de supporter avant de présenter une dégradation jugée inadmissible.

I.2.6 Les méthodes rationnelles

Elles modélisent le comportement des matériaux de chaussées en une loi mathématique. La démarche générale du dimensionnement rationnel s'articule selon quelques phases [11]:

- Une fois que les données nécessaires au calcul sont réunies, on procède à un premier choix de couche de roulement et à un predimensionnement de structure par référence à des situations comparables ;
- Modélisation et calcul de la structure : on calcule les contraintes et les déformations dans la structure de chaussée pré dimensionnée sous l'essieu de référence de 130 KN ;
- Vérification en fatigue de la structure et de la déformation du support en comparant les contraintes et les déformations calculées à l'étape 2 à des valeurs admissibles ;
- Ajustement des épaisseurs calculées ;
- Définition de la coupe transversale de la chaussée.

Parmi les méthodes rationnelles, il y a la méthode Boussinesq. Dans le cas où le corps de chaussée ne diffère pas trop du sol naturel, on peut considérer que la pression se répartit de la même manière que dans le sol. Ceci conduit à considérer la structure de chaussée comme un massif semi-infini et à proposer une méthode simple de dimensionnement.

Pour une charge circulaire de rayon a et de pression q_0 , la contrainte en un point situé à la verticale z du centre du cercle est donnée dans l'équation(1.5):

$$\sigma_z = q_0 \left[1 + \frac{(z/a)^3}{(1 + z^2/a^2)^{3/2}} \right] \quad (1.5)$$

I.3 Généralités sur les chaussées et constitution des chaussées en pavé

I.3.1 Généralités sur les chaussées

Une chaussée est une structure complexe composée de plusieurs couches qui reposent sur l'infrastructure, soit la sous-fondation, la fondation et le revêtement. Les caractéristiques et les interactions entre ces couches influencent le comportement et la durée de l'ouvrage. La chaussée est la surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules [9].

I.3.1.1 Constitution d'une chaussée

Une chaussée est une structure multicouche constituée de trois parties principales qui ont chacune un rôle bien défini (Figure 1-4) [12].

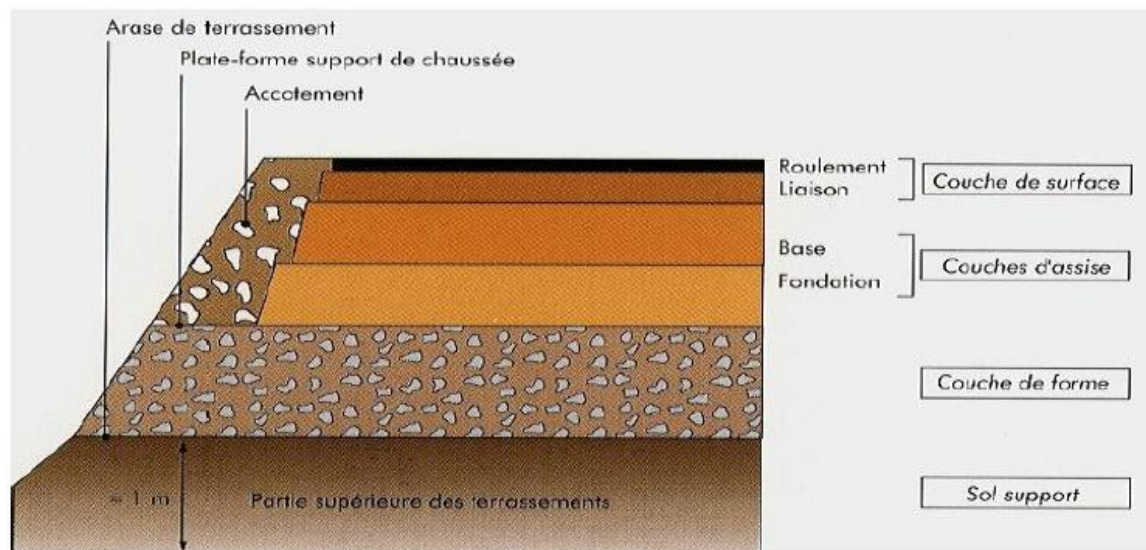


Figure I-4 Figure illustrant la constitution d'une structure de chaussée [12].

I.3.1.2 L'infrastructure

L'infrastructure d'une chaussée peut être définie comme le terrassement nécessaire à la constitution de l'assise de la superstructure. Elle est composée d'une PF et d'une couche de forme. Le sol d'infrastructure peut être soit le terrain naturel (sol convenable) soit un sol à

consolider (traitement du sol en place par un liant) ou encore un sol d'apport (sol à consolider pour supporter le passage des engins de chantier).

La préparation de l'infrastructure vise à :

- Nivelier le terrain pour la mise en place d'une superstructure d'épaisseur constante ;
- Présenter une surface de roulement apte à recevoir la circulation des engins durant la construction ;
- Disposer d'une interface supérieure ou réduisant le risque de remontée d'eau dans la fondation (en conjonction avec un drainage latéral).

I.3.1.3 La superstructure

La superstructure est constituée par l'ensemble des couches de matériaux mis en œuvre au-dessus de l'infrastructure. Elle est composée d'une couche de fondation, d'une couche de base et d'une couche de surface (revêtement).

D'une manière générale, la superstructure routière doit pouvoir supporter les charges de trafic et assurer leur diffusion selon les niveaux de contraintes supportables par l'infrastructure ; elle doit pouvoir, par ailleurs, subir l'agression des agents atmosphériques sans dégâts.

i. Le sol support :

Les structures de chaussées reposent sur un ensemble dénommé « Plate - forme support de chaussée » constitué du sol naturel terrassé, éventuellement traité, surmonté en cas de besoin d'une couche de forme. Les plates-formes sont définies à partir de la nature et de l'état du sol, de la nature et de l'épaisseur de la couche de forme.

ii. Couche de forme :

La couche de forme est constituée généralement des matériaux disponibles sur le chantier ou localement, elle sera constituée de matériaux sableux ou graveleux propres. Elle a pour rôle d'améliorer et d'uniformiser certains sols fins non traités possédant des caractéristiques géotechniques médiocres.

Actuellement on tient compte d'améliorer de la portance du sol support à long terme, par la couche de forme. L'épaisseur de la couche de forme est en général variable entre 40 et 70cm.

iii. Les couches d'assise :

L'assise de chaussée se décompose en deux sous-couches :

- **Couche de fondation** : Elle assure la performance et la bonne portance de la chaussée finie ; garantit la durabilité et la sécurité en répartissant les charges.
- **Couche de base** : Pour résister aux déformations permanentes sous l'effet du trafic elle reprend les efforts verticaux et repartis les contraintes normales qui en résultent sur les couches sous-jacentes. L'épaisseur de la couche de base varie entre 10 et 25cm.

iv. La couche de surface :

À son tour la couche de surface a généralement une structure bicouche :

- **La couche de roulement** : La couche de surface subit directement les agressions du trafic et de climat. Elle a pour rôle essentiel d'encaisser les efforts de cisaillement provoqué par la circulation.

Elle est en générale composée d'une couche de roulement qui a pour rôle :

- D'imperméabiliser la surface de chaussée ;
 - D'assurer la sécurité (par l'adhérence) ;
 - D'assurer le confort des usages (diminution de bruit...).
- **La couche de liaison** : L'apport structurel de cette couche est secondaire (sauf chaussées à assise granulaire dont la couche de surface est la seule couche liée), elle est tributaire de la pérennité de la chaussée. La couche de liaison a pour rôle essentiel, d'assurer une transition, avec les couches inférieures les plus rigides. En général l'épaisseur de la couche de roulement varie entre 3 et 8cm.

I.3.1.4 Les différents types de chaussée

Un véhicule transmet une charge sous forme de forces verticales par l'intermédiaire des pneumatiques. Le sol n'étant pas assez porteur, il est donc nécessaire d'interposer un écran qui aura pour but de réduire et de répartir les charges. La chaussée constitue cet écran. Selon

le mode de fonctionnement mécanique de la chaussée, on trouve des chaussées souples, des chaussées semi rigides et des chaussées rigides.

i. Les chaussées souples ou flexibles

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.

ii. 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.

iii. 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.

I.3.2 Constitutions des chaussées en pavés

I.3.2.1 Les pavés en pierres

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 auteurs (épaisseur), leurs sections et leurs formes, et leurs résistances en compressions.

I.3.2.2 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.

I.3.2.3 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.

I.3.2.4 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.

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.

La Figure I-5 montre l'effet de la charge sur les pavés selon leurs épaisseurs :

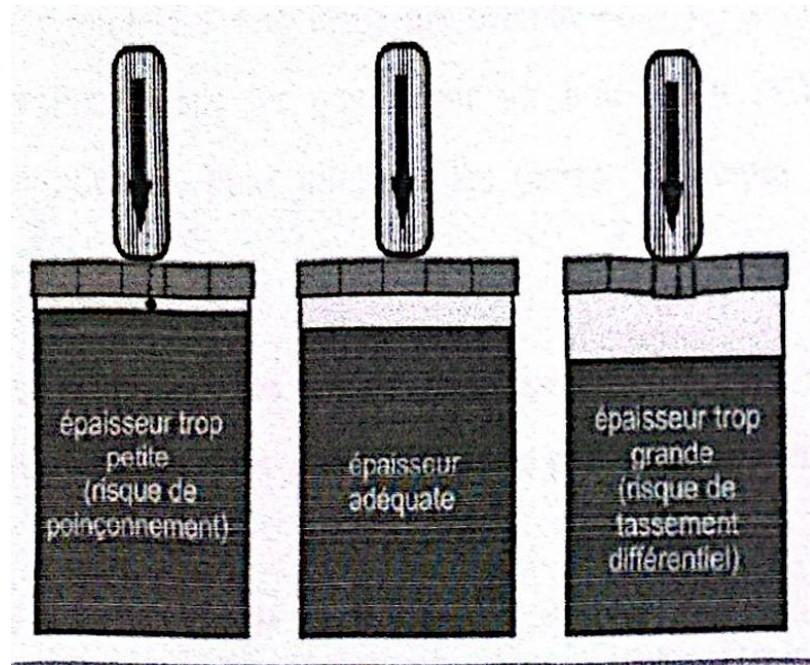


Figure I-5 Effet de la charge sur la hauteur de lit de pose [13]

I.3.2.5 La fondation

La couche de fondation apporte à la chaussée la résistance mécanique nécessaire pour supporter les charges induites par le trafic. Elle répartit 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.

De manière générale, une chaussée revêtue de pavés est schématisée par la figure I.6.

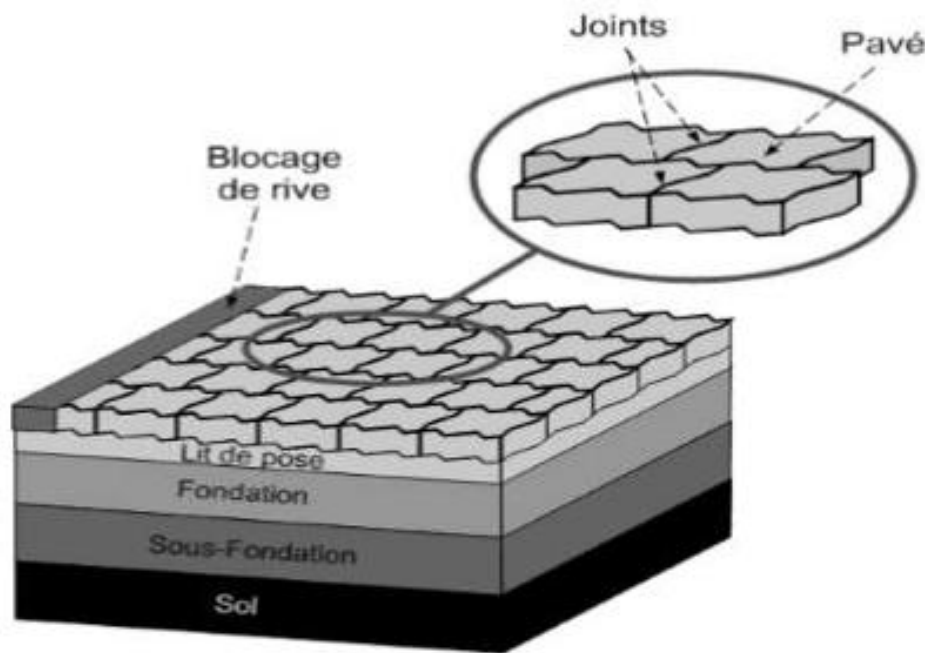


Figure I-6 Dessin type d'une chaussée revêtue de pavés [13]

I.4 Pavage et mise en œuvre

I.4.1 Définition et objectifs du pavage

Un pavé, est un bloc solide, généralement fabriqué en pierre naturelle, en béton ou en brique, utilisé pour le revêtement des surfaces comme les routes, les trottoirs, les places publiques ou les allées. Les pavés sont conçus pour être durables, résistants aux charges importantes, et faciles à poser ou à remplacer individuellement, ce qui en fait un choix populaire pour les infrastructures routières.

Ils se distinguent par leur forme régulière (souvent rectangulaire ou carrée) et leur capacité à s'emboîter, permettant de créer des surfaces stables et esthétiques, tout en assurant une bonne adhérence et un drainage efficace de l'eau.

