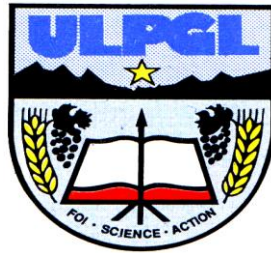


**UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS**

**ULPGL/GOMA**



BP. 368 GOMA

[www.ulpgl.net](http://www.ulpgl.net)

**FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES  
APPLIQUEES**

**DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL**

**ETUDE D'AMENAGEMENT D'UNE CHAUSSEE EN  
PAVES DE PIERRES VOLCANIQUES**

**Cas du tronçon : Entrée SAY SAY- Route Nationale n°2**

Travail de Fin de Cycle présenté en vue d'obtention

Du Diplôme de Graduat en Sciences Appliquées

Option : **Génie Civil**

Présenté par **KABILAMBALI BUALE Dieumerici**

Directeur: MSc. Ir. **MUHINDO WA MUHINDO Abdias**

Encadreur: Ir. **CIRHUZA BADESIRE Paterne**

**ANNEE ACADEMIQUE 2021 - 2022**

## **EPIGRAPHE**

Donne-moi un point fixe et un levier, je soulèverai la terre

ARCHIMEDE

## **DEDICACES**

A mes parents KABILAMBALI BUALE Raymond et MAPENDO KAYANI Nathalie ;

A mes sœurs et frères ;

A tous ceux qui ont reçu Jésus-Christ comme Seigneur et Sauveur dans leur vie et à toutes  
mes connaissances.

**Dieumerci KABILAMBALI BUALE**

## REMERCIEMENTS

Nous rendons infiniment grâce à notre Dieu plein de bonté, maître de temps et des circonstances.

Nos remerciements tout particuliers s'adressent à mon Directeur le doctorant MUHINDO WA MUHINDO Abdias et mon encadreur Ir. PATERNE BADESIRE qui, malgré leurs nombreuses responsabilités, ont accepté la direction et l'encadrement de ce travail, que notre créateur leur comble de ses grâces.

Nous serons ignorants si nous passons sous silence le sentiment de fraternité que nous a manifesté toute la famille BUALE ainsi que les familles suivantes : LWEMBO LUTABEA, MUPIPI LUTABEA, LWAMISOLE.

Au seuil de cette étude, nous tenons à manifester notre gratitude au comité de gestion, au personnel Administratif et Académique de l'ULPGL-GOMA pour avoir mis à notre disposition un enseignement délicat dont nous avons été bénéficiaires durant ces trois années Académiques.

Nous remercions sincèrement nos collègues de l'auditoire : Mark BAHATI NGANDU, Cynthia SOKI SAMBO, Divine THASSI, Francisca KIBONGE, Blaise MUPELO, Benjamin PENDANI, etc.

A tous ceux de près ou de loin ont contribué à notre formation et que nous ne saurons pas citer nommément, nous disons merci, leurs efforts n'ont pas été vains.

**Dieumerci KABILAMBALI BUALE**

## SIGLES ET ABREVIATIONS

<b>B</b>	:	Couche de base
<b>CAM</b>	:	Coefficient d'agressivité moyen
<b>CBR</b>	:	Californian Bearing Ration
<b>CEBTP</b>	:	Centre Expérimental de recherche et d'étude du Bâtiments et Travaux Publics
<b>CMA</b>	:	Concrete Manufacture Association
<b>F</b>	:	Couche de fondation
<b>Ir</b>	:	Ingénieur
<b>MPA</b>	:	Méga Pascal
<b>NF</b>	:	Norme Française
<b>OVD</b>	:	Office Proctor Modifié
<b>OVG</b>	:	Observatoire Volcanologique de Goma
<b>PF</b>	:	Plate-Forme
<b>PL</b>	:	Poids Lourds
<b>TJMA</b>	:	Trafic Annuel Moyen Journalier
<b>RN2</b>	:	Route Nationale numéro 2

## SOMMAIRE

EPIGRAPHE.....	i
DEDICACES .....	ii
REMERCIEMENTS .....	iii
SIGLES ET ABREVIATIONS .....	iv
SOMMAIRE .....	v
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
RÉSUMÉ.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCTION GENERALE.....	1
Chapitre premier : GENERALITES.....	3
I.1 Généralités sur les routes.....	3
I.1.1 Historique [3].....	3
I.1.2 TERMINOLOGIE GEOMETRIQUE DES VOIES ROUTIERES [5] .....	4
I.1.3 Route ancienne .....	5
I.1.4 Route moderne.....	6
I.1.5 Constitution d'une chaussée.....	6
I.1.6 Types des chaussées [6].....	9
I.2. Dimensionnement routier.....	10
I.2.1 Définition .....	10
I.2.2 Méthode de dimensionnement.....	10
I.2.3 Le trafic [5] .....	10
I.2.4 Évaluation de la portance de la plate-forme.....	11
I.2.5 Caractéristiques des matériaux de la plate-forme .....	11
I.3. Généralité sur l'assainissement routier [6].....	12
I.3.1. Aperçu .....	12
I.3.2. Domaines d'activité .....	13
I.4. Généralités sur le pavage .....	13
I.4.1 Types des pavés [12].....	13
I.4.2 Proposition de technologie.....	15
I.5. Conclusion partielle .....	15

Chapitre deuxième : METHODOLOGIES .....	16
II.1 Dimensionnement horizontal de la route.....	16
II.1.1 Caractéristiques géométriques .....	16
II.2 Dimensionnement des ouvrages d'assainissement .....	21
II.2.1 Les fossés [17] .....	21
II.3 Structure de la chaussée [6] .....	24
II.3.1 La fondation [16] .....	25
II.3.2 Le lit de pose [16] .....	25
II.3.3 Couche de roulement .....	26
II.3.4 Méthodes de dimensionnement de la structure .....	28
II.4 Choix de matériaux .....	33
II.4.1 Matériau de la couche de base .....	33
II.4.2 Matériau de la couche de roulement .....	34
II.5 Matériel et logiciels utilisés [6].....	34
II.6 Conclusion partielle .....	35
Chapitre troisième : ETUDE D'AMENAGEMENT DE LA CHAUSSEE .....	36
III.1 Présentation du terrain.....	36
III.2 Levés topographiques.....	37
III.3 Dimensionnement horizontal de la route.....	38
III.3.1 Le tracé en plan.....	38
III.3.2 Le profil en long.....	39
III.3.3 Le profil en travers.....	40
III.4 Dimensionnement des ouvrages d'assainissement [6].....	41
III.4.1 Dimensionnement du fossé latéral .....	41
III.5 Dimensionnement structurel de la chaussée.....	42
III.5.1 Choix de la méthode de dimensionnement .....	42
III.6 Les cubatures.....	44
III.6.1 Cubature de la couche de base .....	44
III.6.2 Trottoirs.....	45
III.6.3 Calcul de cubatures des terrassements .....	45
III.7 Conclusion partielle.....	50
REFERENCES.....	52
ANNEXES .....	54

« Etude d'aménagement d'une chaussée des pavées en pierres volcaniques : cas  
du tronçon Entrée Say Say-route GOMA SAKE

---

Annexe 1 .....	55
Annexe 2 .....	56
Annexe 3 .....	57
Annexe 4 .....	58

## LISTE DES FIGURES

Figure I. 1 Partie de la route.....	4
Figure I. 2 coupe type et terminologie .....	7
Figure II. 1 Profil en long .....	18
Figure II. 2 : Eléments constitutifs du profil en travers .....	19
Figure II. 3 : Schéma d'un fossé triangulaire .....	22
Figure II. 4: coupe schématique d'une chaussée revêtue des pavées.....	25
Figure II. 5: Effet de la charge sur la hauteur de lit de pose .....	26
Figure III. 1 : Vue aérienne du tronçon en étude en rouge .....	37
Figure III. 2 : Allure du terrain naturel .....	37
Figure III. 3 : Courbe de niveau .....	38
Figure III. 4 : vue en plan du projet en étude .....	39
Figure III. 5 : Profil en long du projet en étude .....	40
Figure III. 6 : Profil type du projet en étude .....	41

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I. 1 Classes principales du GTR .....	12
Tableau I. 2 Epaisseurs normalisées des pavés en fonction de la destination.....	14
Tableau II. 1 : Paramètres fondamentaux du profil en long .....	17
Tableau II. 2 : Capacité max en (l/s) des fossés triangulaires revêtues pour (h=0,60m) .....	24
Tableau II. 3: Valeurs de CAM .....	30
Tableau II. 4: Classe du trafic .....	30
Tableau II. 5 : De l'OVD AIC PROJETTI en 2009 .....	31
Tableau II. 6 : Qualité des sols .....	33
Tableau II. 7 : Classification selon le CBR .....	33
Tableau II. 8 : constitution en couche de la chaussée en étude .....	33
Tableau III. 1 : Résumé de différents facteurs d'équivalence du système "pavés + lit de pose" ...	42
Tableau III. 2 : Structure du trottoir .....	45
Tableau III. 3 : Cubature de déblai et remblai réalisé par Autodesk Civil 3D. <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
Tableau III. 4 : Tableau des volumes des Couches obtenus par Autocad Civil 3D(1).....	48
Tableau III. 5 : Tableau des volumes des Couches obtenus par Autocad Civil 3D(2).....	49

## RÉSUMÉ

Le présent travail consiste à faire une étude d'aménagement d'une chaussée revêtue en pavés de pierres volcaniques avec comme application le tronçon routier Entrée SAY SAY-route Goma Sake. Cette étude est effectuée dans le but de proposer un aménagement qui va permettre de faire en premier lieu une jonction rapide de la route Alexandre MAHAMBBA et la route RN2 et en second lieu une contribution aux problèmes des eaux stagnantes pluviales observés dans cette rue en vue de contribuer à l'amélioration la qualité touristique de la ville. Pour y parvenir, non seulement le logiciel Autocad civil 3D a été utilisé, qui a généré tous les profils et la cubature de cette chaussée, mais également la méthode CEBTP pour le dimensionnement de la chaussée. Dans la mesure où les chaussées revêtues de pavés ont un comportement qui s'apparente à celui des chaussées souples, les facteurs d'équivalence proposés par CMA ont été utilisés pour la convention en une couche de pavé et lit de pose partant des épaisseurs des matériaux donnés par CEBTP.

**Mots clés** : Chaussée, Pavées, Aménagement

## ABSTRACT

The present work consists in carrying out a development study of a pavement covered with cobblestones of volcanic stones with the application of the road section Entrance SAY SAY-Goma Sake road. This study is carried out with the aim of proposing a development which will make it possible first of all to make a rapid junction of the Alexandre MAHAMBIA road and the RN2 road and secondly a contribution to the problems of stagnant rainwater observed in this street with a view to contribute to the improvement of the tourist quality of the city. To achieve this, not only the Autocad civil 3D software was used, which generated all the profiles and the cubature of this pavement, but also the CEBTP method for the dimensioning of the pavement. Insofar as the pavements covered with cobblestones have a behavior similar to that of flexible pavements, the equivalence factors proposed by CMA were used for the convention in a layer of cobblestone and laying bed starting from the thicknesses of the materials donated by CEBTP.

**key words** : Pavement, Cobblestones, Development

## INTRODUCTION GENERALE

La route est considérée comme moyen de transport le plus promettant et le moins coûteux pour le développement d'un pays. La pierre volcanique est aussi considérée dans la région comme l'un de matériaux dans ce domaine le plus disponible, elle a l'avantage d'être moins polluante.

La construction des infrastructures de transport contribue au développement économique d'un pays. Comme secteur de soutien à l'économie globale, pour faciliter la circulation des personnes et de leurs marchandises. En partant de l'importance et du rôle que jouent les infrastructures routières dans le développement d'un pays, il est essentiel que la RDC se dote d'une infrastructure routière de qualité et d'envergure pour le développement de son territoire en garantissant le bien-être social.

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

La négligence des infrastructures routières en RDC offre un accès un peu difficile aux secteurs économiques et sociaux, en favorisant moins les échanges et le déplacement des personnes et de leurs biens, c'est un bon investissement pour le pays et pour ça ils doivent faire partir bien dans la prospective d'évolution du pays.

Goma, une ville et un chef-lieu de la province du Nord-Kivu, est située à Est de la RDC présente quelques difficultés dans son secteur routier. Certaines routes communales et urbaines revêtues, certaines chaussées elles sont presque impraticables ou quasi inexistantes suite au manque d'entretien régulier.

Intitulé du sujet : « **Etude d'aménagement d'une chaussée des pavées en pierres volcaniques : cas du tronçon Entrée Say Say-route GOMA SAKE** » Ce travail s'intéresse au secteur routier pour faire l'état de la situation de la voirie congolaise et de la ville de Goma en particulier en proposant quelques pistes de solution pour palier à ces problèmes et préserver la qualité touristique de la ville.