À travers l'histoire, nous apprenons que la technique de chaussées pavées existait avant l'emploi du goudron et du bitume dans les travaux routiers. Par ailleurs, cette technique de pavage, a des nombreux avantages entre autres le faible coût d'entretien. Nous allons remarquer que si le pavage est bien fait, il peut durer jusqu'à plus d'une quarantaine d'années [14].

I.4.2 Types de pavés

Parmi les différents types de pavés, on distingue [15] :

I.4.2.1 Les pavés 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 rendent inutile le jointoiement au mortier. Il est, en revanche nécessaire de préparer avec soin le terrain où l'on va les poser.

I.4.2.2 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.4.2.3 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).

I.4.2.4 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 pierre basaltique).

I.4.3 Les normes et réglementations sur les pavés [16].

Les pavés doivent respecter la norme CSA A3-A231.2 (norme canadienne) qui stipule en général une résistance à la compression minimale de 45MPa ; 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 (juillet 2000). 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.

Le tableau I.4 présente les épaisseurs minimales recommandées des pavés en fonction de leur destination.

Tableau I.4 : Épaisseurs normalisées des pavés en fonction de la destination [16]

Destinations	Épaisseurs recommandées(cm)
Trottoirs-patio	5
Les entrées résidentielles	7
Les entrées commerciales	8
Chaussées urbaines	11

I.4.4 Caractéristiques des routes en pavé basaltique [17]

I.4.4.1 Résistance et durabilité

Le basalte est une roche solide et résistante à l'usure, ce qui en fait un matériau idéal pour les routes. Les pavés basaltiques peuvent supporter des charges lourdes et résister à l'abrasion, prolongeant ainsi la durée de vie de la chaussée.

I.4.4.2 Esthétiquement attrayant

Les pavés basaltiques sont souvent appréciés pour leur apparence esthétique. Leur couleur foncée et leur texture naturelle ajoutent une touche visuelle unique à l'environnement routier, comme le montre la figure I.7.



Figure I-7 Les pavés esthétiquement attrayant [17]

I.4.4.3 Résistance aux intempéries

Le basalte est résistant aux variations de température, au gel et au dégel, ce qui en fait un choix adapté aux climats tropicaux et aux régions sujettes à de fortes pluies ou à des conditions météorologiques extrêmes.

I.4.4.4 Facilité d'entretien

Les routes en pavé basaltique sont relativement faciles à entretenir. En cas de dommage ou d'usure, les pavés individuels peuvent être remplacés sans avoir à refaire toute la chaussée.

I.4.4.5 Résistance au glissement

La texture rugueuse des pavés basaltiques offre une bonne adhérence pour les véhicules, ce qui réduit le risque de dérapage, en particulier dans le temps pluvieux.

I.4.4.6 Écologiques

Les routes en pavé basaltique sont considérées comme une option écologique, car elles peuvent être fabriquées à partir de matériaux locaux et naturels. De plus, leur durabilité réduit le besoin de réparations fréquentes et contribue à une utilisation plus efficace des ressources.

I.4.5 Matériaux utilisés dans la construction des routes en pavés basaltiques [17]

Parmi les matériaux utilisés nous pouvons citer : Pavés basaltique, Le sable, Le gravier, La Pierre concassée ou Graves Non Traités (GNT).

I.4.5.1 Pavés basaltiques

Les pavés basaltiques constituent l'élément principal de la chaussée en pavé basaltique. Ils sont fabriqués à partir de blocs de basalte découpés en formes rectangulaires ou cubiques ; comme montre **la figure I.8**. Les pavés sont soigneusement taillés et ajustés pour former une surface régulière et solide. Le basalte étant une roche dure et résistante, les pavés basaltiques offrent la capacité de supporter les charges du trafic et de résister à l'usure.



Figure I-8 Les Pavés basaltique [17]

i. Le sable

Le sable est souvent utilisé comme matériau de base pour la construction de routes pavées. Il est mélangé avec du gravier pour créer une base solide et stable pour les pavés. Le sable est également utilisé pour remplir les joints entre les pavés, ce qui permet une bonne circulation de l'eau et empêche les pavés de se déplacer. Le sable doit être propre et bien tamisé pour garantir une bonne compaction et une surface uniforme ; voir **figure I.9**. Il est

important de choisir le bon type de sable en fonction des conditions environnementales et du trafic prévu pour assurer la durabilité et la sécurité de la route. Le sable est également placé entre la couche de fondation et les pavés basaltiques. Elle a pour rôle de nivellement et de stabilisation des pavés. Le sable utilisé doit être bien compacté pour assurer une surface de pose uniforme et stable.



Figure I-9 Illustration sablonneuse [17]

ii. Le gravier

Le gravier joue un rôle important dans la construction routière en tant que matériau de base ou de revêtement. Il est largement utilisé dans la construction de routes, d'autoroutes et de chemins en raison de ses propriétés physiques et de sa disponibilité. Le gravier est un mélange de petites particules de roche, généralement de taille comprise entre 2 et 64 millimètres comme le montre la **figure I.10**. Il peut être composé de divers types de roches, tels que le calcaire, le granit, le basalte ou le grès. Ces roches sont concassées en fragments de différentes tailles pour produire du gravier. Dans la construction routière, le gravier est utilisé pour former la couche de base de la chaussée. La couche de gravier, également appelée couche de fondation, est posée sous la couche de revêtement pour fournir une base solide et stable. Elle distribue les charges des véhicules sur une plus grande surface, réduit le risque de déformation et améliore la résistance de la route. L'avantage du gravier dans la construction routière réside dans sa disponibilité abondante, son coût relativement faible et sa facilité d'installation.



Figure I-10 Illustration des graves [17]

iii. La pierre concassée ou Graves Non Traités (GNT) :

La pierre concassée est un autre matériau couramment utilisé dans la construction routière. Elle est fabriquée en cassant de grosses roches en petits morceaux à l'aide d'un broyeur. La pierre concassée est souvent utilisée comme base pour les routes en béton ou en asphalte, car elle offre une excellente stabilité et une bonne résistance à l'érosion. Elle est également utilisée pour remplir les fossés le long des routes pour éviter l'accumulation d'eau et pour créer des fondations solides pour les ponts et les murs de soutènement. Comme pour le gravier, il est important de choisir le bon type de pierre concassée en fonction des conditions environnementales et du trafic prévu pour assurer la durabilité et la sécurité de la route. La pierre concassée doit également être propre et bien tamisée pour garantir une bonne compaction et une surface uniforme ; voir **la figure I.11**. En général, la pierre concassée est un matériau solide et résistant qui peut être utilisé pour construire des routes durables et fiables.



Figure I-11 Illustration des graves non traités [17]

I.4.6 Méthodes de pavage et technologies de mise en œuvre

Le pavage désigne l'action ou le processus de recouvrir une surface plane à l'aide des pavés, de manière à ce qu'ils s'agencent sans chevauchement ni espaces vides. En construction, il s'agit de créer des revêtements durables pour des routes, trottoirs, places ou allées, en utilisant des matériaux comme la pierre, le béton ou la brique [18].

La mise en œuvre constitue les étapes ci-dessous :

- Aménagement de la surface ;
- Mettre les pavés les uns à côtés des autres ;
- Placer des bordures en ciment ;
- Si possible passer dessus un compacteur ;
- Verser du sable et balayer pour remplir les espaces entre les pavés.

I.5 Assainissement routier [2]

I.5.1 Aperçu et objectifs de l'assainissement routier

L'assainissement de la route a pour but d'éloigner l'eau de la chaussée, tant pour le confort des usagers que pour la pérennité des structures. Il doit également contribuer à la préservation des ressources en eau et à la lutte contre la pollution. Il doit maintenir la prévention du contact humain avec des substances dangereuses, spécialement les fèces en mettant en place des systèmes de traitement et d'évacuation des déchets. Les dangers issus d'un mauvais assainissement sont multifactoriels, pouvant être à la fois physique, microbiologique, biologique ou encore chimique. Des systèmes d'assainissement plus hygiéniques peuvent s'appuyer sur des solutions technologiques telles que les égouts ou les stations de traitement des eaux usées. Fournir un assainissement respectant les standards de base requiert une approche systémique à l'inverse de seulement se concentrer sur la toilette en elle-même ou à l'autre extrémité l'usine de traitement des eaux usées.

De manière générale, l'assainissement comprend l'évacuation et le traitement des eaux et des solides usagés. Ces matières incluent les eaux de pluie, les eaux de ruissèlement, de drainage, de lavage, les eaux usées et ou provenant de toilettes, les excréments, et les

déchets solides ; ces derniers ont différentes origines (domestique, agricole, industrielle, médicale...).

I.5.2 Gestion des eaux pluviales et drainage

Les eaux pluviales qui s'écoulent sur les surfaces imperméabilisées par la construction de routes et de bâtiments, dites alors eaux de ruissellement, sont sujettes à la pollution. L'assainissement vise donc à évacuer ces eaux vers le milieu naturel, tels que des cours d'eau ou dans les zones où l'infiltration est possible, il est installé des bassins de rétention des eaux pluviales (bassins d'orage), des ouvrages de régulation du débit et des stations de pompage anti crues visant à assurer la protection du milieu naturel, des biens et des personnes contre les inondations, les éboulements, la détérioration des routes et des bâtiments.

Dans les grandes villes et les pays développés, on a recours à un système d'égout : le drainage des eaux de ruissellement urbain est fait en surface par des caniveaux se vidant régulièrement dans un réseau souterrain séparé (réseau dit séparatif) ou non des eaux usées (réseau unitaire) ; les bâtiments et les toilettes sont reliés directement aux égouts par des canalisations. Un siphon évite les retours d'odeurs dans le bâtiment. Un réseau d'égout représente un investissement très élevé, son entretien demande aussi beaucoup de ressources humaines et matérielles, il encourage une grande consommation d'eau en déresponsabilisant les utilisateurs, ses inévitables fuites contribuent à la pollution du sous-sol.

Les réseaux d'égouts séparatifs à faible diamètre permettent de soulager grandement les coûts d'investissement et d'entretien et la charge sur le système d'épuration (en ne transportant en principe que les eaux usées). Les eaux pluviales peuvent rester en surface si les caniveaux et les canaux à ciel ouvert sont correctement aménagés. Dans le cas contraire (en ville par exemple), les eaux pluviales empruntent un autre réseau, d'un diamètre important. Une difficulté est de veiller à ce que les artisans et industriels ne versent pas d'eaux polluées par des huiles minérales, des métaux lourds, des biocides ou d'autres produits indésirables dans l'égout. Ainsi, les méthodes d'évacuation et de traitement des

eaux pluviales diffèrent selon la taille de la ville, selon le type de zone (urbaine, péri-urbaine, communauté urbaine), selon les moyens disponibles et les habitudes culturelles.

I.6 Conclusion partielle

En résumé, dans cette partie nous avons présenté les généralités routières, la terminologie des routes et les concepts fondamentaux du pavage formant ainsi la base essentielle pour toute étude approfondie sur les infrastructures de transport. Enfin, les généralités sur les méthodes de dimensionnement des chaussées et de ses ouvrages d'assainissement jouent un rôle vital pour garantir la performance et la longévité des structures routières.

Ce premier chapitre a donc mis en lumière les aspects fondamentaux qui seront approfondis dans les chapitres suivants, en mettant en exergue la nécessité de maîtriser ces concepts pour toute initiative de planification et de construction routière.

Chapitre II. Matériels et Méthodes de Recherche

Cette partie aborde le dimensionnement structural des chaussées, qui vise à définir la nature et l'épaisseur des couches pour assurer leur résistance à long terme, ainsi que les études de sol, nécessaires pour identifier les propriétés physiques et mécaniques des terrains. Par ailleurs, le dimensionnement horizontal détermine l'agencement des voies, tandis que celui des ouvrages d'assainissement garantit une gestion efficace des eaux pluviales et usées.

II.1 Présentation du site

- **Localisation géographique :** Le tronçon en question est situé en République Démocratique du Congo, dans la province du Nord-Kivu, précisément dans la ville de Goma, au quartier Kasika, sur l'avenue Kibati. Ce tronçon s'étend sur une longueur de 818,26 mètres et possède une largeur moyenne de 9 mètres. Il présente plusieurs particularités géographiques notamment :
 - Des irrégularités topographiques marquent le tracé de cette route, certains points étant significativement plus élevés que d'autres, ce qui engendre des zones de rétention d'eau le long du parcours.
 - Le point culminant du tronçon atteint une altitude de 1530 mètres, tandis que le point le plus bas se situe à 1512 mètres, engendrant ainsi une différence de dénivelé de 18 mètres.

Les figures II.1 et II.2, tirées de Google Earth, présentent respectivement la vue aérienne du tronçon et l'allure du terrain naturel (terrain non revêtu).

AMENAGEMENT D'UNE CHAUSSEE EN PAVES BASALTIQUES RELIANT LA RN2 A LA ROUTE KATOYI (RUE KIBATI)



Figure II-1 la vue aérienne du tronçon RN2-Route KATOYI

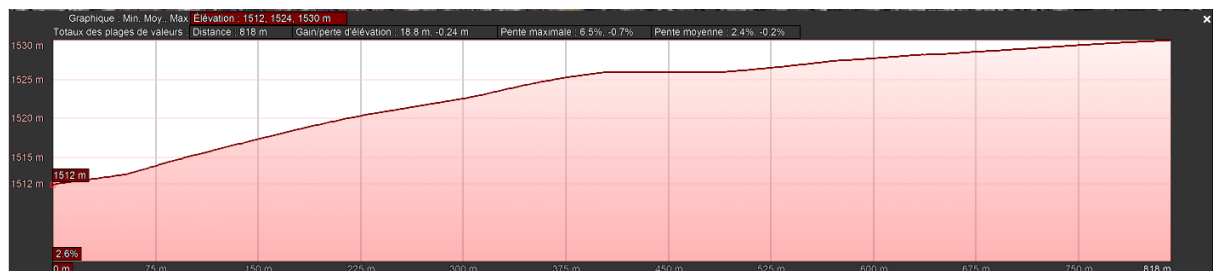


Figure II-2 L'allure du terrain naturel tiré de Google Earth

➤ Caractéristiques géométriques de la route

Le tableau II.1 présente les points kilométriques et leurs caractéristiques en termes de largeur et de matériaux présents ; le point initial étant l'intersection de la rue nationale numéro 2 avec le tronçon en étude.

Tableau II.1 : Les Points Kilométriques (PK)

PK	Plate-forme Support	Largeur
PK0+50—PK0+100	Scorie volcanique	11
PK0+100--PK0+150	Scorie volcanique	9
PK0+150—PK0+200	Scorie volcanique	8
PK0+200—PK0+250	Scorie volcanique	9
PK0+250—PK0+300	Scorie volcanique	8
PK0+300—PK0+350	Scorie volcanique	8
PK0+350—PK0+400	Scorie volcanique	9
PK0+400—PK0+450	Scorie volcanique	8
PK0+450—PK0+500	Scorie volcanique	11
PK0+500—PK0+550	Scorie volcanique	8
PK0+550—PK0+600	Scorie volcanique	10
PK0+600—PK0+650	Scorie volcanique	8
PK0+650—PK0+700	Scorie volcanique	8
PK0+700—PK0+750	Scorie volcanique	10
PK0+750—PK0+800	Scorie volcanique	9
PK0+800—PK0+818	Scorie volcanique	10

➤ **Conditions environnementales :**

La ville de Goma, 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° 45' Sud) ; Longitude (29° 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 ruissèlement [2].

II.2 Conception géométrique de la route

Le tracé routier se définit par la connaissance du tracé de son axe en plan (Tracé en plan), de la position en altitude (Profil en long) et de son gabarit (Profil en travers). Ce tracé doit satisfaire certaines conditions de la nature et de l'importance du trafic. Le tracé en plan et le profil en long doivent résoudre les problèmes suivants [19].

- Un véhicule rapide doit pouvoir circuler à grande vitesse ;
- Un véhicule lourd doit pouvoir gravir les déclivités ;

- Un véhicule long doit pouvoir s'inscrire dans les courbes.

Le profil en travers courant doit pouvoir résoudre quant à lui les problèmes suivants [20] ;

- La largeur de la chaussée doit pouvoir évacuer un débit assez important de trafic dans les conditions de sécurité et de confort ;
- Les différents dévers doivent permettre aux véhicules dans une courbe de passer sans dérapage ;
- L'eau doit s'écouler et l'assainissement doit se faire aussi facilement que possible.

II.2.1 Profils géométriques de la chaussée

II.2.1.1 Profils en long et profil en travers

Un profil en long est la représentation d'une coupe verticale suivant l'axe d'un projet linéaire (route, voie ferrée, canalisation, etc.). Le profil en long est complété par des profils en travers qui sont des coupes verticales perpendiculaires à l'axe de la route de la surface définie par l'ensemble des points représentatifs de cette surface, il peut se rapporter soit au terrain naturel soit au projet. Leur établissement permet en général le calcul des mouvements de terres (cubatures) et, par exemple, permet de définir le tracé idéal d'un projet de manière à rendre égaux les volumes de terres excavés avec les volumes de terre

La **figure II-3** illustre le modèle d'un profil en long.

Le tracé en plan est profondément marqué par l'influence de la dynamique des véhicules, leur stabilité n'est acquise qu'à condition de respecter les lois liant vitesse du véhicule, rayon de courbure du tracé en plan et dévers de chaussée (comprenant l'effet des forces centrifuges). Il faut tenir compte également de l'influence des facteurs physiologiques intervenant lors de la conduite et éventuellement des problèmes de visibilité (il faut rendre visible une certaine longueur de trajet pour pouvoir conduire).

II.3 Étude géotechnique du sol de la plateforme

L'étude s'est portée que sur les essais d'identification du sol ou du matériau constituant la chaussée classée de la manière suivante :

- La teneur en eau ;
- Analyse granulométrique ;
- Les masses volumiques ;
- Limites d'Atterbeg ;
- Le proctor modifié et CBR.

II.3.1 Teneur en eau naturelle du sol

L'essai consiste à déterminer la teneur en eau d'un échantillon du sol. Cette teneur en eau naturelle dépend beaucoup plus de conditions environnementales du milieu où s'est effectué le prélèvement (le climat, le temps...) et de conditions de mise en œuvre liées au prélèvement et à la réalisation de l'essai (transport de l'échantillon, manipulation de l'échantillon, appréciation du résultat...)

II.3.1.1 Mode opératoire

- Peser la tare pour en savoir sa masse ;
- Prélever une certaine masse de l'échantillon ;
- Placer la masse de l'échantillon dans la tare et peser l'ensemble. Ce qui conduira à la détermination de la masse humide ;
- Mettre à l'étuve ou brûler à l'essence dans le but d'éliminer l'humidité jusqu'à la stabilisation de la masse de l'échantillon ;

- Ceci mènera à l'obtention de la masse sèche du sol. Par l'application de la formule, nous obtenons la teneur en eau du sol dans son état naturel. Après cet essai, nous avons procédé à la détermination des masses volumiques à savoir apparente et absolues.

II.3.1.2 Expression du résultat

La teneur en eau w d'un sol est exprimée par la relation (2.1):

$$\omega(\%) = \frac{m_{eau}}{m_{sol\ sec}} \times 100 \quad (2.1)$$

où : $m_{eau} = m_{humide} - m_{sec}$

$m_{sol\ sec}$: Masse du sol sec

II.3.2 Masse volumique apparente

Cet essai s'effectue directement après l'essai de la détermination de la teneur en eau W et cela suivant la norme NF P 94-053. Cette masse volumique consiste à évaluer le rapport entre le poids du sol et le volume du sol à une teneur en eau donnée.

II.3.2.1 Procédure de l'essai

- Déterminer sur la balance, la masse m_0 du moule
- Prélever une certaine quantité d'échantillon de sol (passant au tamis de 2mm)
- Bien remplir le moule de l'échantillon de sol et araser sa surface supérieure
- Peser l'ensemble pour déterminer la masse m_1

II.3.2.2 Expression du résultat

La masse volumique apparente ρ est obtenue suivant la formule 2.2 :

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.2)$$

Avec :

- ρ : la masse volumique apparente
- m : masse du matériau ;
- V : volume du moule normalisé

II.3.3 Masse volumique absolue

L'essai consiste à déterminer la masse volumique des particules solides du sol. Il a été effectué selon la norme NF P 94-054.

II.3.3.1 Mode opératoire

- Peser une éprouvette graduée P1 ;
- Mettre une quantité d'eau et peser P2 ;
- Mettre le sol dans l'eau et peser ;
- Déterminer la masse du sol par P3-P2 ;
- Déterminer la masse de l'eau P2-P1 ;
- Déterminer le volume de l'eau par : $v = \frac{m}{\rho}$;
- Le volume du sol = volume de l'eau.

II.3.3.2 Expression du résultat

L'expression du résultat de la masse volumique se traduit par la formule (2.3)

$$\gamma_{abs} = \frac{\text{masse du sol (g)}}{\text{volume du cylindre (cm}^3\text{)}} \quad (2.3)$$

II.3.4 Essai Proctor modifié

L'essai Proctor a pour but de déterminer, pour un compactage d'intensité donnée, la teneur en eau à laquelle doit être compacté un sol pour obtenir la densité sèche maximale. La teneur en eau ainsi déterminée et appelée « teneur en eau optimum Proctor ».

On distingue deux types : l'essai Proctor normal et l'essai Proctor modifié. Les deux essais sont identiques dans leur principe, mais diffèrent par les valeurs des paramètres qui définissent l'énergie de compactage appliquée.

L'essai Proctor consiste à compacter dans un moule standard, à l'aide d'une dame standard et selon un processus bien déterminé, un échantillon du sol à étudier et à déterminer la teneur en eau du sol et sa densité sèche après le compactage.

L'essai Proctor est répété plusieurs fois de suite sur des échantillons portés à des teneurs en eau croissantes (2%,4%,6%,8%,10%,12%,14%,16%). On détermine ainsi plusieurs points de la courbe représentative des densités sèches en fonction des teneurs en eau. On trace alors la courbe en interpolant entre les points expérimentaux. Elle représente un maximum dont l'abscisse est « la teneur en eau optimum Proctor », et l'ordonnée « la densité sèche maximum Proctor »

. La teneur en eau optimale et la densité sèche optimale sont obtenues suivant la norme NF P 94- 093 à l'aide de l'essai Proctor modifié. La teneur en eau optimal est obtenue à la teneur à laquelle la densité sèche a commencé à diminuer.

II.3.4.1 Mode opératoire

- Prendre environ 6 ou 7 kg de sol ayant des diamètres inférieurs à 20mm ;
- Y verser une quantité d'eau de départ et cela est pris en fonction de la teneur en eau naturelle du sol et de l'état de l'échantillon ;
- Malaxer le mélange jusqu'à l'homogénéisation de ce dernier ;
- Remplir le moule Proctor normalisé en 5 couches et à chaque couche on compacte à l'aide d'une dame Proctor en 55 coups par couche ;
- Une le compactage fini, on arase avec la règle à araser, on comble les vides laissés à la surface ;
- On pèse la masse de l'ensemble qui va permettre l'évaluation de la densité humide ;
- On prélève un échantillon de sol à la surface du moule, puis on retire la base de ce dernier afin de prendre un 2ème échantillon d'à peu près du même poids ;
- A la balance, on évalue les masses des deux prélèvements puis on les met à l'étuve pendant 24 heures pour obtenir la teneur en eau.
- Les résultats obtenus sont inscrits dans un tableau. L'essai est répété plusieurs fois de suite sur des échantillons portés à des teneurs en eau croissantes (2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12%, 14%, 16%) ;
- On arrête lorsque la masse pesée chute ; ce qui traduit une diminution de la densité

- Les valeurs sont rapportées sur la courbe Proctor et ainsi déterminer la teneur en eau maximale dite teneur en eau optimale (ω_{opt}).

II.3.4.2 Expression des résultats

- Masse volumique sèche maximale ($\gamma_d \text{ max}$)
- Teneur en eau optimale (ω_{opt})

II.3.5 Essai CBR

L'essai CBR est un essai de portance (aptitude des matériaux à supporter les charges), il s'agit en fait de comparer la portance du sol que l'on est en train de tester à la portance d'un sol standard de l'état de Californie aux Etats Unis. Cet essai permet de réaliser la caractérisation mécanique des sols naturels et des sols compactés dans des remblais et des couches de forme, de fondations de routes et aéroports. Il mesure la résistance à l'effort tranchant d'un sol et le gonflement du sol lorsqu'il est immergé dans l'eau pendant quatre (4) jours. Il nous permet de calculer la portance du sol, en estimant sa résistance au poinçonnement.

L'essai CBR a été effectué suivant la norme NF P 94-078 pour déterminer la portance du sol. L'essai consiste à poinçonner l'échantillon de matériau compacté par pénétration d'un poinçon cylindrique à une vitesse constante de (1,27mm/min). Les valeurs des forces correspondant à des enfoncements de 2,5 et 5mm sont reportés à celles obtenues sur un matériau de référence pour en déduire la valeur de l'indice portant recherché. L'indice de portance CBR immergé (I CBR après 4 jours d'immersion), et indice portant immédiat IPI, sont calculés ainsi par le rapport entre la pression d'enfoncement du sol et celle d'un matériau type référence (en %).

II.3.5.1 Mode opératoire

L'essai sera réalisé à la teneur en eau optimale déterminée par l'essai Proctor modifié. De ce fait il conviendra de préparer le matériau de la même manière que pour l'essai Proctor à savoir :

- Le matériau est séché à l'étuve à 60° Celsius maximum ;
- Tamisage du matériau au tamis de 20mm ;

- On écrase les mottes de terre en veillant à ne pas briser les graviers ;
- On réalise 3 moulages à 3 énergies de compactage différentes, il faut donc prévoir au moins 3x5,5 Kg de matériau écrêté à 20mm.
- Préparer le moule en veillant à ce qu'il soit propre et en bon état. On pèse le tout à 5g près, puis on place le disque d'espacement ;
- On introduit ensuite le matériau selon le processus de l'essai Proctor modifié en 5 couches successives d'égales épaisseur qui sont chacune compactée avec la même dame Proctor modifiée selon les énergies de compactage différentes qui sont en général 10, 25 et 55 coups par couche. Le but est d'obtenir 3 moulages ayant nettement des compacités différentes (ces compacités étant en principe et de façon approximative respectivement de l'ordre de 90%, 95% et 100% de la densité sèche maximale du Proctor modifié).
- Une fois le compactage terminé, on arase soigneusement puis on enlève le fond que l'on veut fixer sur la face supérieure du moule après avoir placé un papier filtre à la surface de l'échantillon,
- On retourne le moule, on retire le disque d'espacement puis après avoir également placé un papier filtre sur cette face, on pèse à 5g près ;
- Si le sol doit être essayé sans imbibition on procède immédiatement au poinçonnement. Sinon on place le disque perforé de gonflement à la surface de l'échantillon puis on dispose une charge annulaire sur le disque. Le moule ainsi chargé est placé dans un bac rempli d'eau de telle sorte que l'eau arrive librement par-dessous et par-dessus l'échantillon ;
- On place le trépied porte comparateur en s'assurant que les pieds portent bien sur les bords du moule. On fixe le comparateur au trépied. On règle la hauteur de la tige du plateau de gonflement de façon que le palpeur du comparateur vienne reposer sur l'extrémité de cette tige. On note alors la lecture du comparateur (lecture initiale) ;
- On laisse le moule à imbibition normale pendant 96 heures dans l'eau
- Le délai écoulé, on note le gonflement lu au comparateur, on enlève les surcharges et le plateau de gonflement on le porte sous la presse de poinçonnement.