Dans le contexte de la ville de Goma, face à la diversité des matériaux accessibles quel serait le choix judicieux du revêtement ? En guise d'hypothèse, les pierres en pavé basaltique, une matière première, offriraient plusieurs avantages notamment au niveau du coût qui serait réduit par rapport à certaines autres pierres mais aussi seraient facilement accessibles et disponible dans la ville de Goma. De ce fait elles seraient une parmi tant des solutions pour régler les problèmes ci-haut cités. Elles sont fabriquées à partir des pierres volcaniques ou des recyclages des déchets dans le cadre de la protection de l'environnement contre le réchauffement climatique.

Le tronçon en étude est très souvent victime des eaux stagnantes qui ne permet pas une circulation confortable.

Pour réaliser ce travail, il sera nécessaire de recourir aux méthodes et techniques telles que la technique d'observation et la recherche documentaire. Ce travail permettra à consulter les bibliothèques physiques comme virtuelles pour lire les documents ayant trait à ce thème. Il convient de préciser que certains logiciels tels que Google Eart, Civil3D seront indispensable lors de l'étude.

Pour une bonne réalisation notre étude, ce travail a trois chapitres. A part l'introduction générale et la conclusion générale, les différents chapitres sont repartis de la manière suivante :

Chapitre 1. Généralités ;

Chapitre 2. Méthodologies ;

Chapitre 3. Aménagement de la chaussée tronçon routier Entrée Say Say-Route GOMA SAKE

## Chapitre premier : GENERALITES

Ce premier chapitre présente les généralités sur les routes, les généralités sur dimensionnement de la route et sur l'assainissement routier.

### I.1 Généralités sur les routes

#### I.1.1 Historique [3]

L'histoire des routes couvre une période qui commence avec la sédentarisation de l'homme, il y a 10 000 ans, jusqu'à l'Époque contemporaine. Le réseau routier semble tendre à se développer encore très rapidement, voire plus vite que jamais pour la première moitié du XXI<sup>e</sup> siècle. Environ deux milliards de véhicules pourraient rouler en 2030 selon Sperling (2009). L'humanité vit dans les années 2010-2020 « l'ère la plus explosive de l'expansion des infrastructures routières » de son histoire. De 2017 à 2020, en seulement 3 ans le linéaire routier couvert d'enrobé devraient encore doubler en Asie dans les pays en développement et pourrait dans les 30 ans à venir encore s'allonger de 25 millions de kilomètres supplémentaire (plus de 600 fois le tour de la terre) [1].

De toutes les grandes civilisations en Chine, Inde, Egypte, Syrie, Babylone et Assyrie, Perse et Grèce, l'empire Romain, en ce qui concerne les routes ; ils étaient les constructeurs les plus avancés. Au début il n'y avait que des sentiers, qui furent bientôt abandonnés. La découverte de la roue et des voitures de différentes sortes a rendu la solidification du corps de chaussée indispensable de façon à ce qu'ils naquirent les premières routes à pavés.

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

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

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

### I.1.2 TERMINOLOGIE GEOMETRIQUE DES VOIES ROUTIERES [5]

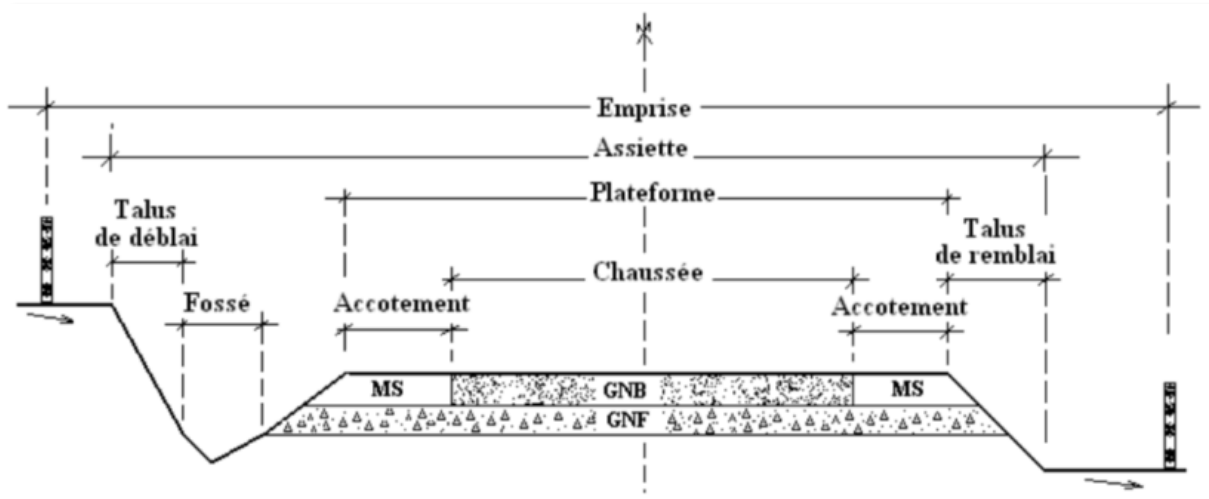


Figure I. 1 Partie de la route [5]

- **Route** : C'est une voie, un passage aménagé au sol ou une infrastructure de communication terrestre qui permet la circulation des biens et des hommes entre deux points A et B.
- **Chaussée** : Une chaussée peut être définie comme une structure plane, conçue et dimensionnée pour garantir l'écoulement du trafic dans de bonnes conditions de visibilité, de sécurité et de confort pour les usagers et assurer sa fonction pour une période de service minimale fixée au stade de l'élaboration du projet.
- **Le terrain** : C'est le support sur lequel est construite la route. Il est soit à l'état naturel c'est-à-dire avant l'exécution des travaux ou préparé lorsque les travaux des terrassements ont été préalablement réalisés.
- **Une voie** : Est une bande de la chaussée correspondant à une largeur de véhicule et circulée dans un seul sens.
- **Assiette** : champ du terrain occupé par la chaussée, elle comprend les accotements, les fossés et l'encombrement total des ouvrages.
- **Fossé** : une excavation pouvant être aménagée de part et d'autre de la plateforme. il est destiné à assainir la plateforme en collectant les eaux de ruissellement. Le fossé peut être triangulaire, trapézoïdale, ...

- **Caniveaux** : ce sont dispositifs placés après les accotements et sont destinés à l'assainissement des chaussées, généralement aménagés pour l'écoulement de l'eau.
- **Talus** : partie de la route entre la chaussée comprise entre l'accotement et le fossé
- **Emprise** : partie du terrain appartenant à la collectivité, affectée à la route et à ses dépendances qui coïncident avec le domaine public.
- **Plateforme** : constitué par une partie de l'assiette, elle se compose d'une ou de deux chaussées, éventuellement du terre-plein, des accotements ou des trottoirs. En règle générale, on entend par plateforme, la couche de 30 cm supérieurs des terrassements. Il est indispensable de disposer d'une bonne assise pour que le corps de la chaussée soit mis en place dans des conditions satisfaisantes et pour qu'il conserve, dans le temps, une indéformabilité suffisante.
- **Devers** : inclinaison transversale de la route. Il joue un rôle crucial selon qu'on est en alignement droit ou en courbe. En effet, dans le premier cas, le devers est destiné à évacuer les eaux superficielles, alors que dans le second cas, non seulement il évacue les eaux de ruissèlement mais également il compense une perte de charge centrifuge.
- **Accotements** : partie de la plateforme emménager entre la chaussée et le talus. La largeur d'un accotement varie entre 1 et 3 mètres et il a pour rôle de servir de support latéral à la structure de la chaussée, de refuge aux véhicules arrêtés ou en panes, permettre la circulation des véhicules d'urgence et de protéger les automobilistes lors du dépassement imprévu en lui évitant une collision frontale.
- **Trottoirs** : sont des accotements spécialement prévus pour la circulation permanente des piétons ; ils sont généralement séparés de la chaussée par une bordure surélevée.
- **Bordures** : sont des dispositifs de séparation ou de limites le long des voies ou chaussées. Elles sont en béton coffré, pavés, pierres taillées ou en béton bitumineux. Elles être arasées ou surélevées.
- **Banquette** : c'est une surélévation (petite digue de terre) aménagée à la limite extérieure de l'accotement en vue de la sécurité des usagers. Dans la conception de routes modernes, on utilise de plus en plus les glissières de sécurité à la place de la banquette.
- **Berge** : partie du terrain naturel le long de la route

### I.1.3 Route ancienne

Dans le cadre de processus évolutif des routes, les sentiers, les pistes saisonnières et les pistes améliorées ont précédé la route en terre, suivies par des routes revêtues et des

autoroutes qui sont des ouvrages assurant la circulation d'un trafic relativement élevé [6].

La route est apparue très tôt vers les années 350 Av. J.C. En effet, les chinois construisirent les premiers réseaux routiers les plus longs du monde pendant près de deux mille ans. Mais la plus grande révolution en matière de construction routière vient des romains qui construisirent vers l'an 312 Av. J.C la voie aptienne et vers l'an 220 Av. J.C la voie Flavienne. À son apogée, Rome disposait des voies rayonnant jusqu'aux confins de son empire, totalisant 80.000 km auxquels se branchait un réseau secondaire couvrant chacune des provinces [7].

Avec apparition de l'automobile en 1769 et l'invention des revêtements hydrocarbonés des bitumes et d'autres dérivées de la distillation du pétrole, la construction des routes a pris un essor décisif jusqu'à la réalisation de route dite moderne [6].

#### **I.1.4 Route moderne**

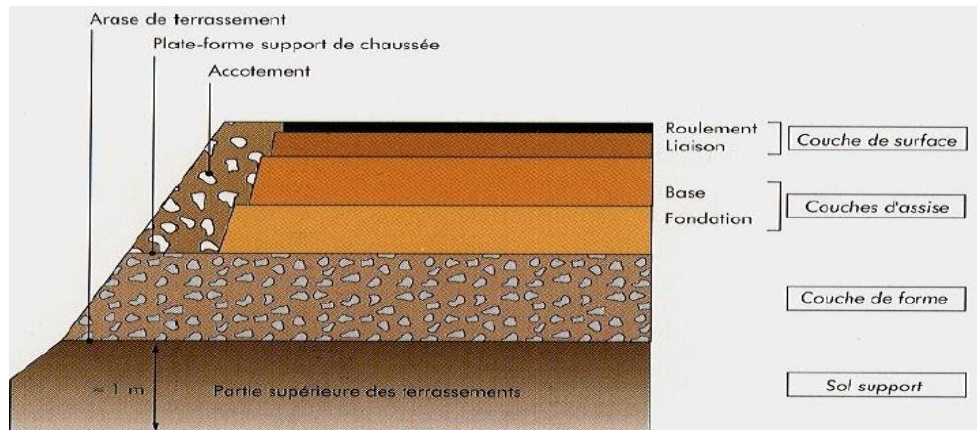
Par sa conception moderne, une route est définie comme étant un espace aménagé sur lequel repose une structure à double ou triple courant de circulation réalisée dans le respect des caractéristiques géométriques et superficielles [7].

En partant des différentes définitions d'une route, on remarque qu'elle a pour but d'assurer, dans les conditions de confort et de sécurité, la circulation de ses usagers tout au long de son exploitation. Ainsi l'importance d'une route peut être synthétisée en ces termes : elle favorise les échanges interprovinciaux, le désenclavement des zones ou régions enclavées car elle est le miroir même du développement socio-économique d'un pays [6].

La présence d'une route joue un rôle prédominant et permet la mobilité des personnes et de biens, l'amélioration d'équilibre entre l'offre et la demande, la création de nouvelles activités, la tempérence des inégalités, la mise en valeur d'un territoire, la stimulation des initiatives etc.

#### **I.1.5 Constitution d'une chaussée**

Une chaussée est constituée d'une superposition de couches de matériaux différents dont l'ensemble est appelé superstructure et reposant sur une infrastructure. Dans l'infrastructure nous avons la plate-forme et la couche de forme en cas de remblai ; pour la superstructure nous avons la couche de base, la couche de fondation et la couche de surface ou le revêtement [8].



**Figure I. 2 Coupe type et terminologie [6]**

### **I.1.5.1 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) [8].

La préparation de l'infrastructure vise à [3]:

- 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.1.5.2 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 [7].

La couche de surface assure les fonctions suivantes [9]

« Etude d'aménagement d'une chaussée des pavées en pierres volcaniques : cas du tronçon Entrée Say Say-route GOMA SAKE

---

- Présenter une surface durable, de façon à assurer, durant toute sa durée de vie, un confort de roulement aux véhicules ;
- Garantir une adhérence optimale pneu-chaussée ;
- Empêcher l'infiltration des eaux superficielles (imperméabilité) ;
- Résister sans déformation, ni usure trop rapide, aux efforts de cisaillement transmis par les roues.

La couche de surface est généralement en bitume, en béton de ciment, en pavés ou en béton bitumineux. Elle doit être de bonne qualité pour protéger l'assise contre l'action du trafic et des intempéries.

La couche de base joue les rôles suivants [9] :

- Supporter les charges de trafic transmises par le revêtement ;
- Constituer la couche rigide pour le compactage de la couche de roulement ;
- Neutraliser les effets négatifs des agents atmosphériques.