- Après cela, l'étape de poinçonnement doit immédiatement suivre selon la mise en œuvre suivante :
- Le moule est placé sur le plateau de la presse et centré de telle façon que le piston de poinçonnement soit bien dans le prolongement de l'axe du moule ;
- La tête du piston est amenée en contact avec la surface de l'échantillon en faisant monter le plateau de la presse. On remet alors les surcharges annulaires. La mise en place du piston de poinçonnement est achevée en manœuvrant lentement le volant de la presse jusqu'au moment où l'aiguille du comparateur de l'anneau dynamométrique commence à bouger. A ce moment le piston est bien en contact avec la surface de l'échantillon ;
- On fixe alors un comparateur au 1/100 de millimètre derrière le cadran de l'indicateur, de cadence-comparateur qui coulisse le long d'une tige verticale solidaire du bâti de la presse est fixé de telle sorte que la pointe du palpeur du comparateur vienne reposer sur le bord du moule. Le comparateur est amené à zéro, puis l'indicateur de la cadence mis en marche ;
- L'opérateur se met alors au volant de la presse et commence le poinçonnement au moment où le rayon repère de l'indicateur de cadence viennent se superposer à l'aiguille du comparateur. Il manœuvre lentement de façon à maintenir en coïncidence l'aiguille du comparateur et le rayon repère. En procédant de cette façon le poinçonnement s'effectue avec la vitesse constante normalisée soit 1,27mm/minute ;
- Au cours de l'essai, on note les pressions lues sur l'anneau dynamométrique qui correspondent aux enfoncements suivants : 0,2 - 0,4 - 0,6 - 0,8 - 1 - 1,5 - 2 - 2,5 - 3 - 3,5 - 4 - 4,5 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 et 10mm. On arrête alors l'essai quand on atteint ce dernier enfoncement ;
- Pour les calculs on s'intéresse aux valeurs des pressions trouvées aux enfoncements de 2,5 et 5 mm qu'on divise par 1000 et ensuite on lit sur l'abaque les forces correspondantes.

II.3.5.2 Expression du résultat

L'indice de portance CBR immergé et indice portant immédiat IPI est déterminé à deux pénétrations (2,5 mm et 5,0 mm) selon les formules respectivement (2.4) et (2.5) :

$$CBR_{2.5} = \frac{\text{Force appliquée } 2,5}{13,7} \times 100 \quad (2.4)$$

$$CBR_5 = \frac{\text{Force appliquée } 5}{20,5} \times 100 \quad (2.5)$$

Le tableau II.2 présente les différentes classes du CBR selon les indice CBR d'après le guide CEBTP.

Tableau II.2 Classe de plate-forme guide CEBTP [17]

CBR de la plateforme	classe de sol
CBR<5	S1
5<CBR<10	S2
10<CBR<15	S3
15<CBR<30	S4
30>CBR	S5

II.4 Dimensionnement structural des chaussées

II.4.1 Choix et justification de la méthode de dimensionnement

Dans le cadre du dimensionnement des structures de chaussée pour le projet d'aménagement du tronçon reliant la RN2 à la route Katoyi, la méthode CBR (California Bearing Ratio) a été retenue.

Ce choix se justifie par plusieurs raisons d'ordre technique, économique et contextuel entre autres :

- Sa simplicité d'application et sa facilité d'interprétation, ce qui en fait un outil particulièrement adapté dans les contextes où les ressources techniques et les moyens logistiques sont limités. Elle repose sur des essais normalisés de pénétration réalisés sur les matériaux en place, permettant ainsi une évaluation rapide et efficace de la portance des sols.

- Cette méthode présente un coût relativement faible comparé à d'autres approches plus complexes (comme la méthode AASHTO ou l'approche mécanique-empirique). Elle ne nécessite pas d'équipements lourds ou d'instruments sophistiqués, ce qui en fait une méthode économiquement accessible, notamment dans les contextes de pays en développement ou dans des projets à budget limité.
- La méthode CBR est également particulièrement pertinente pour les types de sols rencontrés localement dans la zone d'étude. Les sols de la région présentent une variabilité modérée, et leur comportement mécanique peut être convenablement évalué à travers les valeurs de CBR. Cette méthode permet ainsi de prendre en compte les caractéristiques géotechniques locales de manière réaliste et fiable.
- Enfin, la méthode CBR est largement utilisée dans les pratiques de dimensionnement routier en Afrique subsaharienne, et elle est conforme aux recommandations de nombreux guides techniques régionaux, ce qui renforce sa pertinence dans le contexte du présent projet.

Il convient également de souligner que, dans le cadre du présent projet, la structure de chaussée prévue est constituée de pavés, ce qui en fait une chaussée de type rigide. Toutefois, le comportement mécanique de ce type de chaussée, notamment en ce qui concerne le transfert des charges vers la fondation, s'apparente à celui des chaussées souples, en particulier en zone urbaine sur sols peu stables. Dans ce contexte, l'usage de la méthode CBR reste tout à fait pertinent, car elle permet de dimensionner efficacement les couches de fondation (couche de forme, couche de fondation) qui assurent la stabilité de l'ensemble.

Cette méthode permet de concilier exigences techniques, réalités du terrain, coûts maîtrisés et adéquation avec les pratiques locales.

II.4.2 La méthode basée sur le CBR [21]

C'est une méthode semi-empirique qui se base sur un essai de poinçonnement sur un échantillon du sol support en compactant les éprouvettes de 90% à 100% de l'optimum Proctor modifié sur une épaisseur d'au moins 15cm.

AMENAGEMENT D'UNE CHAUSSEE EN PAVES BASALTIQUES RELIANT LA RN2 A LA ROUTE KATOYI (RUE KIBATI)

Le CBR retenu finalement est la valeur la plus basse obtenue après immersion de cet échantillon. Pour que la chaussée tienne, il faut que la contrainte verticale répartie suivant la théorie de BOUSSINESQ, soit inférieure à une contrainte limite qui est proportionnelle à l'indice CBR.

Avant la recherche de l'épaisseur, il nous faut donc chercher à trouver N qui est le nombre moyen de poids lourds après 15 ans à partir de la formule (2.6):

$$N = TMJA(2040) = TMJA(2025) \times (1 + \tau)^n \quad (2.6)$$

Avec :

$n = 15$: le nombre d'années ;

$TMJA(2040)$: le trafic moyen journalier annuel en 2040 ;

$TMJA(2025)$: le trafic moyen journalier annuel en 2025 ;

$\tau = 0,07$: le taux d'accroissement du trafic.

L'épaisseur est donnée par la formule (2.7)

$$e = \frac{100 + 150\sqrt{P}}{I_{CBR} + 5} \quad (2.7)$$

Avec

- ✓ e = épaisseur de chaque couche de la chaussée (en cm)
- ✓ P = charge maximale de la roue (en tonne)
- ✓ I_{CBR} = indice portant CBR (California Bearing Ratio) de chacune de couche du corps de la chaussée.

Avec les résultats des recherches, la relation (2.6) a été améliorée en 1956, maintenant la formule utilisée pour le calcul de l'épaisseur critique est la formule(2.8):

$$e = \frac{100 + (75 + \frac{50 \log N}{10})\sqrt{P}}{I_{CBR} + 5} \quad (2.8)$$

Avec :

- ✓ e = épaisseur de chaque couche de la chaussée (en cm)
- ✓ N = nombre de poids lourd de plus de 3,5 tonnes par jour

- ✓ **P**= charge maximale de la roue, P= 6,5t (essieu 13 tonnes)
- ✓ **ICBR**= Indice CBR (California Bearing Ratio)

L'épaisseur critique fait référence à l'épaisseur minimale de la couche de chaussée nécessaire pour garantir que la contrainte verticale exercée par le trafic ne dépasse pas la capacité portante du sol, déterminée par le CBR.

II.4.2.1 Notion de l'épaisseur équivalente

La méthode considère que la chaussée est constituée d'une seule couche d'un même matériau. L'épaisseur de la couche obtenue est celle d'une grave concassée propre (grave de référence de coefficient d'équivalence égale à l'unité).

La détermination des épaisseurs des différentes couches d'une chaussée en matériaux divers est obtenue en utilisant les coefficients d'équivalence qui permettent de convertir l'épaisseur équivalente calculée en une épaisseur réelle de plusieurs couches. L'épaisseur équivalente de la chaussée est égale à la somme des épaisseurs équivalentes des couches selon la formule (2.9):

$$E_{\text{éq}} = \sum_{i=0}^n e_i \cdot a_i \quad (2.9)$$

Avec ($a_1 \times e_1$) : Couche de roulement

($a_2 \times e_2$) : Couche de base

($a_3 \times e_3$) : Couche de fondation

Où

a_i : Les coefficients d'équivalences

e_i : Les épaisseurs des couches

Les valeurs usuelles du coefficient d'équivalence suivant le matériau utilisé sont données dans le Tableau II.3 :

Tableau II.3 : Valeurs usuelles du coefficient d'équivalence (CBR) [21]

AMENAGEMENT D'UNE CHAUSSEE EN PAVES BASALTIQUES RELIANT LA RN2 A LA ROUTE KATOYI (RUE KIBATI)

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux ou enrobe dense	2.00
Grave ciment – grave laitier	1.50
Grave concasse ou gravier	1.00
Grave roulée – grave sableuse T.V. O	0.75
Sable	0.50
Grave bitume	1.60 à 1.70
Tuf	0.60

II.5 Choix de matériaux

L'efficacité d'une route dépend en grande partie des propriétés des matériaux utilisés pour sa construction. Cela implique qu'il est crucial de porter une attention particulière à l'étude et au choix de ces matériaux pour assurer la qualité de la chaussée.

Notre étude étant basée sur le dimensionnement d'une chaussée souple, nous retenons dans la suite du document les caractéristiques des matériaux d'une chaussée souple.

Dans la ville de Goma, on utilise, en raison d'économie et de disponibilité ; les matériaux décrits dans le tableau II.4;

Tableau II.4: Les matériaux de construction routière à Goma (donnée fournie par l'Office des Routes [22])

Couches	Matériaux
Couche de roulement	Béton bitumineux ou pavé
Couche de base	Gravier concassé
Couche de fondation	Scorie volcaniques

À Goma, les sites potentiels pour le ravitaillement en matériaux de construction des routes sont nombreux.

Les caractéristiques de matériaux de la couche de base (venant la carrière de MUNIGI, situé sur la RN2 et allant vers Rutshuru) et de la couche de fondation ont été analysées au laboratoire de l'Office de Routes par les essais ci-après :

- Analyse granulométrique ;

AMENAGEMENT D'UNE CHAUSSEE EN PAVES BASALTIQUES RELIANT LA RN2 A LA ROUTE KATOYI (RUE KIBATI)

- Proctor modifié ;
- CBR
- Limite d'Atterberg, ainsi que ;
- Poids spécifique des grains solides.

Les résultats de ces essais seront présentés en annexe B.

Pour la couche de revêtement, les pavés ont été les matériaux adoptés en fonction de leurs nombreux avantages développés dans le chapitre précédent, les dimensions données sont telles que :

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

L'épaisseur du pavé, elle est choisie en fonction du trafic comme l'illustre le tableau II.5.

Tableau II.5 : Choix de l'épaisseur du pavé en fonction du trafic [17]

Classe du trafic	Utilisation des pavés	Épaisseur minimale des pavés en mm
T1	Courante	60
T2		80
T3		80
T4	Nécessite une étude détaillée	100
T5		100

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

Le nombre de pavés total sera donné à partir de la relation (2.10):

$$NP = \frac{SC+ST}{SP} \quad (2.10)$$

Avec,

SC : surface de la chaussée

ST : surface du trottoir

SP : Surface d'un pavé.

Le choix de l'épaisseur de la couche de fondation sera déterminé par le tableau II.6

Tableau II.6 valeurs usuelle des épaisseurs de fondation partant du CBR [23]

CBR	Epaisseur de la couche de fondation
-----	-------------------------------------

CBR>10	15 à 20cm
5>CBR≤10	20 à 30cm
CBR<5	30cm ou plus

II.6 Assainissement routier

Une route, qu'elle soit en remblais ou en déblais, subit des risques graves d'érosion dus aux eaux de ruissellement. Les protections contre ces dégradations peuvent être [24] :

- Directes par augmentation de la résistance et rectification régulière des surfaces érodées (entretien) ;
- Indirectes, par localisation du ruissellement dans des ouvrages étudiés spécialement pour écouler les eaux sans dégâts : c'est le système d'assainissement, constitué par le réseau de fossés et leurs ouvrages de décharge.

Les fossés concentrent toutes les eaux de ruissellement ayant une action directe sur la route, qu'elles proviennent des impluviums extérieurs ou bien de la plate-forme routière proprement dite et des talus attenants.

On distingue en général deux types de fossés :

- Les fossés extérieurs destinés à collecter principalement les eaux provenant des impluviums extérieurs ;
- Les fossés latéraux situés des deux côtés, ou d'un seul côté de la route destinés à collecter principalement les eaux de la plate-forme routière et des zones attenantes (talus, bande d'arrêt, etc.).

Les dispositions sont très spécifiques suivant la topographie, dans le cadre de ce travail, les fossés extérieurs ne seront pas mis en œuvre.

Les fossés peuvent être :

- Triangulaires, qui fait l'objet de ce travail, est confectionnés au grader. C'est le plus communément rencontré. Les pentes des talus sont en général 1/2 et 2/1 ou bien 2/3 et 3/2 ;
- Rectangulaires, confectionnés par exemple à la niveleuse, à la pelle mécanique ou au ripper en terrain très cohésif ou rocheux ;

- Trapézoïdaux, confectionnés par exemple à la niveleuse ou à la pelle mécanique en terrain très cohésif ou rocheux. Les pentes de talus peuvent être 1/2 ou 1/1 ou 3/2 suivant la stabilité des talus voire plus raides en terrain rocheux.

Les dimensions peuvent être très variables, notamment pour les fossés extérieurs qui peuvent être amenés à véhiculer des débits importants. Pour les fossés latéraux, on ne dépasse pas en général une profondeur de 0,60 m pour des problèmes de sécurité à moins que des dispositifs spéciaux (glissières...) ne soient mis en place. **La Figure II.5** illustre respectivement le fossé triangulaire à $\frac{1}{2}$ et le fossé triangulaire à $\frac{2}{3}$.

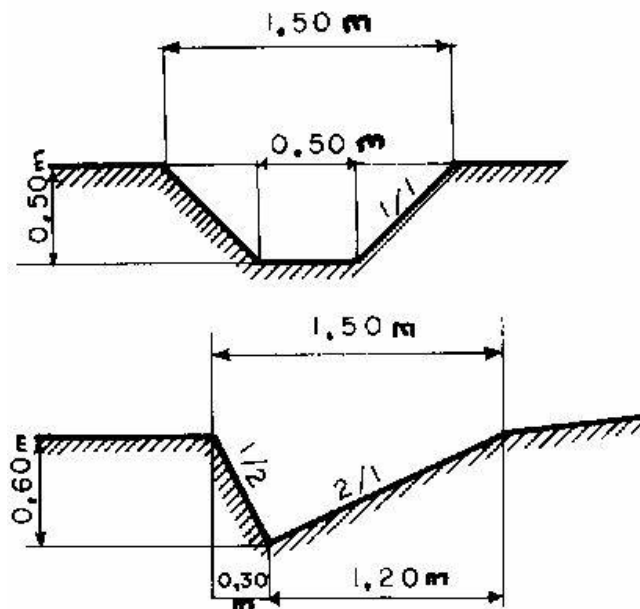


Figure II-5 Schéma des fossés trapézoïdal et triangulaire [24]

Pour éviter les débordements de l'eau quand les débits dépassent la capacité des fossés intéressés ou bien pour que les vitesses d'écoulement dans les fossés n'atteignent pas les limites d'affouillement, les fossés latéraux doivent comporter des ouvrages de décharges en nombre suffisant.

II.6.1 Calculs des fossés latéraux [25]

➤ Capacité des fossés latéraux

Les débits des fossés latéraux sont donnés par la formule (2.11) de MANNING STRICKER :

$$Q = VS = KSR^{\frac{2}{3}}i^{\frac{1}{2}} \quad (2.11)$$

Avec

$$V = KR^{\frac{2}{3}}i^{\frac{1}{2}} \quad (2.12)$$

Avec ;

- Q : Débit en m^3/s
- V : Vitesse en m/s
- K : Coefficient de rugosité de Manning
- R : Rayon hydraulique en m
- I : Pente longitudinale

On prendra pour le coefficient de rugosité K les valeurs suivantes :

- Fossés en terre K=33
- Fossés en rocheux K=25
- Fossés en béton K=67

Dans cette étude, le dimensionnement des fossés en béton a été réalisé en utilisant la valeur du coefficient de rugosité de Manning, **K=67**.

Pour une pente donnée, la vitesse d'écoulement croît avec la hauteur d'eau dans le fossé. Pour un type de terrain meuble donné et une pente longitudinale donnée, il y a donc une capacité limite qu'il ne faut pas dépasser : il y a lieu alors, soit de changer de type de fossé, soit de l'interrompre et envoyer l'eau vers un émissaire naturel au moyen d'un ouvrage de décharge (ouvrage divergent ou ouvrage sous-chaussée par exemple) si le tronçon n'est pas trop en déblais.

Pour les zones rocheuses et dans le cas des fossés bétonnés, les affouillaiements ne sont pas à craindre. Néanmoins, les vitesses supérieures à **3.5m/s** sont à déconseiller à cause des débordements dès qu'il y a un obstacle éventuel dans le fossé (rochers, branchages, etc.).

Ces vitesses fixent par conséquent une capacité maximale pour les fossés revêtus ou non revêtus, débit à ne pas dépasser pour une pente longitudinale donnée.

La surface mouillée S de la **formule (2.14)** et le rayon hydraulique R de l'expression **(2.13)** 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 les fossés de talus $2/1, 1/2$ on a :

$$R = \frac{h\sqrt{5}}{6} = \left(\frac{V}{K\sqrt{i}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.13)$$

$$S = \frac{5h^2}{4} \quad (2.14)$$

D'où

$$Q = SV = \frac{9V^2}{K^3 i^{\frac{3}{2}}} \quad (2.15)$$

Pour les fossés de talus $3/2, 2/3$ on aura :

$$R = \frac{h\sqrt{13}}{10} = \left(\frac{V}{K\sqrt{i}} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$S = \frac{13h^2}{12} \quad (2.16)$$

D'où

$$Q = SV = \frac{50}{6} \frac{9V^2}{K^3 i^{\frac{3}{2}}} \quad (2.17)$$

Pour l'évaluation de la capacité maximale d'écoulement des fossés triangulaires revêtus, deux approches étaient envisageables : soit un calcul direct à partir des formules théoriques établies (formules de Manning), soit l'utilisation de valeurs normalisées correspondant aux conditions standards adoptées.

Étant donné que les hypothèses retenues (talus, pente, profondeur de 0,60 m) sont compatibles avec les cas standards définis dans la littérature technique, il a été jugé pertinent d'utiliser directement les valeurs présentées dans le **tableau II-7**.

Ce tableau donne la capacité maximale en débit (Q) pour des fossés triangulaires revêtus, sous l'hypothèse d'un remplissage complet. Les valeurs sont extraites de ce tableau sans recalculer via les formules.

Tableau II.7 : : Capacité max en (l/s) des fossés triangulaires revêtues pour (h=0,60m) [25]

Pente% \ Talus	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
2/1 ;1/2	<u>785</u>	<u>1110</u>	<u>1571</u>	864	561	402	306	198	142
3/2 ;2/3	<u>666</u>	<u>942</u>	<u>1332</u>	800	520	372	283	184	131

Les chiffres soulignés correspondent aux fossés entièrement remplis [25].

II.7 Évaluation du coût (devis estimatif) [26]

Il existe plusieurs méthodes pour établir un devis routier. Voici quelques-unes des plus courantes :

- Méthode des quantités ;
- Méthode des prix ;
- Méthode des coûts directs et indirects ;
- Méthode de la comparaison.

Pour l'étude du coût, la méthode des quantités a été utilisée dans cette étude. La méthode des quantités est une approche courante pour établir un devis routier en se basant sur les quantités de matériaux nécessaires pour réaliser les travaux. Voici comment cette méthode fonctionne en détail :

- ✓ **Estimation des quantités** : La première étape consiste à estimer avec précision les quantités de matériaux nécessaires pour chaque aspect du projet routier. Par exemple, il faut estimer le volume de terre à déplacer, le nombre de bordures à

installer, etc. Cette estimation peut être basée sur des relevés topographiques, des plans d'ingénierie ou des connaissances antérieures.

- ✓ **Prix unitaires** : Une fois que les quantités ont été estimées, il faut déterminer les prix unitaires des différents matériaux et services nécessaires pour réaliser les travaux. Par exemple, le prix au mètre cube pour la fourniture de béton, le prix au mètre carré pour la pose de revêtement, le coût horaire de la main-d'œuvre, etc.
- ✓ **Calcul du coût total** : Une fois que les quantités et les prix unitaires ont été établis, il suffit de multiplier chaque quantité par son prix unitaire correspondant pour obtenir le coût total de chaque élément. Ensuite, il faut additionner tous les coûts partiels pour obtenir le coût total du projet routier.
- ✓ **Révisions et ajustements** : Il est important de réviser régulièrement les quantités estimées et les prix unitaires tout au long du projet, car ils peuvent varier en fonction des conditions du site, des changements de conception ou d'autres facteurs imprévus.

En utilisant la méthode des quantités de manière rigoureuse et précise, il est possible d'obtenir un devis routier fiable et réaliste qui servira de base pour la planification et l'exécution des travaux.

II.8 Matériel et logiciels utilisés

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

A. 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. Cette technologie a permis de récolter sur terrain les coordonnées de l'axe principale du tronçon en étude qui sont présentés en annexe.

B. 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.

C. **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.9 Conclusion partielle

Ce deuxième chapitre a permis de poser les bases essentielles pour la conception d'une chaussée performante et durable. Les méthodes de dimensionnement, le choix rigoureux des matériaux, les dispositifs d'assainissement routier, ainsi que les études géotechniques accompagnées de leurs modes opératoires d'essai ont été présentés. L'estimation du coût des travaux, ainsi que les logiciels et matériels utilisés pour les différentes études, ont également été abordés. L'ensemble de ces éléments constitue une base technique solide pour la suite du projet.

Chapitre III. Présentation et analyse des résultats

Dans cette section, il s'agit de la présentation des éléments qui caractérisent le milieu d'études, les résultats obtenus lors des différents essais en laboratoire ; le dimensionnement structural, horizontal de la chaussée et celui des ouvrages d'assainissement. Nous y exposons également l'estimation des couts ou le devis associé.

III.1 Présentation du milieu d'étude

La levée topographique s'est faite à l'aide d'un GPS et les données recueillies sont présentées dans le tableau III-1 .

Tableau III.1 Données de la levée topographique

NUMÉRO	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	746098	9815392	1526
2	746122	9815185	1526
3	746148	9815481	1524
4	746174	9815481	1527
5	746198	9815481	1530
6	746223	9815481	1533
7	746248	9815481	1539
8	746275	9815481	1544
9	746299	9815481	1545
10	746319	9815481	1540
11	746339	9815481	1543
12	746354	9815481	1550
13	746372	9815481	1543
14	746372	9815481	1542
15	746368	9815481	1545
16	746378	9815481	1544
17	746397	9815481	1546
18	746408	9815481	1550
19	746428	9815481	1550

III.1.1 Le trafic routier

Comme vu précédemment au premier chapitre, il existe plusieurs méthodes de prise en compte des données pondérales du trafic. Le présent point de ce document ne donne que le comptage du trafic. Le trafic ci-dessous présenté, est donné après un comptage de 14 jours tout au long du tronçon, dans le Tableau III-2.

Tableau III.2: Trafic par comptage manuel

PK0+000	PK0+818,26
Vendredi 13/12/2024 PL :5 ; TC :5 ; VL :62	Samedi 04/1/2025 PL :4 ; TC :4, VL :20
Samedi 14/12/2024 PL :11 ; TC :6 ; VL :45	Lundi 06/01/2025 PL :5; TC :13 ; VL :17
Dimanche 15/12/2024 PL :1 ; TC :4 ; VL :30	Mardi 07/1/2025 PL :7 ; TC :12 ; VL :18
Mardi 17/12/2024 PL :9 ; TC :7 ; VL :54	Mercredi 08/1/2025 PL :4 ; TC :9 ; VL :32
Jeudi 19/12/2024 PL :6; TC :6 ; VL :60	Jeudi 9/1/2025 PL :9 ; TC :7 ; VL :17
Samedi 21/12/2024 PL :8 ; TC :12; VL :54	Vendredi 10/1/2025 PL :8; TC :5 ; VL :19
Lundi 23/12/2024 PL :9 ; TC :45; VL :44	Lundi 12/1/2025 PL : 8; TC :4; VL :13

En manipulant les données du trafic fournies dans le Tableau III-2 , nous avons comme résultat sur 14 jours les données regroupées dans le Tableau III-3 .

Tableau III.3 : Récapitulatif du comptage du trafic

PL	94
TC	139
VL	485
Trafic cumulé	718

Avec ;

PL : Poids Lourds (supérieurs à 3,5 tonnes)

TC : Transport commun

VL : Véhicules légers

Nous remarquons que le trafic moyen journalier annuel poids lourds est de $\frac{94}{14} \cong 7$ véhicules par jours.