Elle est prépondérante et doit être constituée de matériaux suffisamment durs pour résister à l'attrition.

La couche de fondation est immédiatement au-dessus de la PF, elle joue comme rôle la répartition de façon homogène les contraintes sur le sol support. Cette couche doit être bien compactée pour éviter les tassements ultérieurs [8].

Entre l'infrastructure et la superstructure on interpose une couche de transition, mise en œuvre exclusivement dans le cas d'un déblai. Elle joue [9] :

- Le rôle anti-contaminant en séparant le sol d'assise de la couche de fondation, elle empêche ainsi les particules fines d'un sol d'infrastructure de remonter dans une fondation grossière ;
- Le rôle de drainage de la fondation ;
- Le rôle d'empêcher la montée capillaire de l'eau provenant de la nappe phréatique.

Son inconvénient est qu'elle est difficile à mettre en œuvre. On a tendance à la remplacer par une feuille de matière plastique ou géotextile posé sur la PF ou par un traitement à la chaux ou au ciment.

### **I.1.6 Types des chaussées [6]**

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.1.6.1 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.

#### **I.1.6.2 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.

#### **I.1.6.3 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.2. Dimensionnement routier**

### **I.2.1 Définition**

Le dimensionnement d'une chaussée consiste à déterminer la nature et l'épaisseur des couches qui la constituent afin qu'elle puisse résister aux diverses agressions auxquelles elle sera soumise tout au long de sa vie [10].

### **I.2.2 Méthode 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.

### **I.2.3 Trafic [5]**

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

D'autre part, l'expérience a montré l'influence fondamentale du poids des essieux sur le dommage observé : un essieu de poids lourds est infiniment plus agressif qu'un essieu de voiture légère. Il est donc nécessaire de quantifier le trafic sur le plan de l'agressivité des véhicules. Le trafic estimé à la mise en service est converti en nombre d'essieux standards au moyen d'un

coefficient multiplicateur qui tient compte de l'agressivité du type de véhicule. Le terme « essieu standard » désigne l'essieu isolé à roues jumelées supportant une charge de 13 tonnes, qui est la charge maximale légale dans plusieurs pays.

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

Ce trafic cumulé à prendre en compte dépend alors :

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

#### **I.2.4 Évaluation de la portance de la plate-forme**

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

#### **I.2.5 Caractéristiques des matériaux de la plate-forme**

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

##### **I.2.5.1 Géotechnique routière**

La géotechnique routière peut être comprise comme une science qui traite du sol en tant que matériau de construction. Elle s'applique en particulier sur la géologie, l'hydrogéologie, la mécanique des sols et roches et à l'étude des propriétés physico-chimiques des sols remaniés. [5]

##### **A. Classification des sols selon le guide des techniques routières.**

La classification géotechnique des matériaux identifie le sol en six classes A, B, C, D, E et F données sur le tableau I.1 :

**Tableau I. 1 Classes principales du GTR [5]**

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

Les caractéristiques permettant d'effectuer la classification du tableau I.1 sont définies à partir des essais géotechniques et peuvent être regroupées en trois catégories dont les Paramètres de Nature, les Paramètres de comportement mécanique et les Paramètres d'état.

### **B. Détermination des épaisseurs des revêtements [11]**

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

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

## **I.3. Généralité sur l'assainissement routier [6]**

### **I.3.1. Aperçu**

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.

### **I.3.2. Domaines d'activité**

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.4. Généralités sur le pavage**

Le pavage est une technique de revêtement de chaussée qui consiste en une préfabrication d'éléments appelés pavés, puis propose de ces éléments sur un lit de pose.

### **I.4.1 Types des pavés [12]**

Les différents pavés sont :

#### **I.4.1.1. Les pavés mécaniques en béton**

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

#### **I.4.1.2. 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.4.1.3. 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.4.1.4. 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 coûteux 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.4.1.5. Les normes sur les pavés [13]**

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

La norme française régissant les pavés de pierre est : P98-342/NF EN1342 (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. Ces dimensions sont présentées dans le tableau I.2.

**Tableau I. 2 Epaisseurs normalisées des pavés en fonction de la destination [13]**

<b>Destinations</b>	<b>Epaisseurs recommandées (cm)</b>
<b>Trottoirs-patio</b>	5
<b>Les entrées résidentielles</b>	7
<b>Les entrées commerciales</b>	8
<b>Chaussées urbaines</b>	1

#### **I.4.2 Proposition de technologie**

Un des objectifs poursuivis par ce travail de fin du cycle est d'utiliser des pierres en couche de roulement ainsi que les techniques de leurs mises en œuvre. Dans ces conditions, il s'agira de faire plusieurs options, d'en commenter les précautions préalables à garantir pour utiliser l'une ou l'autre des différentes options. Ainsi, les options de mise en œuvre sont les suivantes :

##### **a. Le pavage sec**

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

##### **b. Le pavage par liant**

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

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

- Le stabiliser s'il s'agit d'un sol non cohérent ;
- Le renforcer s'il s'agit d'un sol à faible portance ;
- Le remblayer ou le déblayer pour uniformiser la surface ;
- Etc.

#### **I.5. Conclusion partielle**

La route a pour rôle d'assurer dans les conditions de confort et de sécurité, la circulation de ses usagers tout au long de son exploitation, ce présent chapitre présente les généralités sur la route (les types des routes, les généralités sur son mode de dimensionnement, les généralités sur l'assainissement ainsi que les généralités sur le pavage.

## Chapitre deuxième : METHODOLOGIES

Ce chapitre présente la méthodologie relative au dimensionnement horizontal de la route (tracé routier), de la structure de la chaussée, des ouvrages d'assainissement ; ainsi que les différents matériels et logiciels utilisés.

### II.1 Dimensionnement horizontal de la route

Le tracé routier se définit par la connaissance du tracé de son axe en plan qui est son tracé en plan, de la position en altitude qui est son profil en long et de son gabarit qui représente son profil en travers. Ce tracé doit satisfaire certaines conditions de la nature et de l'importance du trafic.

#### II.1.1 Caractéristiques géométriques

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

##### II.1.1.1 Profil en long

###### a. Caractéristiques générales [14]

Le profil en long d'une route est une coupe verticale du sol naturel et du projet selon l'axe du tracé en plan. Il est constitué de segments de droite raccordés par des arcs de cercle caractérisés par leur rayon. Pour les segments de droite, on parle de pente ou de rampe suivant que la route descend ou monte dans le sens de la marche. Les rampes sont contraignantes pour les véhicules lourds dont elles augmentent les consommations.

Le tracé en plan et le profil en long doivent résoudre les problèmes suivants [15] :

- 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.

Elles le sont d'autant plus qu'elles sont plus longues et que le véhicule perd le bénéfice de son élan initial. Le ralentissement de ces véhicules perturbe, de plus, la circulation générale. Cela conduit à limiter autant que possible les rampes aux valeurs indiquées dans le **Tableau II. 1.**

**Tableau II. 1 : Paramètres fondamentaux du profil en long [14]**

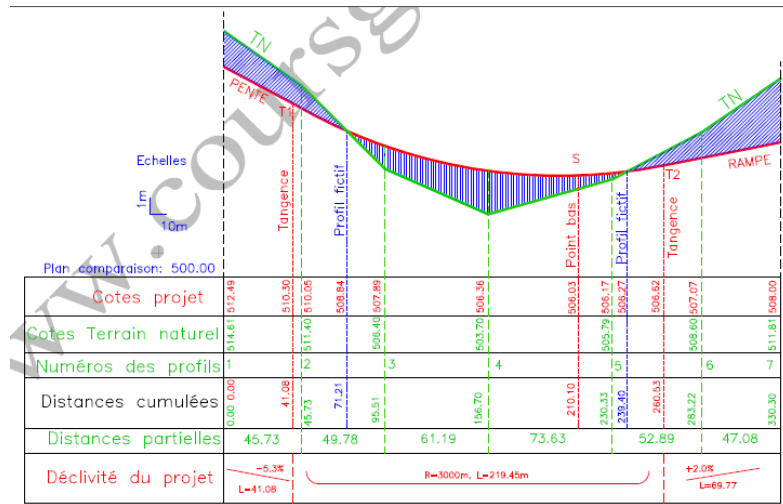
Désignation des paramètres			Symboles et unités	Catégories des routes				
				4 <sup>ème</sup>	3 <sup>ème</sup>	2 <sup>ème</sup>	1 <sup>ère</sup>	Except.
<b>Vitesse de référence</b>			V <sub>r</sub> (km)	4	6	80	100	120
<b>Déclivité maximale en rampe</b>			$\pi M(\%)$	8	7	6	5	4
<b>Rayon en angle saillant RV(m)</b>	Chaussée unidirectionnelle (route à 4 voies ou à 2)	Minimal absolu	RV <sub>m1</sub>	500	1500	3000	6000	12000
		Minimal normal	RV <sub>N1</sub>	1500	3000	6000	12000	12000
	Chaussée bidirectionnelle (route à 2 ou 3 voies)	Minimal absolu	RV <sub>m2</sub>	500	1600	4500	10000	
		Minimal normal	RV <sub>N2</sub>	1600	4500	10000	17000	
<b>Rayon en angle rentrant</b>	Minimal absolu		RV' m	70	150	2200	3000	420
	Minimal normal		RV' N	1500	2200	3000	4200	6000
<b>Rayon assurant la distance de visibilité de dépassement minimale sur route à 2</b>			RVD(m)	2500	6500	11000	17000	28000

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

Il existe deux types de profils à long dont :

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

La figure II. 1 illustre les éléments constitutifs ainsi que les types de profil en long.



**Figure II. 1 Profil en long [16]**

Pour des raisons de confort dynamique et de confort visuel notamment, les paramètres géométriques du profil en long doivent respecter les caractéristiques limites résumées dans le tableau II.2.

### II.1.1.2 Tracé en plan

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

#### 1. Choix du rayon des virages

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

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

La combinaison des alignements droits et courbes doit respecter dans la mesure du possible les contraintes topographiques, politiques, économiques, sécuritaires et de confort. En fonction de la vitesse de référence adoptée, des valeurs minimales des rayons permettant d'atteindre principalement les objectifs de confort et de sécurité.

### II.1.1.3 Profil en travers

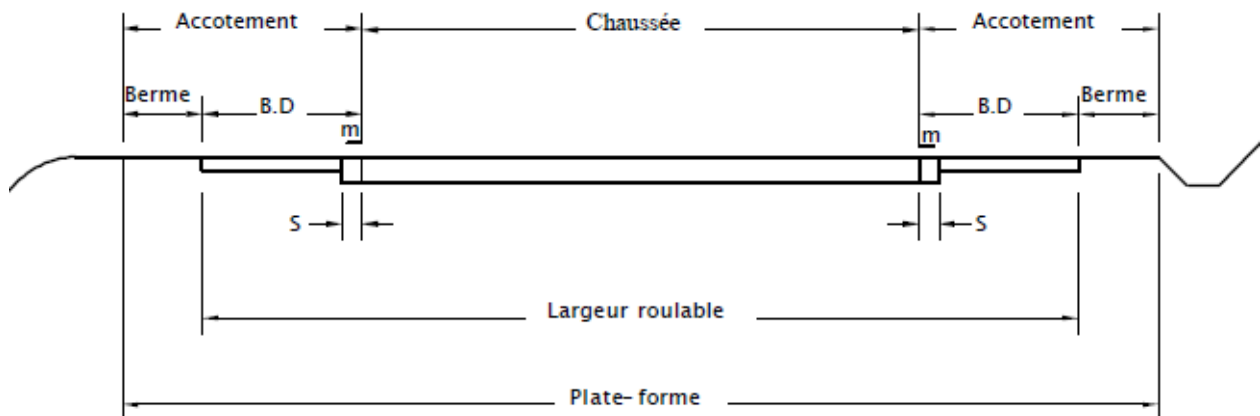
C'est la coupe transversale de la chaussée et de ses dépendances. Il permet de connaître la position des points théoriques d'entrée en terre des terrassements, l'assiette du projet et son emprise sur le terrain naturel et les cubatures (volumes de déblais et de remblais).

Le profil en travers courant doit pouvoir résoudre quant à lui les problèmes suivants [14] :

- 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.

#### a. Largeur de chaussée

Il n'y a pas de largeur minimale réglementaire pour une chaussée. Cette valeur doit être retenue en fonction du type de véhicules circulant ou attendus sur l'itinéraire et des vitesses prévues. Le choix du nombre de voies de circulation, celui de leur largeur et celui de la structure générale du profil en travers est à la fois dicté par les débits que l'on souhaite écouler et par la fonction que l'on souhaite faire jouer à la route [14]. La **Figure II. 2** illustre la constitution du profil en travers.