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 pavé 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 818,26m, se présente comme l'illustre la Figure III-1

➤ Quelques éléments caractéristiques

- S'agit d'un plan topographique montrant le tracé de l'axe TFC2 projeté sur le terrain naturel.
- Les courbes de niveau montrent les variations d'altitude du terrain : plus les courbes sont rapprochées, plus la pente est forte ; plus elles sont espacées, plus la pente est douce.
- Le tracé de la route (en rouge) suit un chemin relativement **direct** du sud vers le nord, avec une légère déviation au centre pour éviter une zone de forte pente ou un obstacle naturel.

AMENAGEMENT D'UNE CHAUSSEE EN PAVES BASALTIQUES RELIANT
LA RN2 A LA ROUTE KATOYI (RUE KIBATI)

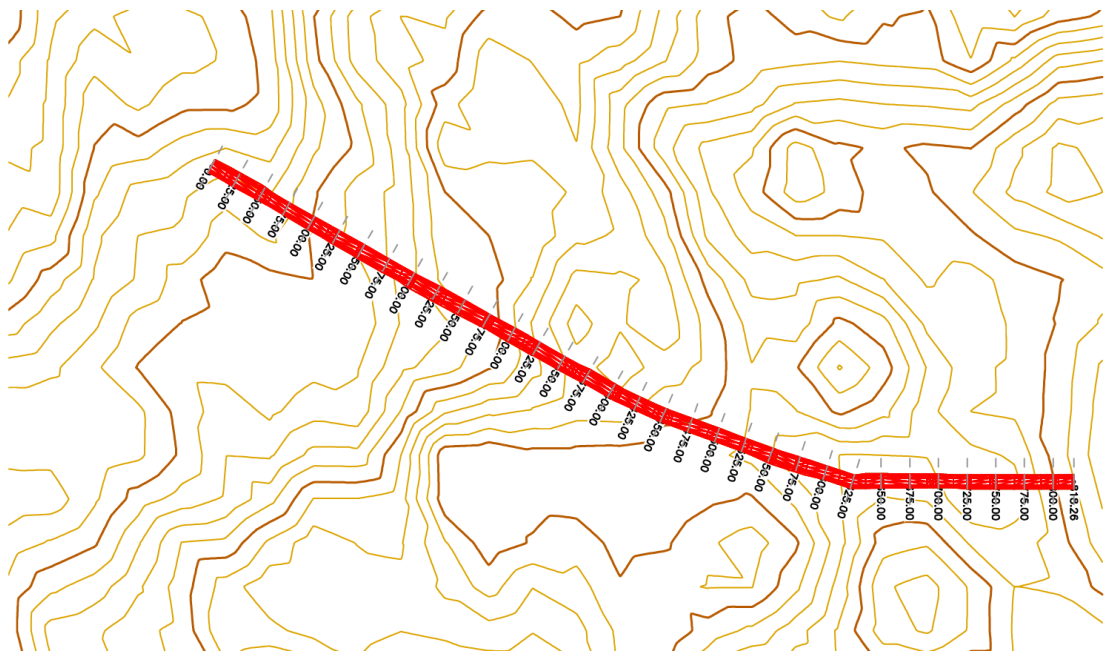


Figure III-1 Le tracé en plan du projet

III.2.2 Profil en long

Afin de comprendre la variation des altitudes le long du tracé et d'analyser les pentes nécessaires à l'aménagement est présenté par Figure III-2.

➤ **Quelques éléments caractéristiques**

- Le profil en long concerne l'aménagement de l'axe **TFC2**.
- La pente maximale du terrain naturel est de 6,5% et -0,7% ; alors que la pente moyenne est de 2,4% et
- L'échelle horizontale est de **1/2000** (très aplatie),
- L'échelle verticale est de **1/200**, soit 10 fois exagérée pour mieux visualiser les reliefs.
- Le profil identifie les zones de remblais et de déblais nécessaires

III.2.3 Profil en travers

Étant 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 9m ;
- La chaussée : elle est de type 2×1 dont chaque voie est de 3,25 m ; un trottoir chacun de 0,75m donc au total 8m ;
- Dévers : ayant pour rôle de favoriser l'écoulement des eaux de surface, le dévers de 2% a été retenue ;
- Fossé triangulaire de 0.40m de large et bordure de 0.10m de large.

Pour ce travail, la chaussée est constituée de 3 couches dont la fondation, la couche de base et la couche de roulement qui n'est rien d'autre que le pavé lui-même.

La Figure III-3 illustre le profil en travers type de la chaussée aménagée

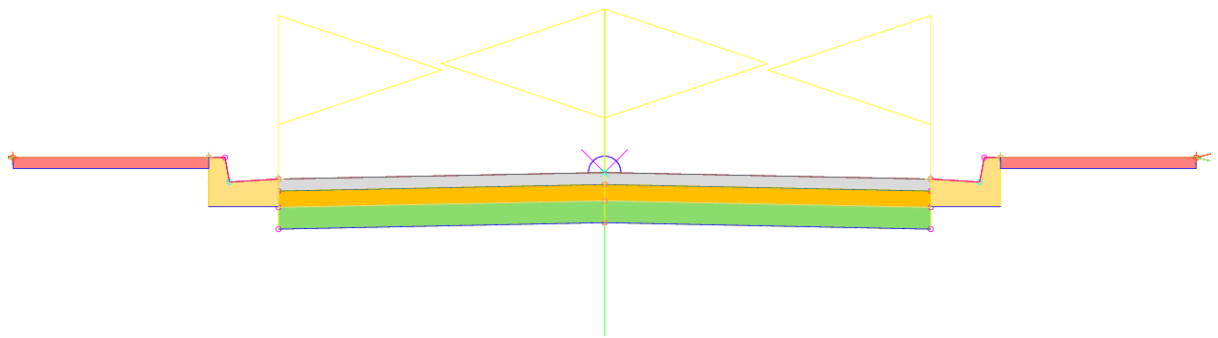


Figure III-3 Le profil en travers type de la chaussée aménagée

III.3 Présentation des résultats des essais

Comme mentionné précédemment, le sol rencontré sur l'ensemble du tronçon de la route est constitué de scories volcaniques. Des prélèvements ont été réalisés tout au long de l'itinéraire, puis analysés au laboratoire de génie civil de l'ULPGL. Plusieurs essais y ont été effectués, notamment le Proctor modifié, l'essai CBR, l'analyse granulométrique, la mesure de la teneur en eau, ainsi que la détermination des masses volumiques.

Dans cette section, nous présenterons uniquement les résultats de l'essai utilisé pour le dimensionnement structural de la chaussée. Les autres essais, fournis à titre informatif sur la qualité du sol en place, seront quant à eux consignés en annexes A.

➤ L'essai CBR

Le tableau III.4 présente les valeurs de l'indice de portance trouvées après quatre jours d'immersion.

Tableau III.4: Indice CBR du sol en place

Nombre de coups	Enfoncement	Forces en KN	Effort de pénétration	Indice CBR
25	CBR 2.5	0.22	$\frac{0,22}{13.7} \times 100$	16,05%
	CBR 5	0.43	$\frac{0,43}{20.5} \times 100$	21%

La valeur de 21 % est adoptée comme indice de portance du sol au niveau de la plateforme de la chaussée. Une telle valeur traduit un sol de bonne portance.

D'après les indications du tableau II.2, cette plateforme est classée dans la catégorie de trafic S4.

III.4 Dimensionnement structural selon le CBR

III.4.1.1 Calcul de l'épaisseur critique

Nous commençons par déterminer N grâce à la formule (2.5) avec les paramètres suivants :

$$n = 15$$

$$TMJA(2025) = 7$$

$$\tau = 0,07$$

Nous avons donc $N = 19,3132 \approx 19$ pour une durée de **15 ans**.

En utilisant la formule (2.7) de l'épaisseur critique de la chaussée ; nous aurons ce qui suit :

$$e = 12.56721 \text{ cm}$$

Notre chaussée aura comme épaisseur minimale **13 cm**, c'est-à-dire, on ne pourra pas aller en dessous.

III.4.1.2 Calcul de l'épaisseur équivalente

Ici, nous utilisons la formule (2.8) et nous obtenons ;

$$E_{\text{éq}} = (1.5 \times 11) + (1 \times 15) + (0.3 \times 15)$$

$$E_{\text{éq}} = 36\text{cm}$$

Les résultats montrent que l'épaisseur équivalente (**36cm**) est supérieure à l'épaisseur critique (**13 cm**). Cette comparaison montre que la structure proposée est suffisante pour supporter les sollicitations prévues.

III.5 Présentations des matériaux de la chaussée

En résumé, les différentes épaisseurs que comportera la chaussée sont reprises dans le tableau III.5.

Tableau III.5 :Tableau différentes couches et leurs épaisseurs

Couche	Matériaux	Épaisseur en cm
Roulement	Pavé basaltique	8
	Sable fin	3
Base	Grave concassé	15
Fondation	Scorie volcanique	15

III.5.1.1 Calcul du nombre des pavés

Nous optons donc pour un pavé de hauteur **h=80mm**, conformément au tableau II-3.

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

- La surface de la chaussée est donnée par : $818,26\text{m} \times 6,5\text{m} = 5.318,69\text{m}^2$
- La surface du trottoir : $818,26\text{m} \times 1,5\text{m} = 1.227,39\text{m}^2$
- La surface d'un pavé : $0,1\text{m} \times 0,15\text{m} = 0,015 \text{ m}^2$

Le nombre de pavés total sera calculée par la formule (2. 9):

$$NP=436\ 405,333\text{Pavés}$$

III.5.1.2 Trottoirs

Il est supposé que les accotements de la chaussée seront aménagés en trottoirs de **0,75 m** de largeur, réalisés en pavés sur une base en gravier non traité. Les bordures de séparation seront en béton surélevé de **0,5 m** de longueur et **0,10 m** de hauteur, comme indiqué dans le tableau III.6.

Tableau III.6: Structure des trottoirs

Roulement en pavés +sable	11cm
Base en grave concassé	15cm
Fondation en scorie volcanique	20cm

III.6 Calcul de cubatures des terrassements

Réalisé à l'aide du logiciel Autocad Civil 3D, les cubatures sont présentées par le tableau III.7 et III. 8.

Le tableau III-7, généré à partir du logiciel Civil 3D, présente les volumes de déblais et de remblais calculés sur l'ensemble du tronçon étudié, afin d'évaluer les quantités de terrassement nécessaires à la réalisation du projet.

AMENAGEMENT D'UNE CHAUSSEE EN PAVES BASALTIQUES RELIANT LA RN2 A LA ROUTE KATOYI (RUE KIBATI)

Tableau III.7 : Cubature de déblai et remblai réalisé par Autodesk Civil 3D

Table des cubatures totales par prismes							
Abscisse curviligne	Surface de déblai	Surface de remblai	Vol déblai	Vol remblai	Vol déblai cumulé	Vol remblai cumulé	Vol net
0+00.00	3.51	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+25.00	3.67	0.80	89.78	16.35	89.78	16.35	73.43
0+50.00	3.51	0.67	89.77	18.43	179.55	34.78	144.77
0+75.00	3.58	0.06	88.57	9.21	268.12	43.99	224.13
1+00.00	3.42	0.35	87.44	5.23	355.56	49.23	306.34
1+25.00	3.27	0.64	83.57	12.39	439.13	61.62	377.51
1+50.00	3.64	0.75	86.39	17.36	525.53	78.98	446.54
1+75.00	3.18	0.76	85.34	18.92	610.86	97.90	512.96
2+00.00	3.37	1.00	81.88	22.07	692.74	119.97	572.78
2+25.00	3.86	1.13	90.34	26.72	783.08	146.68	636.40
2+50.00	3.77	0.99	95.43	26.48	878.50	173.17	705.34
2+75.00	3.14	0.56	86.38	19.27	964.88	192.44	772.44
3+00.00	3.66	0.79	84.98	16.79	1049.87	209.23	840.64
3+25.00	3.55	0.58	90.23	17.04	1140.10	226.27	913.83
3+50.00	3.55	0.56	88.79	14.27	1228.89	240.54	988.35
3+75.00	3.17	0.67	84.01	15.33	1312.90	255.87	1057.03
4+00.00	3.58	0.64	84.40	16.34	1397.30	272.21	1125.09
4+25.00	3.38	0.27	87.15	11.14	1484.44	283.35	1201.09
4+50.00	3.36	0.35	84.17	7.67	1568.62	291.02	1277.59
4+75.00	3.42	0.35	84.80	8.52	1653.42	299.55	1353.87
5+00.00	3.40	0.31	85.28	8.18	1738.70	307.72	1430.98
5+25.00	3.39	0.07	84.87	4.75	1823.57	312.48	1511.09
5+50.00	3.14	0.81	81.60	11.04	1905.18	323.52	1581.66
5+75.00	3.65	0.87	84.75	21.12	1989.92	344.64	1645.29
6+00.00	3.34	0.22	87.34	13.55	2077.26	358.19	1719.07
6+25.00	3.36	0.26	83.81	5.91	2161.07	364.10	1796.97
6+50.00	3.50	0.49	85.99	9.07	2247.06	373.17	1873.89
6+75.00	3.52	0.43	87.72	11.46	2334.78	384.63	1950.15
7+00.00	3.47	0.43	87.37	10.80	2422.15	395.43	2026.71
7+25.00	3.42	0.33	86.09	9.57	2508.24	405.01	2103.24
7+50.00	3.42	0.33	85.39	8.35	2593.63	413.35	2180.27
7+75.00	3.42	0.33	85.38	8.33	2679.00	421.69	2257.32
8+00.00	3.40	0.30	85.15	7.95	2764.15	429.64	2334.51
8+18.26	3.40	0.30	62.02	5.54	2826.17	435.18	2391.00

Le tableau III-8 expose les volumes estimés des différentes couches de la structure de la chaussée, déterminés sur la base des sections caractéristiques et du profil en long projeté.