**Figure II. 2 : Eléments constitutifs du profil en travers [15]**

Les marges de sécurité latérales doivent tenir compte des vitesses pratiquées sur l'itinéraire et de ce fait, des valeurs de 3,00 à 3,50 m sont usuellement retenues pour les routes principales. Le standard international se situe à 3,50m. En fonction des contraintes de topographie et de l'importance du trafic poids lourd, des largeurs inférieures peuvent être adoptées. Toutefois Pour les voiries existantes de largeur de chaussée comprise entre 4 et 6 m, il est important de noter que les niveaux de vitesse pratiquée sont très sensibles aux largeurs de route et en conséquence, toute intervention en matière d'élargissement de chaussée devra tenir compte de l'impact en matière d'augmentation des vitesses [15].

### **b. Dévers**

Le dévers ou pente transversale permet de favoriser l'évacuation des eaux de surface. Dans les rayons de courbure faible, il contribue à l'équilibre dynamique des véhicules. Toutefois, cette contribution reste limitée et sa valeur est donc plafonnée (généralement à 7%). Au-delà de cette valeur plafond, d'autres problèmes surviennent et notamment des difficultés constructives [15].

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

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

En courbe, le profil ne comporte plus qu'un seul versant, dont la pente est le dévers évoqué précédemment, le passage d'une situation à l'autre nécessitant une zone de transition. Cette zone doit être très soigneusement étudiée, particulièrement pour les chaussées de grande largeur, pour éviter les accumulations d'eau génératrices d'aquaplanage [14].

## II.2 Dimensionnement des ouvrages d'assainissement

### II.2.1 Fossés [17]

Une route, qu'elle soit en remblais ou en déblais, subit des risques graves d'érosion dus aux eaux de ruissellement.

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.).

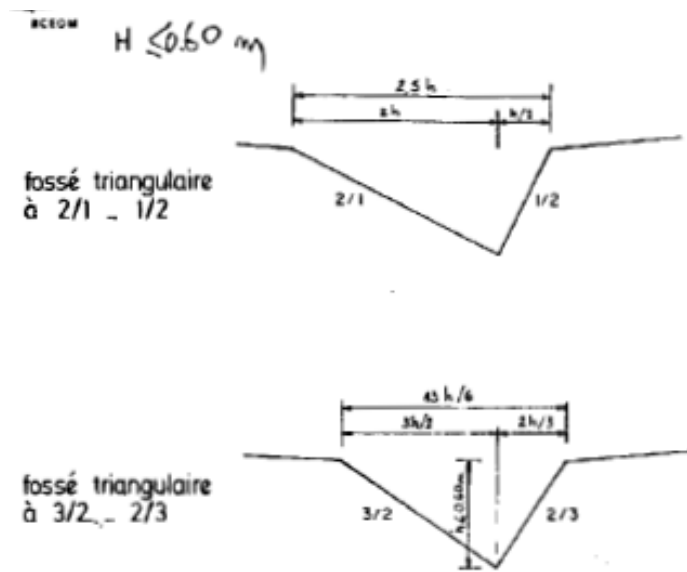
Les dispositions sont très spécifiques suivant la topographie, dans le cadre de ce travail, les fossés extérieurs ne seront pas mis en œuvre.

Les fossés peuvent être :

- Triangulaires, qui fait l'objet de ce travail, est confectionné 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. 3** illustre respectivement

le fossé triangulaire à 1/2 et le fossé triangulaire à 2/3.



**Figure II. 3 : Schéma d'un fossé triangulaire [16]**

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.2.1.1 Calculs des fossés latéraux

#### a. Capacité des fossés latéraux

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

$$V = KR^{2/3}i^{1/2} \quad (\text{II.1})$$

D'où :  $Q = VS = KSR^{2/3}i^{1/2}$

Avec,  $Q$  : Débit en  $\text{m}^3/\text{s}$

$V$  : Vitesse en  $\text{m}/\text{s}$

$K$  : Coefficient de rugosité de MANNING

$R$  : Rayon hydraulique en  $\text{m}$

$I$  : 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.

Etant donné que le fossé auquel ce travail s'intéresse est en béton, la valeur retenue pour le coefficient K est de 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 3.5 m/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 et le rayon hydraulique R étant fonction de la hauteur d'eau h, on peut les éliminer de la formule de MANNING, ce qui permet de calculer la capacité limite des fossés triangulaires en fonction des paramètres V et i qui sont fixés.

Pour les fossés de talus 2/1, 1/2 on a :

$$R = \frac{h\sqrt{5}}{6} = \left( \frac{V}{K\sqrt{i}} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (\text{II.2})$$

$$S = \frac{5h^2}{4} \quad (\text{II.3})$$

D'où

$$Q = SV = \frac{9V^2}{K^3 i^{\frac{3}{2}}} \quad (II.4)$$

Pour les fossés de talus 3/2, 2/3 on a :

$$R = \frac{h\sqrt{13}}{10} = \left(\frac{V}{K\sqrt{i}}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (II.5)$$

$$S = \frac{13h^2}{12} \quad (II.6)$$

D'où

$$Q = SV = \frac{50}{6} \frac{9V^2}{K^3 i^{\frac{3}{2}}} \quad (II.7)$$

Nous avons vu que dans le cas des fossés revêtus, la vitesse ne doit pas dépasser  $V_{\max}=3,5\text{m/s}$ . cette condition entraine donc que les fossés triangulaires revêtues ont les capacités maximales présentées dans le **Tableau II. 2** en fonction de la pente  $i$ .

**Tableau II. 2 : Capacité max en (l/s) des fossés triangulaires revêtues pour ( $h=0,60\text{m}$ ) [16]**

Talus \ Pente %	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>1 110</u>	<u>1 571</u>	864	561	402	306	198	142
3/2, 2/3	<u>666</u>	<u>942</u>	<u>1 332</u>	800	520	372	283	184	131

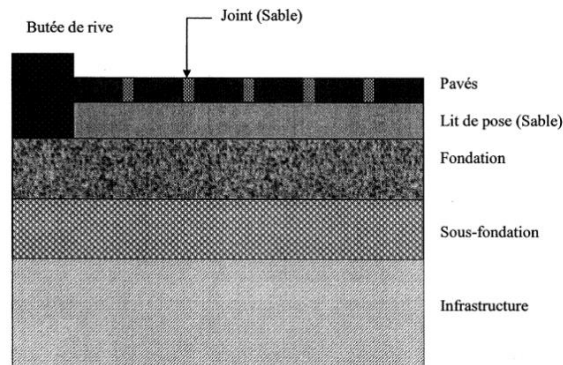
Les chiffres soulignés correspondent aux fossés entièrement remplis.

### II.3 Structure de la chaussée [6]

Le dimensionnement d'une route, entre autre le calcul de l'épaisseur de ses différentes couches et le choix des matériaux devant être utilisés s'avèrent nécessaires pour un meilleur service aux usagers. Les méthodes de dimensionnement des chaussées sont multiples et leur application peut varier suivant le type de chaussée et les pays. Etant donné que la structure d'une chaussée doit résister à diverses sollicitations, celle doit assurer la diffusion des efforts induits par spécifiquement le trafic dans le sol de fondation. L'application d'une charge roulante

induit ainsi une déformation en flexion des couches de la structure. Cette flexion entraîne des sollicitations en compression au droit de la charge et des sollicitations en traction à la base des couches.

S'intéressant à la chaussée en pavés des pierres, ce travail se limite à la structure de la chaussée en pierre. La **Figure II. 4** illustre la constitution d'une chaussée en pavés.



**Figure II. 4: Coupe schématique d'une chaussée revêtue des pavés [18]**

### **II.3.1 Fondation [16]**

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.

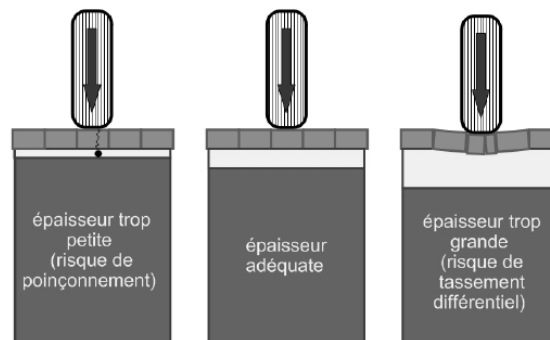
### **II.3.2 Lit de pose [16]**

Le lit de pose est une couche de sable ou de criblure de pierre bien propre et bien fin. La classe granulaire utilisée à cet effet est de 0/3. Le lit de pose reposera sur la couche de base et subira un damage des bords vers l'intérieur pour avoir une épaisseur finale de 4–5 cm. Ce

damage doit être bien mené pour éviter les risques d'un affaissement futur. Aussi, doit-on aménager un dispositif de drainage de l'eau contenue dans le corps de chaussée. Ainsi, on s'efforcera de réaliser un profil avec devers d'un côté pour permettre à toute goutte d'eau de s'écouler de l'intérieur vers les bords. Seuls les pavés de bords nécessitent un blocage particulier et ce blocage sera assuré par les bordures. Dans le cas de la voirie urbaine, cette bordure est constituée par les canaux latéraux d'assainissement. De façon pratique, la mise en place du lit de pose doit suivre les étapes suivantes :

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

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



*Figure II. 5: Effet de la charge sur la hauteur de lit de pose [10]*

### **II.3.3 Couche de roulement**

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

#### **II.3.3.1. Caractéristiques de surface et de sécurité**

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

véhicules lors des freinages brusques.

### **II.3.3.2. Caractéristiques de surface et de confort**

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

### **II.3.3.3. Caractéristiques de protection du reste de la chaussée**

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

### **II.3.3.4. Étapes de mise en œuvre de la technologie [19]**

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

#### **a. La pose des pavés de pierres**

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

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

#### **b. Le remplissage des joints**

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

- ✓ Pour bien égaliser la surface des pavés, on utilisera une plaque vibrante qu'on passera à deux reprises dans les deux sens. Les pavés s'affaisseront d'environ 10mm.

- ✓ Étendre du sable à béton sur les pavés. Une fois le sable sec, balayer le sable dans les joints et cela dans tous les sens.
- ✓ Repasser la plaque dans les deux sens et enlever le surplus de sable si après quelques jours, certains joints ne sont pas suffisamment remplis, sabler à nouveau et repasser le balai.
- ✓ Réaménager l'assise suivant une périodicité quinquennale et ré-sabler le pavé chaque année au besoin.

### **II.3.4 Méthodes de dimensionnement de la structure**

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement structural de la chaussée, qui se sont développées au fur et à mesure par des observations expérimentales de comportement de chaussée sous le trafic qui représente des méthodes partiellement ou entièrement empiriques, soit à partir de fondement théorique basé sur l'analyse des contraintes et déformations engendrées au sein de la structure de la chaussée et du sol, en relation avec les caractéristiques des matériaux qui représentent les méthodes analytiques ou mécanistiques ou rationnelles.

#### **II.3.4.1 Méthodes rationnelles**

Elles tiennent compte du calcul des contraintes et des déformations admissibles en fonction des épaisseurs, des cycles de chargement et des risques acceptés au moyen de programmes. Parmi Les méthodes rationnelles on peut citer la méthode SHELL, ALIZE, ...

#### **II.3.4.2 Méthodes empiriques**

Les méthodes empiriques de dimensionnement font appel exclusivement à des expériences comparant le comportement à long terme de diverses structures pour différentes conditions climatiques et de trafic

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

La méthode CEBTP fera l'objet de notre travail car c'est la méthode qui est le plus adaptée pour la zone tropicale.

## A. Méthode CEBTP

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

### a. 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.

On distingue différents types de trafics entre autres :

- **Trafic normal** : c'est le trafic actuel sur une liaison existante en tenant compte de la croissance annuelle, en « situation stable ». Cette situation fait abstraction de tout aménagement, de toute construction nouvelle ou concurrente mais prend en compte l'évolution du trafic dû aux mutations socio-économiques.
- **Trafic dérivé** : c'est le trafic supplémentaire sur une liaison qui est dévié d'autres itinéraires suite à des aménagements et investissements sur une autre la liaison.
- **Trafic induit** : c'est le trafic créé nouvellement suite à un aménagement, et qui n'existait pas avant. Souvent, le terme trafic induit regroupe le trafic dérivé et le trafic induit.

- **Trafic saisonnier** : il existe deux types de trafic saisonnier qui sont le trafic variant librement en fonction de la période de l'année (récoltes,) et le trafic interdit ou limité par périodes (barrières de pluies...)

Plusieurs modèles permettent d'évaluer le trafic cumulé.

Les deux modèles les plus connus sont le modèle linéaire et le modèle exponentiel. Le modèle exponentiel reste le modèle qui approche le plus l'évolution du volume de la circulation.

Le modèle exponentiel est donné par la formule (II.9) :

$$N = 365 - n - TMJA - CAM - \frac{(1 + i)^n - 1}{n} \quad \text{(II.8) [5]}$$

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

n : la durée de service en nombre d'années

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

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

CAM : le coefficient d'agressivité moyen.