AMENAGEMENT D'UNE CHAUSSEE EN PAVES BASALTIQUES RELIANT LA RN2 A LA ROUTE KATOYI (RUE KIBATI)

Tableau III.8 : Tableau des volumes des Couches obtenus par Autocad Civil 3D

Roulement : Volume				Base : Volume				Fondation : Volume			
PK	Surface	Volume	Vol cumulé	PK	Surface	Volume	Vol cumulé	PK	Surface	Volume	Vol cumulé
0.00	0.66	0	0	0.00	0.90	0	0	0.00	1.20	0	0
25.00	0.66	16	16	25.00	0.90	23	23	25.00	1.20	30	30
50.00	0.66	17	33	50.00	0.90	22	45	50.00	1.20	30	60
75.00	0.66	17	50	75.00	0.90	22	67	75.00	1.20	30	90
100.00	0.66	16	66	100.00	0.90	23	90	100.00	1.20	30	120
125.00	0.66	16	83	125.00	0.90	23	112	125.00	1.20	30	150
150.00	0.66	17	99	150.00	0.90	22	135	150.00	1.20	30	180
175.00	0.66	17	116	175.00	0.90	22	157	175.00	1.20	30	210
200.00	0.66	17	132	200.00	0.90	22	180	200.00	1.20	30	240
225.00	0.66	17	149	225.00	0.90	22	202	225.00	1.20	30	270
250.00	0.66	17	165	250.00	0.90	22	225	250.00	1.20	30	300
275.00	0.66	17	182	275.00	0.90	22	247	275.00	1.20	30	330
300.00	0.66	17	198	300.00	0.90	22	270	300.00	1.20	30	360
325.00	0.66	16	215	325.00	0.90	23	292	325.00	1.20	30	390
350.00	0.66	16	231	350.00	0.90	23	315	350.00	1.20	30	420
375.00	0.66	16	248	375.00	0.90	23	337	375.00	1.20	30	450
400.00	0.66	16	264	400.00	0.90	23	360	400.00	1.20	30	480
425.00	0.66	16	281	425.00	0.90	23	382	425.00	1.20	30	510
450.00	0.66	17	297	450.00	0.90	22	405	450.00	1.20	30	540
475.00	0.66	17	314	475.00	0.90	22	427	475.00	1.20	30	570
500.00	0.66	17	330	500.00	0.90	22	450	500.00	1.20	30	600
525.00	0.66	17	347	525.00	0.90	22	472	525.00	1.20	30	630
550.00	0.66	16	363	550.00	0.90	23	495	550.00	1.20	30	660
575.00	0.66	17	380	575.00	0.90	22	517	575.00	1.20	30	690
600.00	0.66	17	396	600.00	0.90	22	540	600.00	1.20	30	720
625.00	0.66	16	413	625.00	0.90	23	562	625.00	1.20	30	750
650.00	0.66	16	429	650.00	0.90	23	585	650.00	1.20	30	780
675.00	0.66	16	446	675.00	0.90	23	607	675.00	1.20	30	810
700.00	0.66	16	462	700.00	0.90	23	630	700.00	1.20	30	840
725.00	0.66	16	479	725.00	0.90	23	652	725.00	1.20	30	870
750.00	0.66	16	495	750.00	0.90	23	675	750.00	1.20	30	900
775.00	0.66	17	512	775.00	0.90	22	697	775.00	1.20	30	930
800.00	0.66	17	528	800.00	0.90	22	720	800.00	1.20	30	960
818.26	0.66	12	540	818.26	0.90	16	736	818.26	1.20	22	982

III.7 Dimensionnement des ouvrages d'assainissement

Dans le cadre de ce travail, seuls les fossés latéraux sont dimensionnés, en se basant sur des hypothèses développées au chapitre II.

Le dimensionnement repose sur plusieurs hypothèses : deux fossés situés de deux côté de la chaussée, avec des talus de pente **2/1 et 1/2**. La hauteur du fossé est limitée à **0,60 m** et la vitesse maximale d'écoulement à **3,5 m/s** pour éviter les débordements en cas

AMENAGEMENT D'UNE CHAUSSEE EN PAVES BASALTIQUES RELIANT LA RN2 A LA ROUTE KATOYI (RUE KIBATI)

d'obstacles.

En retenant une pente de **6 %**, conformément aux hypothèses formulées, et en se référant aux résultats du **tableau II.5**, la capacité maximale du fossé triangulaire revêtu a été déterminée à **306 l/s**.

III.8 Évaluation du coût de réalisation

Nous référant au bordereau aménagé par le ministère des infrastructures travaux publics et reconstruction, ITPR en sigle sur l'élaboration des prix unitaires des travaux routiers, nous avons établi le devis suivant comme nous le voyons dans le **Tableau III.9**.

Tableau III.9 : Devis estimatif du projet

DEVIS ESTIMATIF DE LA CHAUSSEE					
No.	DESIGNATIONS	UNITES	QUANTITES	Prix unitaires	PRIX TOTAL
1.	Decapage du terrain naturel	m ²	7364,64	1,2	8837,568
2.	Reprofilage-Compactage	km	0,81826	1363,57	1115,754788
3.	Materiaux couche de base	m ³	736	80,84	59498,24
4.	Materiaux couche de fondation	m ³	982	10,98	10782,36
5.	Pavés basaltique pour chaussée	m ²	5318,69	15	79780,35
6.	Sables (lit de pose)	m ³	540	20	10800
7.	Pavés pour trottoirs	m ²	1227,39	15	18410,85
8.	Fossé trianglaire de 60cm de H	mL	818,26	1,49	1219,2074
9.	Fouilles pour ouvrage d'assainissement	m ³	196,38	15	2945,7
10.	Beton dosé à 350 Kg/m ³	m ³	196,38	413,26	81155,9988
Sous total					274546,029
11.	Mains d'œuvre 30%				82363,8087
12.	Imprevus 10				27454,6029
TOTAL GENERAL					384364,4406

III.9 Conclusion partielle

L'ensemble des éléments présentés dans ce chapitre constitue la base technique du projet. Il s'agit notamment de : la présentation du milieu d'étude, le dimensionnement horizontal, la présentation des résultats l'essai CBR, le dimensionnement structural, la présentation des matériaux de la chaussée, le calcul des cubatures, l'adoption des fossés triangulaires pour les ouvrages d'assainissement, et l'évaluation des coûts de réalisation.

Conclusion générale

Le présent travail de fin de cycle a porté sur l'aménagement du tronçon reliant la RN2 à la route Katoyi (Rue Kibati), dans une zone urbaine confrontée à une dégradation avancée de ses infrastructures routières. L'état défectueux de cette voirie ne représente pas seulement un obstacle à la mobilité et aux échanges économiques ; il constitue également un facteur aggravant de nombreuses maladies, notamment à travers la poussière soulevée par les véhicules et l'accumulation des eaux stagnantes.

Tout en retenant la méthodologie basée sur le CBR pour la détermination des différentes couches en respectant les contraintes techniques et économiques, des investigations géotechniques, réalisées en conformité avec les normes en vigueur, ont permis de mettre en évidence un sol de portance modérée, avec un indice CBR de 21 %. Cette valeur a guidé le dimensionnement de la structure de la chaussée. L'épaisseur critique de 13 cm et l'épaisseur équivalente de 36 cm selon les différentes épaisseurs des couches dont 11cm pour le revêtement, 15cm pour la base et 15cm pour la fondation ; afin de garantir la durabilité de l'ouvrage face au trafic futur attendu, ce tronçon étant appelé à servir d'alternative stratégique en raison de l'étroitesse de la route Katoyi.

L'ensemble du projet a été conçu à l'aide de logiciels performants tels que Civil 3D pour le levé et la modélisation du terrain, Google Earth pour l'analyse du contexte environnemental, et un GPS différentiel pour le relevé précis des données altimétriques. Ces outils ont permis de produire des plans précis, de calculer les cubatures de déblais et de remblais.

Le coût global estimé des travaux s'élève à 384 364,44 dollars américains, couvrant les opérations liées à l'aménagement de ce tronçon. Ce projet, une fois mis en œuvre, améliorera considérablement les conditions de circulation, facilitera les échanges économiques et contribuera à l'amélioration du cadre de vie des populations riveraines.

Toutefois, il est recommandé, pour garantir la pérennité de l'ouvrage, d'accompagner l'aménagement par un programme d'entretien régulier et d'envisager, à moyen terme, des

AMENAGEMENT D'UNE CHAUSSEE EN PAVES BASALTIQUES RELIANT LA RN2 A LA ROUTE KATOYI (RUE KIBATI)

actions complémentaires telles que l'aménagement paysager des abords de la voie et la mise en place de dispositifs de signalisation et de sécurité routière renforcés.

Néanmoins, la ville de Goma présente plusieurs routes en mauvais état, mais l'étude s'est limitée à ce seul tronçon. À l'avenir, les chercheurs gagneraient à explorer d'autres axes pour améliorer la mobilité urbaine et à mener une étude climatique approfondie pour optimiser les ouvrages d'assainissement.

Références

- [1] AGENCE JAPONAISE DE COOPERATION INTERNATIONALE (JICA), «PROJET POUR LE RENFORCEMENT DE CAPACITES EN MAINTENANCE DES ROUTES REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO: RAPPORT D'ACHEVEMENT,» MINISTERE DES INFRASTRUCTURES, TRAVAUX PUBLICS ET RECONSTRUCTION, AVRIL 2019 .
- [2] K. K. Magloire, Étude d'aménagement d'une chaussée des pavées en pierres volcaniques : cas du tronçon, Goma, 2020-2021.
- [3] B. M. Galien, «Etude d'aménagement d'une chaussée en pavé basaltique : cas de la chaussée allant au croisement entre la rue PANGI et le boulevard J.P,» GOMA, 2021-2022.
- [4] S. M. & A. Karim, «Etude de modernisation de la route national « RN 64C » à la commune de Tablât,» UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA, Faculté de Technologie, juin 2021.
- [5] I. Cellule, «Situation des infrastructures routières en RDC,» 2024.
- [6] P. S. BISHWEKA, COURS DE ROUTES, GOMA.
- [7] A. Ahmed, COURS DE ROUTES :TRACE ROUTIER, CASABLANCA: ECOLE MAROCAINE D'INGENIERIE A CASABLANCA, Mai 2011.
- [8] F. ABDELILAH, Cours de la Généralité de Route, 2011-2012 .
- [9] M. T. Murphy, «ETUDE COMPARATIVE DES METHODES LCPC, CBR ET CEBTP POUR LE DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE ROUTIERE : Application sur la rue PANGI,» UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS, FACULTES DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES, GOMA, 2021 - 2022.
- [1 K. Mhamed, «DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES CAS DE RN40A,» 2019-0] 2020.
- [1 M. A. Kévine, «Caractérisation des sols latéritiques de Bangangté en vue de leur 1] emploi en construction routière,» Yaoundé, 2021-2022.

- [1 A. Abdelkader, «Modeles de chaussée routiere,» Université de Blida 1;Faculté de
2] technologie ; Departement de genie mécanique, 2016-2017.
- [1 A. M. YACOUBA, «Etude Technique de construction d'une voie pavée dans la ville
3] de Tillabéri,» Niger, Janvier 2020.
- [1 V. KALIHO BUINGO, « étude d'une chaussée pavée en pierres volcaniques de
4] 1,75km entre l'université catholique LA SAMPIENTIA et la RN2,» ULPGL, Goma,
2016-2017.
- [1 L. Jean-Pierre, La rue au moyen age, Ouest France, Fevrier 1984.
5]
- [1 C. E. d. Normalisation, Pavés en pierres naturelles : exigences et methodes d'essai,
6] Paris: AFNOR, 2000.
- [1 K. T. Emery, «Etude technico-économique d'une route en pavée basaltique : Cas du
7] tronçon entrée maman gouverneur-kibwe à Goma,» Goma, 2023.
- [1 N. M. Espérance, «ETUDE DE CHAUSSEE PAVEE EN ROCHES
8] METAMORPHIQUES TAILLEES (cas du tronçon 8ieme CEPAC ANTIOKIA à la
paroisse MONT CARMEL,» UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS
LACS /GENIE CIVIL, Goma, 2018-2019.
- [1 s. d. t. d. r. e. a. SETRA), «Comprendre les principaux paramètres de conception
9] géométrique des routes,» Paris, janvier 2006 .
- [2 P. J. BERTHIER, Projet et construction de routes, Paris.
0]
- [2 K. Francisca, «ETUDE COMPARATIVE DE QUELQUES METHODES DE
1] DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES : CBR, CEBTP, LCPC (Application sur
l'axe Station Modé- Paroisse cathédrale Kituku,» Goma, 2023-2024.
- [2 I. Blaise, Interviewee, *Chef de Laboratoire de l'Office des Routes Antenne de Goma.*
2] [Interview]. Juin 2022.
- [2 T. AGAL, Développement d'un catalogue de dimensionnement structural des
3] chaussées pour la ville de MONTRÉAL, MONTRÉAL: École de Technologie
Supérieure , 2005.