Le CAM est donné par le tableau II.3 :

**Tableau II. 3: Valeurs de CAM [20]**

Giratoire	Chaussée. Souple ou Bitumineus			Chaussée. Hydraulique, béton ou mixtes			
	Vo	Min	Par défaut	Max	Min	Par défaut	Max
Distribution		2	0	1	2	0	1
Principale		0,5	1	1,5	0,	1	1

Le trafic est classifié dans le Tableau II. 4 :

**Tableau II. 4: Classe du trafic [5]**

Classe du trafic	N cumulé
T1	$\leq 5.10^3$
T2	$5.10^3 < N \leq 1,5. 10^6$
T3	$1,5. 10^6 < N \leq 4. 10^6$
T4	$4. 10^6 < N \leq 10^7$
T5	$10^7 < N \leq 2. 10^7$

Pour le cas de cette étude, il sera question de recourir aux résultats du trafic moyen annuel journalier du bureau de l'OVD AIC PROJETTI en 2009 présentés dans le tableau II. 5

**Tableau II. 5 : De l'OVD AIC PROJETTI en 2009 [20]**

Class e	Axes		PL	4×4	MINI BUS	C2E	C>2E	EA	TOTA L
1	Axes 1A, 1B et 2	1A : route Goma-Sake 1B : route vers barrière de Munigi 2 : boulevard	766	3579	2193	317	32	33	6920
2	Axes 3A, 3B, 3C et 3D	3A : avenue de la corniche 3B : boulevard karisimbi 3C : avenue des ronds points	418	2004	266	164	12	4	2850
3	Axes : 4A, 4B, 4C	4A : avenue du lac <b>4B : avenue musée</b> 4C : avenue Karibu	<b>351</b>	700	621	87	11	2	<b>1773</b>

Avec

- ✓ PL : Poids Lourd
- ✓ 4×4 : véhicule à double traction
- ✓ C2E : châssis à 2 essieux
- ✓ C>2E : châssis à plus de 2 essieux
- ✓ EA : ensemble articulé

Il sera question de déterminer le trafic cumulé dans la suite du travail.

#### **b. Caractéristiques du sol support**

La plate-forme doit pouvoir supporter les charges transmises par les autres couches de la chaussée sans subir de dommages. Les caractéristiques du sol support induisent la classification de ce dernier suivant sa portance. Plusieurs méthodes existent pour la détermination de la portance du sol ou soit pour la classification des sols telles que les méthodes LCPC, RTR, CBR).

La portance quant à elle, elle est la capacité qu'a un sol de résister aux charges qui lui sont soumises. Ce paramètre est à tenir compte d'une manière très importante dans la construction de la chaussée car elle permet d'affirmer ou de déterminer, à l'aide de l'essai CBR, la qualité d'un

sol, à supporter une structure routière sans qu'il se produise les phénomènes de tassement excessif.

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

**But de l'essai :**

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

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

Pour le cas de cette étude, il sera question de recourir aux essais CBR effectué au laboratoire de l'office de routes/Goma et qui révèlent que le CBR en ville de GOMA est compris entre 15 et 30 après quatre jours d'imbibition [20]. Ceci a permis de situer la plate-forme du projet dans la classe de S4 sur le guide CEBTP.

Le **tableau II.6** suivant présente la qualité des sols suivant leur portance et le **tableau II.7** présente la classification.

**Tableau II. 6 : Qualité des sols [5]**

CBR	Qualités du sol
0-3	Très pauvre
3-7	Pauvre
7-20	Passable
20-50	Bon
50-100	Excellent

**Tableau II. 7 : Classification selon le CBR [18]**

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

## II.4 Choix de matériaux

La qualité de service d'une route est liée aux différentes propriétés que comportent les matériaux constituant sa structure.

Il est à signaler que pour la couche de base et celle de roulement les matériaux sont respectivement les scories volcaniques et les pavés en basaltes. **Tableau II. 8** offre plus de synthèse et d'éclaircissement :

**Tableau II. 8 : constitution en couche de la chaussée en étude**

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

### II.4.1 Matériau de la couche de base

A Goma, les sites potentiels pour le ravitaillement en matériaux de construction des routes sont nombreux mais une carrière a particulièrement attiré l'attention de ce travail :

La carrière de MUNIGI, situé sur la RN2 et allant vers Rutshuru. Cette dernière devant respectivement intervenir pour la fourniture des matériaux pour la couche de base.

Les caractéristiques de ces matériaux ont été analysées au laboratoire de l'Office de Routes par les essais ci-après :

Pour les matériaux graveleux de Munigi, les essais suivants ont été réalisés :

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

Les résultats de ces essais seront présentés en annexe 3.

#### **II.4.2 Matériau de la couche de roulement**

Le revêtement sera en pavés basaltiques. Le choix de ce dernier se justifie par la simplicité de mise en œuvre imposée par cette dernière et sa disponibilité.

Pour l'aménagement du tronçon en étude il sera question d'utiliser les pavés taillés de 15cm de longueur, 8cm d'épaisseur et 10cm de largeur en provenance de l'entreprise SOCCOC à Goma et on poursuivra par la technique artisanale (marteau et burin) pour l'adoucissement afin de rendre moins rugueuses leurs surfaces.

#### **II.5 Matériel et logiciels utilisés [6]**

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

- **Le GPS (Système Mondial de Positionnement) :** c'est un système de Géopositionnement par satellite qui fonctionne sur le principe de triangulation des signaux électromagnétiques synchronisés émis par les satellites [22]. Cette technologie a permis de récolter sur terrain les coordonnées de l'axe principale du tronçon en étude qui sont présentés en annexe.
- **Le logiciel Google Earth :** c'est un logiciel développé par la société Google, permettant une visualisation de la Terre avec un assemblage de photographies aériennes ou satellitaires. Ce logiciel permet à tout utilisateur de survoler la Terre et de zoomer sur un lieu de son choix. Selon les régions géographiques, les informations disponibles sont plus ou moins précises. Pour ce travail, le logiciel Google Earth a permis d'avoir une vue aérienne sur le milieu d'étude qui est présenté au chapitre suivant.
- **Le logiciel Global Mapper :** Le logiciel Global Mapper est une application qui donne accès à une variété inégalée de jeux de données spatiales. Utilisé aussi bien comme outil

autonome de gestion des données spatiales que comme élément intégral d'un système d'information géographique (SIG) à l'échelle de l'entreprise, Global Mapper est indispensable pour quiconque travaille avec des cartes ou des données spatiales. Ce logiciel a permis d'avoir les coordonnées géographiques (x, y, z) de l'ensemble du milieu d'étude.

- **Le logiciel AutoCAD civil 3D** : c'est un logiciel CAO développé par Autodesk. Le logiciel AutoCAD Civil 3D répond aux besoins des entreprises de génie civil impliquées dans des projets de génie civil autonomes et BIM (Building Information Modeling). Construit sur une plate-forme AutoCAD familière, Civil 3D a été spécifiquement conçu pour répondre aux besoins complexes des ingénieurs civils du monde entier impliqués dans des projets de génie civil complexes et exigeants tels que l'aménagement du terrain, le transport et même l'eau. Ce logiciel a permis d'avoir les différents tracés de l'axe en étude et la cubature. Bref il a permis de faire l'aménagement du tronçon en étude.

## **II.6 Conclusion partielle**

Après avoir présenté en premier lieu le dimensionnement de la route, en second lieu ce chapitre a présenté le dimensionnement des ouvrages d'assainissement routier se basant principalement sur les fossés triangulaires. La structure de la chaussée est constituée d'une couche de roulement faite par le matériau en pavée de pierres volcaniques.

A la fin du chapitre, il a été présenté les différentes technologies utilisées pour mieux étudier le projet entre autres le GPS, le logiciel Google Earth, le logiciel Global Mapper et le Logiciel Autocad Civil 3D.

## **Chapitre troisième : ETUDE D'AMENAGEMENT DE LA CHAUSSEE**

Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats de dimensionnement à partir de la méthode CEBTP et les mouvements des terres de la chaussée d'étude.

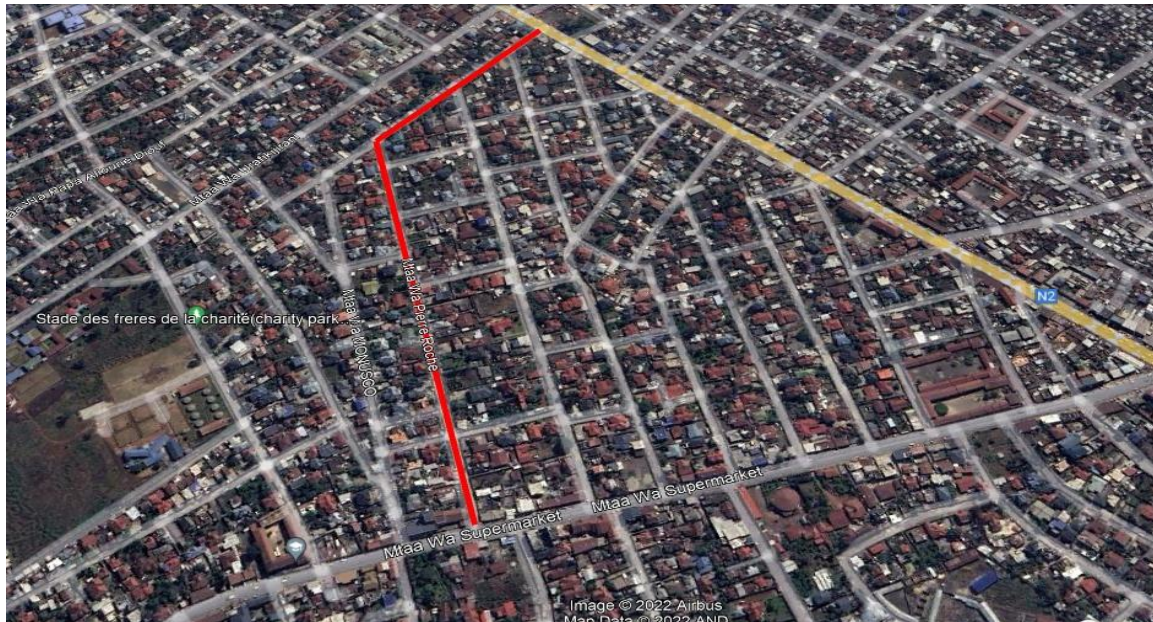
### **III.1 Présentation du terrain**

Le dimensionnement est l'une des étapes fondamentales, passage obligé, d'un projet routier parce que ça consiste à déterminer les différentes épaisseurs de couches qui donneront à ma chaussée la capacité de résister au trafic généralement et de déterminer les matériaux adaptés ayant les caractéristiques souhaitées.

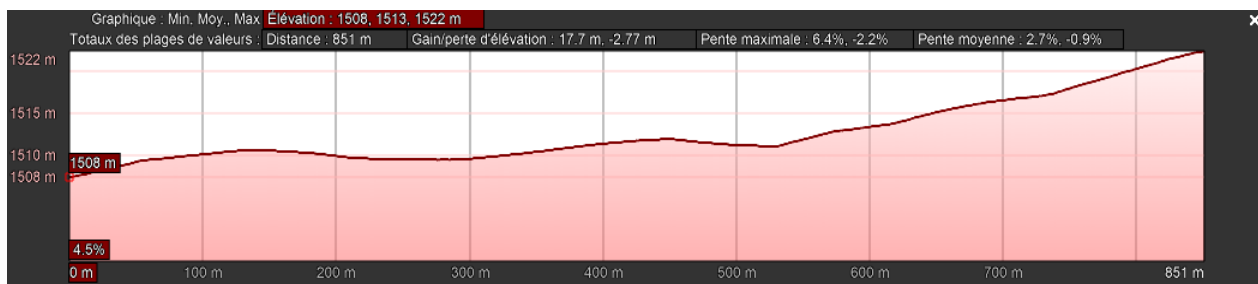
Le tronçon en étude est situé en République Démocratique du Congo, dans la province du Nord-Kivu, dans la ville de Goma, commune de Goma, dans le quartier kyeshero. Long de 851 m d'une emprise moyenne de 8 m non revêtu, ce tronçon présente les caractéristiques suivantes :

- Certains points sont plus surélevés par rapport à d'autres, créant ainsi des zones de rétention d'eau le long de la route.
- La pente maximale du terrain naturel est de 6.4% et -2.2% ; alors que la pente minimale est de 2.7% et -0.9%.
- Le point le plus élevé est à 1522 m d'altitude pendant que le point le plus bas est à 1508 m, soit une différence de 14 m.

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



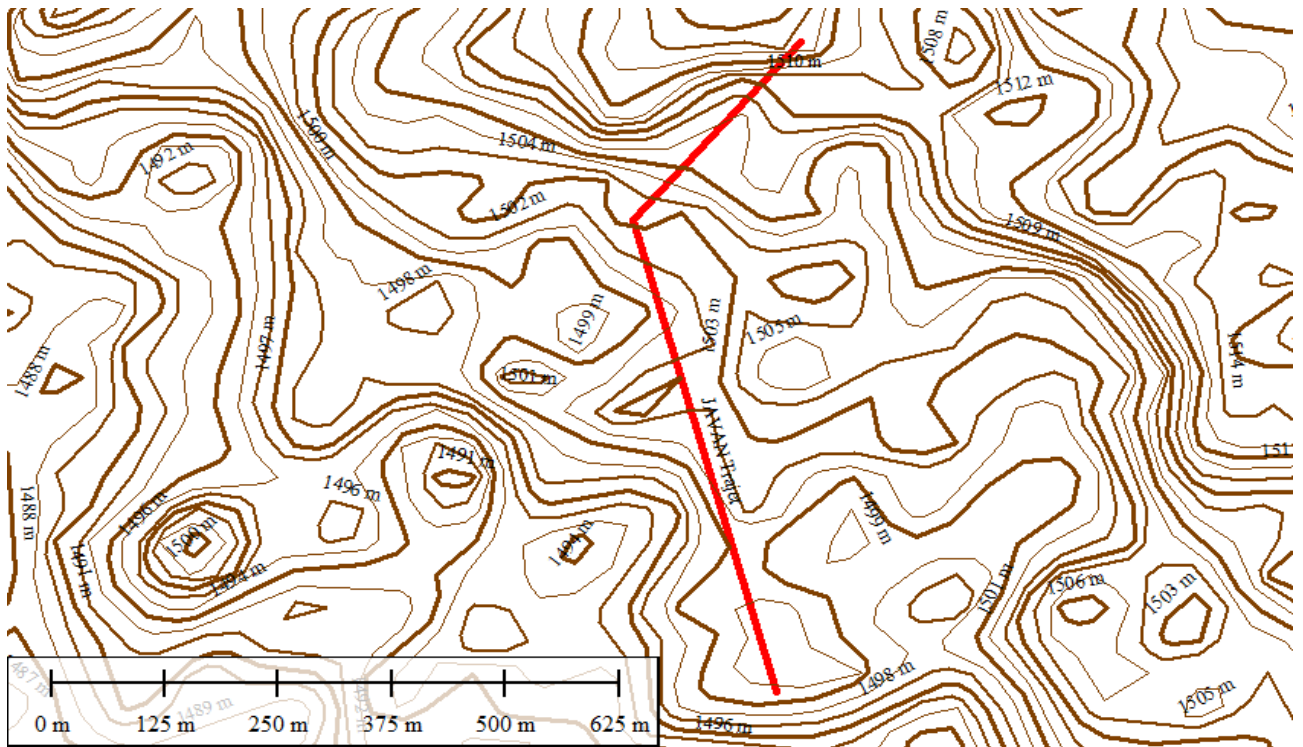
*Figure III. 1 : Vue aérienne du tronçon en étude en rouge*



*Figure III. 2 : Allure du terrain naturel*

## III.2 Levés topographiques

Les coordonnées topographiques de l'axe principal donne en axe 2 ont permis d'établir les différentes courbes de niveau de la région où passe le tronçon qui fait l'objet de l'étude avec le logiciel Google Mapp représenter à la figure III.3



*Figure III. 3 : Courbe de niveau*

### **III.3 Dimensionnement horizontal de la route**

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

#### **III.3.1 Tracé en plan**

Le tracé en plan du projet, long de 851m, se présente comme suit :

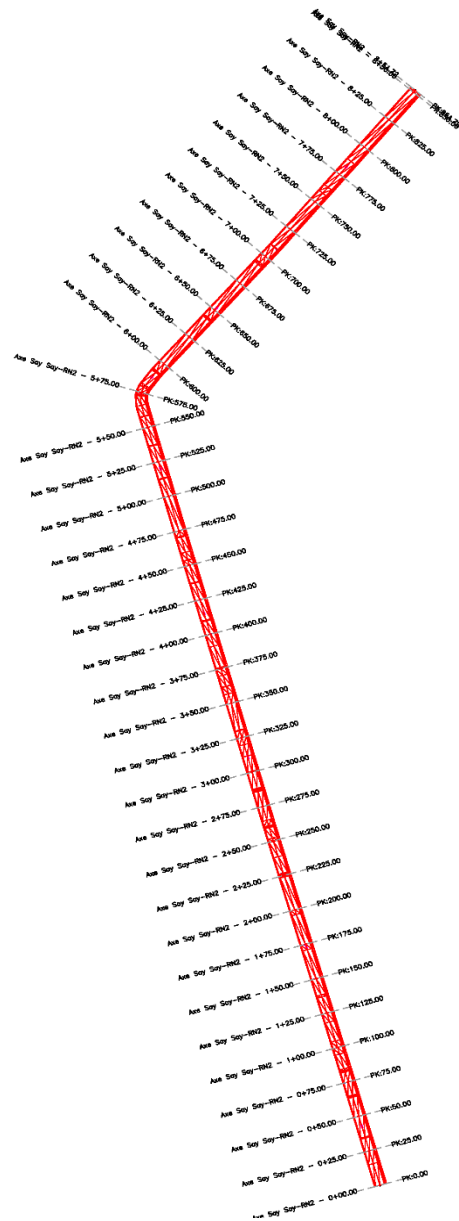


Figure III. 4 : Vue en plan du projet en étude

### III.3.2 Profil en long

Se situant sur les altitudes entre 1500.22m et 1513.43m dont une dénivellation totale de 13.21m, le profil en long se présente comme suit :

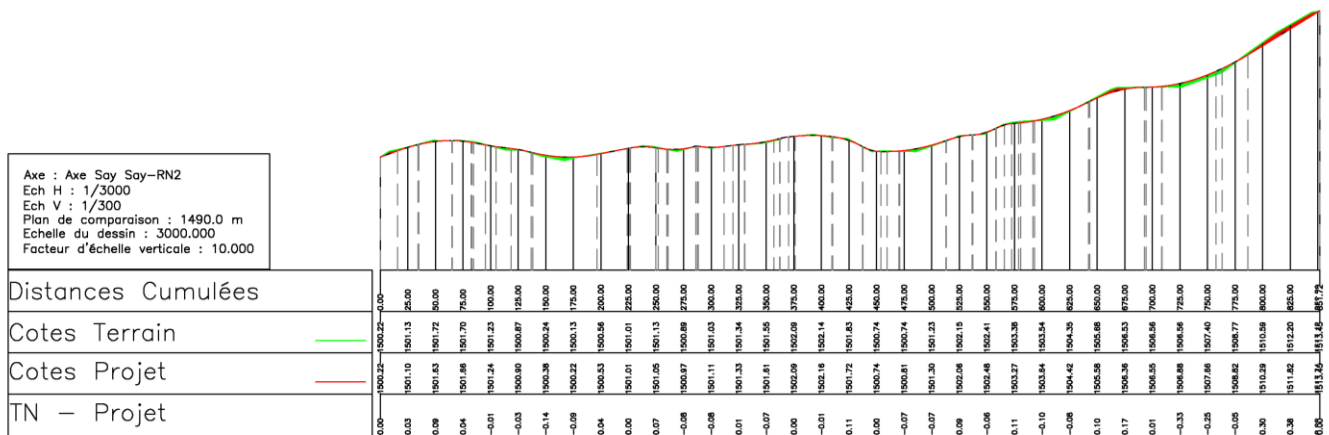


Figure III. 5 : Profil en long du projet en étude

### III.3.3 Profil en travers

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

- Plate-forme : elle a une largeur de 7.8 m ;
- La chaussée : elle est de type 2×1 dont chaque voie est de 3 m donc au total 6 m ;
- Dévers : ayant pour rôle de favoriser l'écoulement des eaux de surface, le dévers de 2% a été retenue ;
- Fossé triangulaire de 45cm de large et bordure de 15cm de large.

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

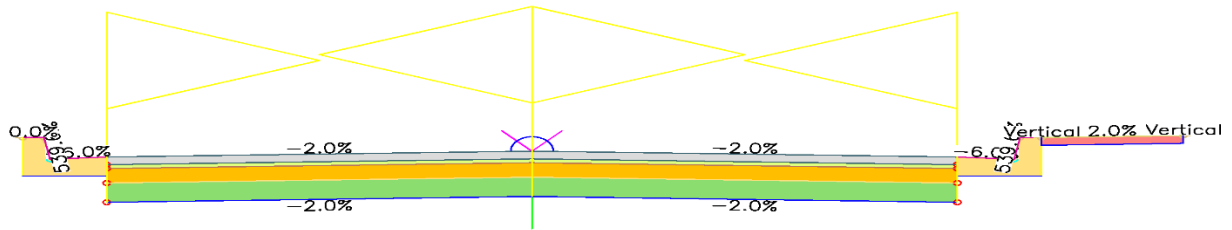


Figure III. 6 : Profil type du projet en étude

### III.4 Dimensionnement des ouvrages d'assainissement [6]

Ce travail se focalisera sur le dimensionnement du fossé triangulaire de type 2/1 et ½ illustrée à la Figure II. 3 dans le chapitre précédent.

#### III.4.1 Dimensionnement du fossé latéral

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

$$Q = VS = KSR^{2/3}i^{1/2}$$

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

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

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

En se référant sur les résultats du tableau II. 3 qui présente les capacités maximales en (l/s) des fossés triangulaires revêtues pour (h=0,60m), la capacité du fossé qui fera l'objet de ce travail est de 306 l/s.

Pour prévenir en des éventuels débordements de l'eau quand les débits dépassent la capacité du fossé, les fossés latéraux comporteront des ouvrages de décharges sur chaque 250 m.

### III.5 Dimensionnement structurel de la chaussée

#### III.5.1 Choix de la méthode de dimensionnement

Il est à signaler que les chaussées revêtues de pavés ont des caractéristiques qui s'apparentent des chaussées souples [20]. Ainsi en partant de cette équivalence nous pouvons partir du dimensionnement en chaussée souple vers une chaussée en pavés. D'une manière générale, ces méthodes sont utilisées en convertissant les couches de pavés et de lit de pose en une couche unique d'un matériau connu par un facteur d'équivalence.

La couche unique étant caractérisée par un module combiné du système "pavés + lit de pose" ça nous permet de faire recours aux méthodes de dimensionnement utilisées pour les chaussées souples. Ainsi, le CMA en 2004 a recensé divers facteurs d'équivalence et le matériau correspondant, présentés dans le *tableau III.1* :

**Tableau III. 1 : Résumé de différents facteurs d'équivalence du système "pavés + lit de pose" [6]**

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

##### III.5.1.1 Proposition de la structure selon le guide CEBTP

Pour le dimensionnement en se basant sur le guide du dimensionnement pour les pays tropicaux du CEBTP et Partant de la formule II.7 et du résultat du Tableau II. 5. Avec une durée de vie de 15 ans, un taux d'accroissement annuel du trafic de 4% et un coefficient d'agressivité moyen de 1 provenant du Tableau II. 4,

Le choix du résultat du tableau II.5 se justifie par le fait que les résultats obtenus dans le tableau par l'OVD en 2009 dans l'avenue du musée sont apparents à ceux observés sur ce tronçon, car ce tronçon est parfois utilisé en cas de déviation des véhicules.

D'où, N sera calculé de la manière suivante :

$$N = 365 - n - TMJA - CAM - \frac{(1 + i)^n - 1}{n}$$
$$N = 365 - 15 - 1773 - 1 - \frac{(1 + 0.04)^{15} - 1}{15}$$

N= 518326.584 ; Partant du tableau II.4 le trafic est de la classe T<sub>2</sub>

En se référant sur le guide de dimensionnement pour les pays tropicaux du CEBTP, pour un trafic T<sub>2</sub> et une portance S<sub>4</sub>, on a une constitution suivante [20] :

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

Pour adapter ces résultats au projet en étude, il est important de se référer sur une étude faite par l'interlocking concrete pavement Institute en 1995 qui dit qu'un revêtement constitué de pavés dont la hauteur est de 80mm reposant sur un lit de pose de 25mm est comparable à une épaisseur d'enrobé bitumineux de 105mm avec un module de 3100MPa [14].

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

En tenant compte du risque de poinçonnement présenté à la Figure II. 5 et celui du tassement pouvant résulter d'un choix du lit de pose très petit, des erreurs commises sur la charge d'exploitation et en intégrant le facteur de surcharges, il serait utile d'adopter ce qui suit :

- Un lit de pose d'une épaisseur de 4cm ;
- Un pavé de 15cm de longueur, 8cm d'épaisseur et 10cm de largeur ;
- La couche de base de 15 cm ;
- L'épaisseur de la fondation dépendra du profil sur lequel on se trouve.

Il est à souligner que les équivalences ci-haut concernent plus particulièrement les pavés en béton, le comportement des tous les pavés étant sensiblement proches, nous avons utilisé une même méthode de dimensionnement que pour les pavés en pierres naturelles en garantissant notre sécurité.

### III.6 Les cubatures

Le terrassement représente l'ensemble des opérations relatives des mouvements des terres dans la construction d'infrastructure routière et les mouvements des terres ont pour objectif de modifier la forme du terrain pour qu'il soit disponible à recevoir des ouvrages en terme général.