- [2 B. L. & J. P. Nguyen Van TUU, «Hydraulique routiere,» Ministere de la cooperation
4] et du developpement , Paris, 1981.
- [2 K. B. & M. Damien, Le dimensionnement des reseaux d'assainissement des
5] agglomerations.
- [2 Biblus, Exemple de projet BIM:Devis et metré auqntitatif et estimatif, 27fevrier 2017.
6]
- [2 CERIB expertise concrete , Centre d'études et de Recherches de l'industrie du
7] Béton(CERIB), Guide de pose des pavés, dalles et bordures préfabriqués en Béton,
vol. 2, Paris, Janvier 2016.
- [2 «Wikipedia,» 20 Juillet 2021. [En ligne]. Available:
8] https://fr.wikipedia.org/wiki/Dimensionnement_d%27une_structure_de_chauss%C3%A9e_routi%C3%A8re. [Accès le 3 Octobre 2022].
- [2 A. :. A. A. o. S. H. a. T. Officials, Guide for Design of Pavement Structures,
9] Washington DC: American Association of State Highway and Transportation
Officials, 1986.
- [3 Association Africaine des Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics; Comité
0] Transnational des Géotechniciens d'Afrique, Règles techniques pour la construction
routière dans les pays africains de la zone intertropicale, 2018.
- [3 K. D. GABRIEL, COURS DE ROUTE, Goma: Universités Libre des Pays des Grands
1] Lacs, 2021-2022.
- [3 CETUR.
2]
- [3 C. d. d. t. urbains), «Conception des routes – Guide technique,» Paris, SETRA (Service
3] d'Études Techniques des Routes et Autoroutes), 1994.

Annexes

A. LES RESULTATS DES ESSAIS EFFECTUES AU LABORATOIRE DE GENIE CIVIL/ ULPGL

I. La teneur en eau naturelle

Teneur en eau naturelle				
Désignation	ESSAI 1	ESSAI 2	ESSAI 3	ESSAI 4
Poids tare	15	16	14	19
Masse humide (g)	30	28,14	28	31
Masse sèche (g)	28	27	27	30
Teneur en eau (%)	15,38	10,36	7,69	9,09
Moyenne (%)	10,63			

II. Masses volumique absolue et apparente

i. Masse volumique absolue

Désignation	ESSAI 1	ESSAI 2	ESSAI 3
Masse sèche	50	45	65
Volume de l'éprouvette & eau	148	137,6	134,64
Volume de l'éprouvette & eau & sol	171,9	159,12	167
Masse volumique (g/cm ³)	2,0920502	2,0910781	2,0086527
Moyenne (g/cm³)	2,063926978		

ii. Masse volumique apparente

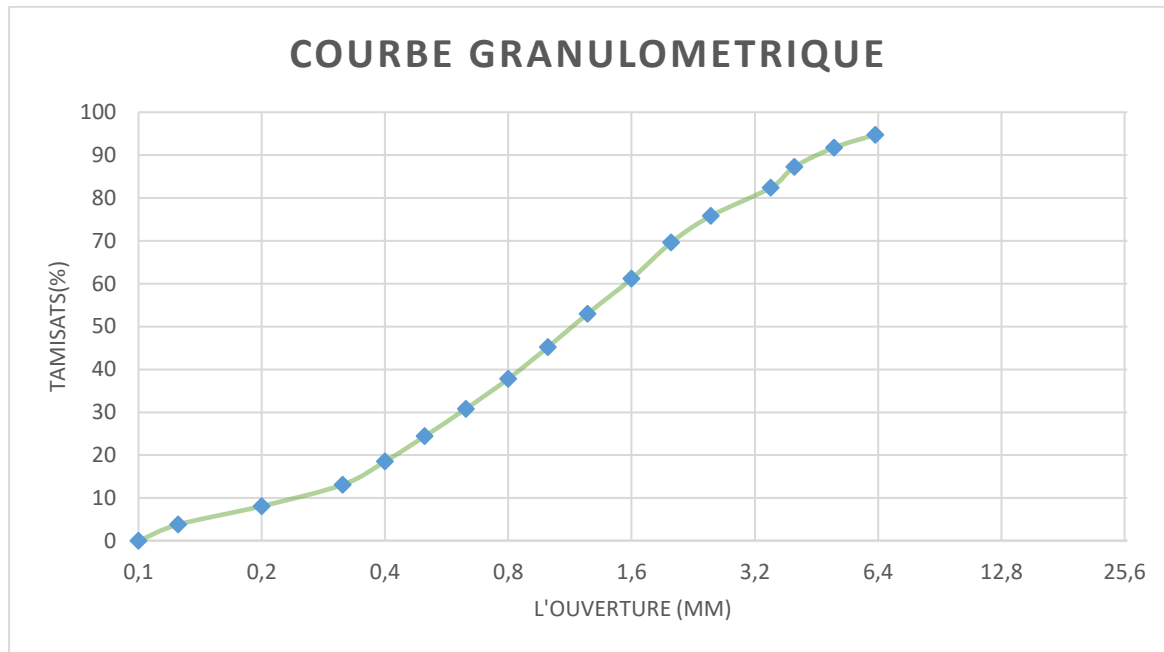
**AMENAGEMENT D'UNE CHAUSSEE EN PAVES BASALTIQUES RELIANT
LA RN2 A LA ROUTE KATOYI (RUE KIBATI)**

Désignation	ESSAI 1	ESSAI 2	ESSAI 3	ESSAI 4
Poids de la tare (g)	34	34	34	34
Volume de la tare (cm ³)	204	204	204	204
Poids tare +Echantillon (g)	267	290	259	234
Masse volumique g/cm ³	1,14	1,25	1,10	0,98
Moyenne (g/cm³)	1,12			

II. Analyse granulométrique du sol

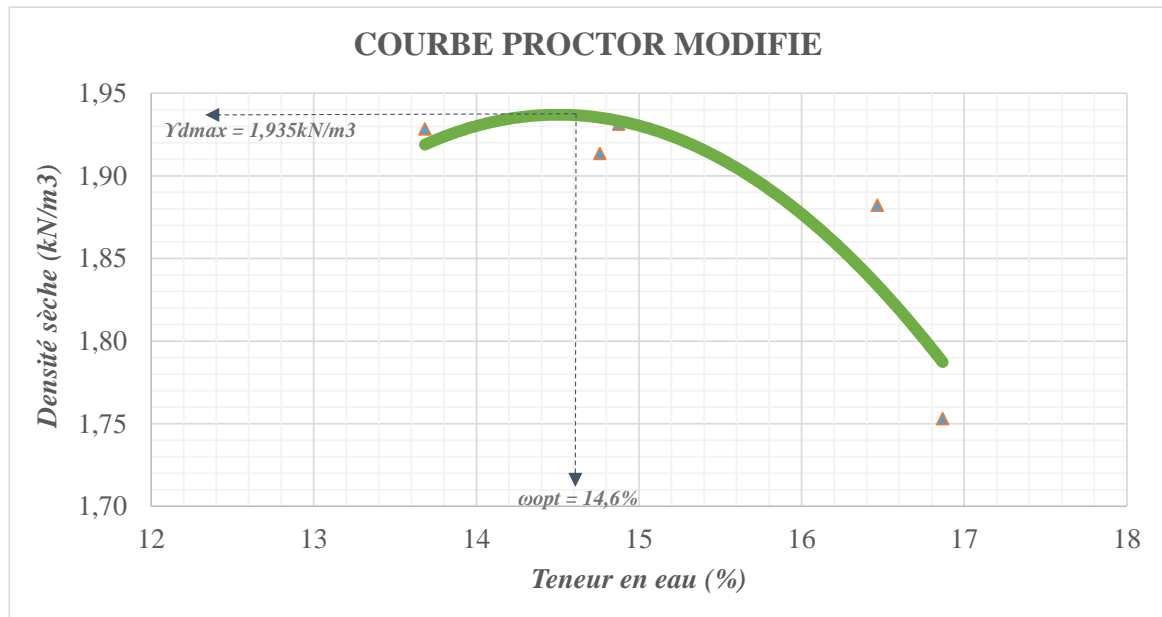
ANALYSE GRANULOMETRIQUE				
<i>Prise d'essai : 2000g</i>				
Tamis	Refus	Refus cumulés	Refus Cum. En %	Tamisât en %
6,3	105	105	5,25	94,75
5	60	165	8,25	91,75
4	90	255	12,75	87,25
3,5	97	352	17,6	82,4
2,5	132	484	24,2	75,8
2	124	608	30,4	69,6
1,6	169	777	38,85	61,15
1,25	163	940	47	53
1	156	1096	54,8	45,2
0,8	148	1244	62,2	37,8
0,63	140	1384	69,2	30,8
0,5	128	1512	75,6	24,4
0,4	118	1630	81,5	18,5
0,315	108	1738	86,9	13,1
0,2	100	1838	91,9	8,1
0,125	86	1924	96,2	3,8
0,1	76	2000	100	0

AMENAGEMENT D'UNE CHAUSSEE EN PAVES BASALTIQUES RELIANT LA RN2 A LA ROUTE KATOYI (RUE KIBATI)



III. Essai Proctor Modifié du sol à l'état naturel

Désignation	ESSAI PROCTOR MODIFIÉ									
	10,6		12,6		14,6		16,6		18,6	
ω (%)	Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
Poids tare (g)	14	14	14	14	14	12	18	18	14	14
Poids tare +Echantillon humide (g)	28	28	34	28	42	52	80	62	74	46
Poids tare +Echantillon sec (g)	26,29	26,34	31,47	26,17	38,9	46,1	69,87	56,8	64,65	41,76
Poids Echantillon sec (g)	12,29	12,34	17,47	12,17	24,9	34,1	51,87	38,8	50,65	27,76
Poids de l'eau	1,71	1,66	2,53	1,83	3,1	5,9	10,13	5,2	9,35	4,24
Teneur en eau (%)	13,91	13,45	14,48	15,04	12,45	17,30	19,53	13,40	18,46	15,27
Teneur en eau moyenne (%)	13,68		14,76		14,88		16,47		16,87	
Poids du moule (Kg)	6,602									
Poids moule +Echantillon (Kg)	12,41		12,42		12,48		12,41		12,03	
Volume du moule (m3)	0,00265									
Densité humide (Kn/m3)	2192,22		2195,99		2218,64		2192,22		2048,79	
Densité sèche (kn/m3)	1,93		1,91		1,93		1,88		1,75	



- La teneur en eau optimale est de **14,6%**
- La densité sèche est de max est de **1,935kN/m**

IV. Essai CBR

	5 X55			5 x25			5 x 10		
	Lecture 1/100mm	F/kg	Kg/cm²	Lecture 1/100mm	p/kg	Kg/cm²	Lecture 1/100mm	p/kg	Kg/cm²
0.2	0,009			0,005			0,005		
0.4	0,02			0,0146			0,007		
0.6	0,034			0,0247			0,01		
0.8	0,046			0,033			0,015		
1	0,054			0,0453			0,018		
1.5	0,079			0,059			0,03		
2	0,1			0,075			0,052		
2.5	0,118		35	0,092		19	0,061		16
3	0,137			0,103			0,073		

**AMENAGEMENT D'UNE CHAUSSEE EN PAVES BASALTIQUES RELIANT
LA RN2 A LA ROUTE KATOYI (RUE KIBATI)**

3.5	0,16			0,135			0,086		
4	0,185			0,151			0,098		
4.5	0,229			0,174			0,106		
5	0,252		59	0,201		26	0,138		23
6	0,274			0,224			0,151		
7	0,334			0,251			0,163		
8	0,377			0,275			0,181		
9	0,405			0,280			0,197		
10	0,42			0,296			0,209		

B. SYNTHÈSE DES RESULTATS DES ESSAIS POUR LES ECHANTILLONS DE MUNIGI

A	NATURE DE MATERIAUX	Scories volcaniques
1	Provenance	MUNIGI
2	Granulométrie <ul style="list-style-type: none"> • Diamètre maximal mm • Passant au 0,8 AFNOR 	50 1
3	Limite d'Atterberg : WL	30%
4	Poids spécifique des grains solides	2,34
5	Compactage <ul style="list-style-type: none"> • Teneur en eau optimal • Densité sèche max en T/m³ 	21% 1,25
6	Portance : gonflement <ul style="list-style-type: none"> • Indice CBR à 95% de L'OPM et à 4 jours d'immersion 	- 21

**AMENAGEMENT D'UNE CHAUSSEE EN PAVES BASALTIQUES RELIANT
LA RN2 A LA ROUTE KATOYI (RUE KIBATI)**

B	NATURE DE MATERIAUX	GNT concassés
1	Provenance	MUGUNGA
2	Granulométrie <ul style="list-style-type: none"> • Diamètre maximal mm • Passant au 0,8 AFNOR 	40 5
3	Equivalent de sable	57%
4	Poids spécifique des grains solides	2,94
5	Compactage : <ul style="list-style-type: none"> • Teneur en eau optimal • Densité sèche max T/m³ 	8,7% 2,15
6	Portance : Gonflement <ul style="list-style-type: none"> • Indice CBR à 95% de L'OPM et à 4 jours d'immersion 	- 51