La modification de la forme du terrain naturel comporte deux actions, la première s'agit d'ajouter des terres qui est appelé remblai et la deuxième, il s'agit d'enlever des terres qui est appelé déblai. Le calcul des volumes des déblais et des remblais s'appelle "les cubatures des terrassements"

Il s'agit notamment sur les tracés de la route sont nécessaire et fréquemment constatées sur les profils en longs et les Profils en travers que ces actions constatées pour dégager les zones de déblais et de remblais.

#### III.6.1 Cubature de la couche de base

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

- Largeur de la plate-forme (7.8m) ;
- Longueur de la chaussée (851m) ;
- Epaisseur de la couche de base (15cm)

Après calcul, le volume est de 995.67 m<sup>3</sup>.

Pour les paves, les dimensions données sont telles que :

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

Pour calculer le nombre des pavés, il s'avère important de déterminer la surface de la chaussée et

la surface du trottoir car destine en pavés basaltiques également.

- La surface de la chaussée (SC) est donnée par :  $851\text{m} \times 6\text{m} = 5106\text{m}^2$
- La surface du trottoir(ST) :  $851\text{m} \times 1,2\text{m} = 1021,2\text{ m}^2$
- La surface d'un pavé(SP) :  $0,1\text{m} \times 0,15\text{m} = 0,015\text{ m}^2$

Le nombre de pavés total sera donné par :  $NP = \frac{SC+ST}{SP}$

$$NP = \frac{5106 + 1021,2}{0,015}$$

$$NP = \frac{5106 + 1021,2}{0,015}$$

D'où  $NP = 408\ 480$  pavés

### III.6.2 Trottoirs

En fin de permettre aux piétons de circuler aisément, les accotements de la chaussée seront en trottoir d'un côté de la chaussée. Le trottoir sera d'une dimension de 1.2 m de largeur. Ils seront construits en pavé en pierres. Les pavés seront déposés sur une base en gravier non traité. Les bordures de séparation de la chaussée avec les trottoirs seront en béton surélevé de 0.5 m de longueur sur 0.15m. Le **tableau III.2** donne la Structure de trottoir

*Tableau III. 2 : Structure du trottoir*

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

### III.6.3 Calcul de cubatures des terrassements

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

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

### III.6.3.1 Mouvement de terre

Le mouvement de terres est l'opération qui consiste, au moyen d'engins appropriés à effectuer le transport des terres de déblai (ou d'emprunt) en remblais (ou en dépôt) ou c'est l'étude des cubes à transporter et de la longueur de transport. Notons par  $V$  le volume des cubes à transporter et  $d$  la distance de transport.

Pour assurer l'économie des matériaux, les terres sont transportées des déblais vers les remblais et les excédents sont mis en dépôt. En cas d'insuffisance des déblais pour combler les remblais, on effectue des emprunts. Ces transports se font à des distances variables et parfois indéterminées. Le coût prix de transport est fonction du volume  $V$  et de la distance de transport  $d$ . Réalisé à l'aide du logiciel Autocad Civil 3D, les cubatures sont présentées par le **tableau III.3, III. 4 et III.5**

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

Table des volumes déblai/remblai totaux							
PK	Surface déblai	Vol déblai	Vol déblai cumulé	Surface remblai	Vol remblai	Vol remblai cumulé	Vol net
0.00	<b>3.32</b>	0	0	0.00	0	0	0
25.00	3.51	85	85	0.02	0	0	85
50.00	3.97	<b>94</b>	179	0.00	0	1	178
75.00	<b>3.48</b>	93	272	0.04	1	1	271
100.00	3.30	85	357	0.00	0	<b>2</b>	355
125.00	3.10	80	437	0.04	1	2	<b>435</b>
150.00	2.29	67	504	0.22	3	5	499
175.00	<b>2.64</b>	62	566	0.11	<b>4</b>	9	556
200.00	3.60	78	<b>644</b>	0.00	1	11	633
225.00	3.61	90	734	0.02	0	11	723
250.00	4.25	98	<b>832</b>	0.00	0	11	821
275.00	2.93	90	922	0.03	0	12	910
300.00	2.93	73	995	0.00	0	<b>12</b>	983
325.00	3.49	80	1075	0.00	0	12	1063
350.00	2.98	<b>81</b>	1156	0.04	1	<b>13</b>	<b>1143</b>
375.00	3.31	79	1235	0.23	3	16	1219
400.00	3.20	81	1316	0.18	5	21	1295
425.00	<b>4.13</b>	92	1408	0.00	2	23	<b>1384</b>
450.00	3.35	93	1501	0.00	0	23	1478
475.00	2.78	77	1578	0.03	0	<b>24</b>	1554
500.00	2.79	70	1647	0.01	0	<b>24</b>	1623
525.00	4.00	85	1732	0.00	0	<b>24</b>	1708
550.00	<b>2.84</b>	86	1818	0.15	2	26	1792
575.00	<b>4.13</b>	87	1905	0.05	2	28	1877
600.00	2.59	<b>84</b>	1989	0.28	<b>4</b>	<b>32</b>	1957
625.00	2.79	67	2056	0.26	7	39	2018
650.00	<b>4.06</b>	86	2142	0.08	<b>4</b>	<b>43</b>	2099
675.00	<b>4.50</b>	107	2249	0.08	2	45	2204
700.00	3.38	98	2347	0.26	<b>4</b>	49	2298
725.00	<b>1.18</b>	57	<b>2404</b>	0.51	<b>10</b>	59	<b>2345</b>
750.00	1.48	33	2438	0.33	10	70	2368
775.00	2.98	56	<b>2493</b>	0.26	7	77	2416
800.00	5.50	106	2599	0.00	3	80	2519
825.00	6.26	147	2746	0.00	0	80	2666
850.00	3.85	126	2873	0.30	<b>4</b>	<b>84</b>	2789
851.72	3.31	6	2879	0.38	1	85	2794

**Tableau III. 4 : Tableau des volumes des Couches obtenus par Autocad Civil 3D(1)**

<b>Roulement : Volume</b>				<b>Lit de pose: Volume</b>			
PK	Surface	Volume	Vol cumulé	PK	Surface	Volume	Vol cumulé
0.00	0.48	0	0	0.00	0,24	0	0
25.00	0.48	12	12	25.00	0,24	6	6
50.00	0.48	12	24	50.00	0,24	6	12
75.00	0.48	12	36	75.00	0,24	6	18
100.00	0.48	12	48	100.00	0,24	6	24
125.00	0.48	12	60	125.00	0,24	6	30
150.00	0.48	12	72	150.00	0,24	6	36
175.00	0.48	12	84	175.00	0,24	6	42
200.00	0.48	12	96	200.00	0,24	6	48
225.00	0.48	12	108	225.00	0,24	6	54
250.00	0.48	12	120	250.00	0,24	6	60
275.00	0.48	12	132	275.00	0,24	6	66
300.00	0.48	12	144	300.00	0,24	6	72
325.00	0.48	12	156	325.00	0,24	6	78
350.00	0.48	12	168	350.00	0,24	6	84
375.00	0.48	12	180	375.00	0,24	6	90
400.00	0.48	12	192	400.00	0,24	6	96
425.00	0.48	12	204	425.00	0,24	6	102
450.00	0.48	12	216	450.00	0,24	6	108
475.00	0.48	12	228	475.00	0,24	6	114
500.00	0.48	12	240	500.00	0,24	6	120
525.00	0.48	12	252	525.00	0,24	6	126
550.00	0.48	12	264	550.00	0,24	6	132
575.00	0.48	12	276	575.00	0,24	6	138
600.00	0.48	12	288	600.00	0,24	6	144
625.00	0.48	12	300	625.00	0,24	6	150
650.00	0.48	12	312	650.00	0,24	6	156
675.00	0.48	12	324	675.00	0,24	6	162
700.00	0.48	12	336	700.00	0,24	6	168
725.00	0.48	12	348	725.00	0,24	6	174
750.00	0.48	12	360	750.00	0,24	6	180
775.00	0.48	12	372	775.00	0,24	6	186
800.00	0.48	12	384	800.00	0,24	6	192
825.00	0.48	12	396	825.00	0,24	6	198
850.00	0.48	12	408	850.00	0,24	6	204
851.72	0.48		409	851.72	0,24	1	205

**Tableau III. 5 : Tableau des volumes des Couches obtenus par Autocad Civil 3D(2)**

Base : Volume				Fondation : Volume			
PK	Surface	Volume	Vol cumulé	PK	Surface	Volume	Vol cumulé
0.00	0.90	0	0	0.00	1.20	0	0
25.00	0.90	22	22	25.00	1.20	30	30
50.00	0.90	22	45	50.00	1.20	30	60
75.00	0.90	22	67	75.00	1.20	30	90
100.00	0.90	22	90	100.00	1.20	30	120
125.00	0.90	22	112	125.00	1.20	30	150
150.00	0.90	22	135	150.00	1.20	30	180
175.00	0.90	22	157	175.00	1.20	30	210
200.00	0.90	23	180	200.00	1.20	30	240
225.00	0.90	23	202	225.00	1.20	30	270
250.00	0.90	23	225	250.00	1.20	30	300
275.00	0.90	23	247	275.00	1.20	30	330
300.00	0.90	23	270	300.00	1.20	30	360
325.00	0.90	23	292	325.00	1.20	30	390
350.00	0.90	23	315	350.00	1.20	30	420
375.00	0.90	23	337	375.00	1.20	30	450
400.00	0.90	22	360	400.00	1.20	30	480
425.00	0.90	22	382	425.00	1.20	30	510
450.00	0.90	23	405	450.00	1.20	30	540
475.00	0.90	23	427	475.00	1.20	30	570
500.00	0.90	23	450	500.00	1.20	30	600
525.00	0.90	23	472	525.00	1.20	30	630
550.00	0.90	23	495	550.00	1.20	30	660
575.00	0.90	22	517	575.00	1.20	30	690
600.00	0.90	22	540	600.00	1.20	30	720
625.00	0.90	23	562	625.00	1.20	30	750
650.00	0.90	23	585	650.00	1.20	30	780
675.00	0.90	23	607	675.00	1.20	30	810
700.00	0.90	22	630	700.00	1.20	30	840
725.00	0.90	22	652	725.00	1.20	30	870
750.00	0.90	23	675	750.00	1.20	30	900
775.00	0.90	23	697	775.00	1.20	30	930
800.00	0.90	22	720	800.00	1.20	30	960
825.00	0.90	23	742	825.00	1.20	30	990
850.00	0.90	22	765	850.00	1.20	30	1020
851.72	0.90	2	767	851.72	1.20	2	1022

### **III.7 Conclusion partielle**

Après avoir traité sur l'aménagement du tronçon routier en étude, ce chapitre a permis d'avoir ses différents tracés, pour ce qui est du dimensionnement horizontal, il a permis d'avoir la capacité maximale que l'ouvrage peut écouler. Pour ce qui concerne le dimensionnement des ouvrages d'assainissement, il a permis d'avoir les épaisseurs des différentes couches qui constituent la chaussée ainsi que le volume de cubatures de la chaussée en étude.

## CONCLUSION GENERALE

La présente étude avait comme objectif primordial d'étudier l'aménagement d'une chaussée en pavés des pierres volcaniques. Cette étude a eu lieu sur le tronçon Entrée SAY SAY- route Goma Sake située dans le quartier kyeshore.

Cette étude est un fruit des plusieurs documentations, des connaissances acquises en route, des travaux antérieurs et du projet de pavage en cours dans la ville de GOMA, dans l'ultime souci d'apporter une meilleure solution pour résoudre les problèmes de stagnations des eaux pluviales observés dans ce tronçon en vue d'améliorer la qualité touristique de la ville. Il a été question de préconiser l'aménagement d'une chaussée en pavés de pierres volcaniques avec une durée de vie de 15 ans.

Il est important de remarquer que l'avènement des pavés en pierres volcaniques est une réponse pour améliorer les routes à faible trafic dans la ville de Goma et au même moment le caractère beauté de la ville de Goma.

Le choix de ce matériau a été fait aussi pour sa convenance technique et par le fait que les roches volcaniques retrouvées à GOMA présentent des caractéristiques physico-mécaniques satisfaisantes.

Dans la mesure où les chaussées revêtues de pavés ont un comportement qui s'apparente à celui des chaussées souples, les facteurs d'équivalence proposés par CMA ont été utilisés pour la conversion en une couche de pavé et lit de pose partant des épaisseurs des matériaux donnés par CEBTP.

Ainsi après le dimensionnement, les caractéristiques finales de notre projet : La route du projet est d'une longueur de 851m, avec une largeur de 8m, elle a une structure à 3 couches dont la couche de fondation de 20 cm, couche de base de 15 cm, une couche de lit de pose de 4cm et une couche de roulement en pavés (pierres volcaniques) de 15cm de longueur, 10cm de largeur et 8cm d'épaisseur.

Nous ne croyons pas avoir épuisé toutes à analyser de ce sujet et le travail étant fait par un être humain, nous ouvrons une piste à tout chercheur qui viendra nous compléter.

## REFERENCES

- [1] M. d. infrastructures, «Situation des infrastructures en RDC,» 26 Juin 2020. [En ligne]. Available: <http://www.celluinfra.org/index.php/le-ministère/situation-des-infrastructures-en-rdc>.
- [2] O. d. routes, "Présentation du réseau routier de la R.D.Congo à charge de l'office des routes," Jorochib, 2019. [Online]. Available: [http://www.officedesroutes.cd/reseau\\_routier\\_presentation.html](http://www.officedesroutes.cd/reseau_routier_presentation.html).
- [3] SAMBOUMBE, «Dimensionnement mécanique-empirique des structures de chaussée: application au tronçon Séo-Diourbel,» DAKAR: Université Cheikh Anta Diop, 2005-2006.
- [4] [«fr.m.wikipedia.org/wiki/Histoire\\_des\\_routes»](http://fr.m.wikipedia.org/wiki/Histoire_des_routes).
- [5] G.KASHALA, *Cours de routes G3 Génie Civil/FSTA*, Goma: inédit, 2022.
- [6] M. KASIVITA, «Etude d'aménagement d'une chaussée des pavées en pierres volcaniques: cas du tronçon routier hotel BONEZA-MUSEE,» Goma: Université libres de pays des grands lacs, 2021-2022.
- [7] OVD, *Role des infrastructures routières dans l'intégration économique et territoriale*, Mai 2008.
- [8] A. Christian, «Etude comparative des chaussées souples et pavées en pierre volcanique: cas du tronçon Arretcamus Salomon-Campus Salomon,» Goma: Université libre des pays des grands lacs, 2017-2018.
- [9] SETTRA, *Recommandations Technique pour la conception générale de la route*, 1994.
- [10] SETTRA, *Aménagement des routes principales: recommandations pour la conception et la géométrie*, 1994.
- [11] CIM béton, *Voiries et aménagements urbains en béton: Conception et dimensionnement*, vol 1, 2019.
- [12] J.-P. Leguary, *LA rue au Moyen AGE*, Ouest France, 1984.
- [13] C. d. e. d. r. d. l. d. Béton (CERIB), *Guide de pose des pavés, dalles et bordures préfabriqués en Béton*, vol. 2, Aout 2010.
- [14] J.BERTHIER, *Projet et construction de routes*.

- [15] SETRA, Comprendre les principaux paramètres de conception géométrique des routes, 2006.
- [16] Kronimus, «Conseil de pose des pavés,» [En ligne]. Available: [https://www.kronimus.fr/service-2/conseils-de-pose/..](https://www.kronimus.fr/service-2/conseils-de-pose/)
- [17] B. e. J. N.V.TUU, chez *Route et Hydraulique*, 1979, pp. pp.283-345.
- [18] CEBTP, Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, 1984.
- [19] E.S.OKOUNDE, Construction à l'utilisation des pierres en couches de roulement dans les chaussées urbaines des régions des collines et des montagnes au Bénin: possibilité des pavés en pierre, Institut International de l'eau et de l'environnement.
- [20] K. Bruno, «Conception et dimensionnement d'une route en pavé sise tronçon collège Mwanga-boulevard enock Nyamwisa Muvingi,» GOMA:ULPGL/RDC, 2020.
- [21] F. NGAPCUE, *Cours de mécanique de sols GOMA-ULPGL*, RDC, 2022.
- [22] S.Phinée, «Aménagement d'une route revetue: application sur le tronçon routier KATOYI-KIBARABARA,» GOMA ULPGL FSTA, 2017-2018.

# ANNEXES

« Etude d'aménagement d'une chaussée des pavées en pierres volcaniques  
: cas du tronçon Entrée Say Say-route GOMA SAKE

---

**Annexe 1**

Tableau 1 : Coordonnées métriques de l'axe principal de la chaussée aménagée

<b>Station</b>	<b>Northing</b>	<b>Easting</b>	<b>Tangential Direction</b>
0000.00	9816594.2847m	743779.2492m	N16° 00' 02.77"W
0025.00	9816618.3161m	743772.3579m	N16° 00' 02.77"W
0050.00	9816642.3476m	743765.4667m	N16° 00' 02.77"W
0075.00	9816666.3790m	743758.5754m	N16° 00' 02.77"W
0100.00	9816690.3892m	743751.6106m	N16° 15' 14.83"W
0125.00	9816714.3900m	743744.6131m	N16° 15' 14.83"W
0150.00	9816738.3907m	743737.6157m	N16° 15' 14.83"W
0175.00	9816762.3915m	743730.6182m	N16° 15' 14.83"W
0200.00	9816786.3922m	743723.6208m	N16° 15' 14.83"W
0225.00	9816810.3929m	743716.6233m	N16° 15' 14.83"W
0250.00	9816834.3937m	743709.6259m	N16° 15' 14.83"W
0275.00	9816858.4210m	743702.7207m	N15° 52' 38.94"W
0300.00	9816882.4672m	743695.8811m	N15° 52' 38.94"W
0325.00	9816906.5134m	743689.0416m	N15° 52' 38.94"W
0350.00	9816930.5597m	743682.2021m	N15° 52' 38.94"W
0375.00	9816954.6045m	743675.3578m	N15° 53' 34.93"W
0400.00	9816978.6489m	743668.5117m	N15° 53' 34.93"W
0425.00	9817002.6933m	743661.6657m	N15° 53' 34.93"W
0450.00	9817026.7376m	743654.8196m	N15° 53' 34.93"W
0475.00	9817050.7851m	743647.9846m	N15° 44' 27.75"W
0500.00	9817074.8476m	743641.2024m	N15° 44' 27.75"W
0525.00	9817098.9100m	743634.4201m	N15° 44' 27.75"W
0550.00	9817122.9725m	743627.6379m	N15° 44' 27.75"W
0575.00	9817147.2533m	743623.4052m	N16° 50' 09.28"E
0600.00	9817167.3459m	743638.0524m	N41° 32' 57.07"E
0625.00	9817186.0556m	743654.6340m	N41° 32' 57.07"E
0650.00	9817204.7652m	743671.2156m	N41° 32' 57.07"E
0675.00	9817223.4749m	743687.7971m	N41° 32' 57.07"E
0700.00	9817242.1846m	743704.3787m	N41° 32' 57.07"E
0725.00	9817261.1547m	743720.6591m	N40° 08' 29.05"E
0750.00	9817280.2661m	743736.7760m	N40° 08' 29.05"E
0775.00	9817299.3775m	743752.8929m	N40° 08' 29.05"E
0800.00	9817318.4889m	743769.0098m	N40° 08' 29.05"E
0825.00	9817337.6003m	743785.1267m	N40° 08' 29.05"E
0850.00	9817356.7116m	743801.2436m	N40° 08' 29.05"E

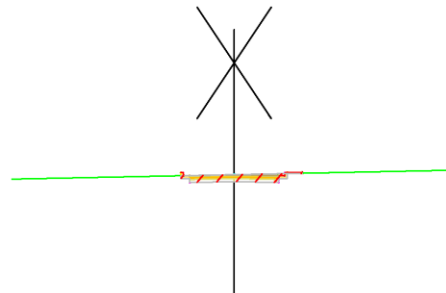
« Etude d'aménagement d'une chaussée des pavées en pierres volcaniques  
: cas du tronçon Entrée Say Say-route GOMA SAKE

---

**Annexe 2**

**Profil en travers courant**

PL : Axe Say Say-RN2  
 PT : Axe Say Say-RN2 - 0+00.00  
 PK : 0.00m  
 Ech H : 1/500  
 Ech V : 1/500  
 PC : 1492.0



	Distances	1499.92 -15.00	1500.22 0.00	1500.52 15.00
Altitudes TN		1499.92	1500.22	1500.52
	Distances		1500.76 -3.60	
Altitudes Projet		1499.92	1500.22	1500.52
	Distances		1499.75 0.00	
Altitudes Assise		1499.92	1499.75	1500.52

### Annexe 3

Tableau 2 : synthèse de résultats des essais pour les échantillons de MUNIGI et MUGUNGA [20]

<b>A</b>	<b>NATURE DE MATERIAUX</b>	<b>Scories volcaniques</b>
1	Provenance	MUNIGI
2	Granulométrie <input type="checkbox"/> Diamètre maximal mm <input type="checkbox"/> Passant au 0,8 AFNOR	50 1
3	Limite d'Atterberg : WL	30%
4	Poids spécifique des grains solides	2,34
5	Compactage <input type="checkbox"/> Teneur en eau optimal <input type="checkbox"/> Densité sèche max en T/m <sup>3</sup>	21% 1,25
6	Portance : gonflement <input type="checkbox"/> Indice CBR à 95% de L'OPM et à 4 jours d'immersion	- 21
<b>B</b>	<b>NATURE DE MATERIAUX</b>	<b>GNT concassés</b>
1	Provenance	MUGUNGA
2	Granulométrie <input type="checkbox"/> Diamètre maximal mm <input type="checkbox"/> Passant au 0,8 AFNOR	40 5
3	Equivalent de sable	57%
4	Poids spécifique des grains solides	2,94
5	Compactage : <input type="checkbox"/> Teneur en eau optimal <input type="checkbox"/> Densité sèche max T/m <sup>3</sup>	8,7% 2,15
6	Portance : Gonflement <input type="checkbox"/> Indice CBR à 95% de L'OPM et à 4 jours d'immersion	- 51

**Annexe 4**

Guide pratique de dimensionnement CEBTP [5]

TRAFICS T <sub>1</sub> - T <sub>2</sub>		S <sub>1</sub>		S <sub>2</sub>		S <sub>3</sub>		S <sub>4</sub>		S <sub>5</sub>	
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
REVÊTEMENT		Bc ou 3E	4E ou Tc	Bc ou 3E	4E ou Tc	Bc ou 3E	4E ou Tc	Bc ou 3E	4E ou Tc	Bc ou 3E	4E ou Tc
B	Graveleux latéritique naturel	15	15	15	15	15	15	15	15	25	25
F	Graveleux latéritique naturel	45	45	35	35	25	30	15	20	0	0
B	Graveleux latéritique ou grave naturelle améliorés au ciment	15	15	15	15	15	15	15	15	20	20
F	Graveleux latéritique naturel ou grave naturelle O/D	40	45	30	35	25	25	15	20	0	0

GUIDE PRATIQUE DE DIMENSIONNEMENT

B	Concassé o/d	15	15	15	15	15	15	15	15	20	20
F	Graveleux latéritique naturel ou grave naturelle O/D ou concassé o/d	40	45	30	35	25	25	15	20	0	0
B F	Concassé o/d	50	55	30	35	25	30	25	30	20	20
B	Graveleux latéritique ou grave naturelle ou concassé o/d**	20	20	20	20	20	20	20	20	25	25
F	Sable argileux	40	40	30	30	25	25	15	20	0	0
B	Sable argileux amélioré au ciment*	15	20	15	20	15	20	15	20	15	20
F	Sable argileux	40	45	30	35	20	25	15	20	10	15

\*\* 15 cm au lieu de 20 cm; 20 cm au lieu de 25 cm, si on utilise du concassé o/d.

DES CHAUSSÉES POUR LES PAYS TROPICAUX

« Etude d'aménagement d'une chaussée des pavées en pierres volcaniques  
: cas du tronçon Entrée Say Say-route GOMA SAKE

TRAFICS $T_1 - T_2$		S <sub>1</sub>		S <sub>2</sub>		S <sub>3</sub>		S <sub>4</sub>		S <sub>5</sub>	
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
REVÊTEMENT		Bc ou 3E	4E ou Tc	Bc ou 3E	4E ou Tc	Bc ou 3E	4E ou Tc	Bc ou 3E	4E ou Tc	Bc ou 3E	4E ou Tc
B	Sable bitume *	12	15	12	15	12	15	12	15	12	15
F	Sable argileux	40	45	30	30	20	25	15	20	0	0
B	Sol chaux *	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
F	Sable argileux	40	45	30	30	20	25	15	20	0	0
B	Sable bitume *	12	15	12	15	12	15	12	15	12	15

GUIDE PRATIQUE DE DIMENSIONNEMENT

F	Sol chaux	20	20	15	20	15	20	15	15	0	0
B	Concassé o/d	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
F	Sol chaux	20	20	15	20	15	20	15	15	0	0
B	Scories volcaniques (pouzzolanes) sélectionnées* ou concassé o/d	15	15	15	15	15	15	15	15	20	20
F	Scories volcaniques (pouzzolanes)	45	50	30	40	25	25	15	20	0	0
B	Béton de sol (graveleux latéritique + O/D ou + d/D concassé)	15	15	15	15	15	15	15	15	20	20
F	Graveleux latéritique	45	45	35	35	25	25	15	20	0	0
B	Banco-coquillage amélioré au bitume *	10	<del>X</del>	10	<del>X</del>	10	<del>X</del>	10	<del>X</del>	12	<del>X</del>
F	Banco-coquillage	45	<del>X</del>	30	<del>X</del>	20	<del>X</del>	15	<del>X</del>	0	<del>X</del>

DES CHAUSSÉES POUR LES PAYS TROPICAUX