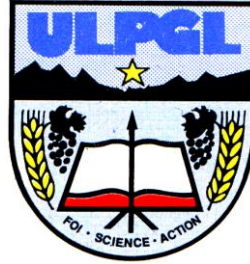


**UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS**  
**FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES**  
**APPLIQUEES**



BP. 368 GOMA

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

**Département de Génie Civil**

**AMENAGEMENT D'UNE CHAUSSEE EN PAVES**  
**BASALTIQUES**

**<< Cas du tronçon Tshengerero-Lusangi à Goma >>**

Travail présenté en vue de l'obtention du Diplôme de  
Gradué en Sciences Appliquées

Par : **BENGI-BABUYA BWIRIRE Ines**

**Directeur** : Dr. AMBOKO MUHIWA Benjamin

**Encadreur** : Ass SYAITSUTWA Patrick

**ANNEE ACADEMIQUE 2021 – 2022**

## **PIGRAPHE**

*« Le succès est un chemin que la patience et le travail rendent accessible »*

**Pierre-Simon Ballanche**

## **REMERCIEMENTS**

Notre gratitude en premier lieu, s'adresse au créateur, maître des temps et des circonstances, pour le souffle de vie, l'intelligence et toutes les grâces qu'il nous accorde gratuitement.

Nous remercions l'Université Libre des Pays des Grands Lacs, ULPGL/Goma, qui nous forme ainsi que tout le personnel académique et administratif de la faculté des sciences appliquées, en particulier le Dr. AMBOKO MUHIWA Benjamin, notre directeur, ainsi que l'Ass. SYAITSUTWA Patrick notre encadreur, qui nous ont guidé et accompagné dans la réalisation de ce dit travail, nous permettant ainsi d'acquérir des notions complémentaires à notre formation.

Nos remerciements s'adressent également à nos parents, Maurice BWIRIRE et Francesca FERUZI pour l'amour, le soutien tant moral que matériel qu'ils nous ont donné pour que nous arrivions à ce stade.

Nos sentiments de gratitude s'en vont à nos frères et sœurs, pour avoir toujours été à nos côtés et encouragé surtout pendant la réalisation de ce dit travail. Nous vous portons dans notre cœur.

Il nous serait ingrat de ne pas reconnaître les efforts des différentes personnes qui ont d'une manière ou d'une autre contribué de près ou de loin aussi bien à l'aboutissement qu'à la réalisation du présent travail.

Enfin notre reconnaissance va à l'endroit de nos amis de promotion pour leur solidarité et leur sens du partage, mille merci à vous.

## **SIGLES ET ABBREVIATIONS**

AASHTO: American Association State Highways Transportation Officials

A.P. : Avant-Projet

APS : Avant-Projet Sommaire

BA : Béton Armé

BB : Béton Bitumineux

CBR : Californian Bearing Ratio

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

GNT : Granulats Non Traités

MTLH : Matériaux Traités aux Liants Hydrauliques

OR : Office des Routes

OVG : Office Volcanologique de Goma

PF : Plate-Forme

Pk : Point Kilométrique

PL : Poids Lourds

SOCOC Sarl : Société Congolaise de Construction, Société à Responsabilité Limitée

TPC : Terre-Plein-Central

ULPGL : Université Libre des Pays de Grands Lacs

## **LISTE DES TABLEAUX**

<i>Tableau 2.1. Schémas d'itinérance .....</i>	<i>18</i>
<i>Tableau 2.2. Valeurs du coefficient de ruissellement .....</i>	<i>24</i>
<i>Tableau 2.3. Structure prise en compte .....</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 2.4. Classes de trafic .....</i>	<i>29</i>
<i>Tableau 2.5. Classification Française des sols .....</i>	<i>30</i>
<i>Tableau 3.1. Cubatures de différentes couches .....</i>	<i>34</i>
<i>Tableau 3.2. structure du trottoir .....</i>	<i>36</i>
<i>Tableau 3.3. Cubatures Déblai Remblais .....</i>	<i>37</i>
<i>Tableau 4.1. Coordonnées topographiques du tronçon.....</i>	<i>42</i>

## LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1.1. Éléments structuraux de la chaussée</i> .....	3
<i>Figure 1.2. Profil en travers d'une route</i> .....	4
<i>Figure 1.3. Cycle d'évolution des roches</i> .....	8
<i>Figure 1.4.structures de la chaussée revêtue en pavés</i> .....	11
<i>Figure 1.5. Effet de la hauteur du lit de pose sur la déformation du revêtement sous l'effet des charges des routes</i> .....	13
<i>Figure 1.6. Lors des pluies ou d'entretien, les eaux pénètrent les joints</i> .....	14
<i>Figure 1.7. Les pressions sur les pavés expulsent l'eau et le sable du bas de la chaussée</i> .....	14
<i>Figure 1.8. Les sables sont expulsés et déposés sur les pavés</i> .....	14
<i>Figure 2.1. Plan de situation</i> .....	17
<i>Figure 2.2.variation du devers</i> .....	21
<i>Figure 2.3. Allure du profil en long du projet. Source : civil 3D</i> .....	22
<i>Figure 2.4. Profil en travers courant du projet. Source : civil 3D</i> .....	23
<i>Figure 2.5. Classes de trafic PL retenues pour les différentes vocations des voies</i> .....	29
<i>Figure 4.1. Pente de la route</i> .....	44
<i>Figure 4.2. Tracé en plan et courbes de niveaux</i> .....	45
<i>Figure 4.3. Profil en travers type</i> .....	46
<i>Figure 4.4. Profil en travers courant</i> .....	46
<i>Figure 4.5. Profil en long</i> .....	47
<i>Figure 4.6. Tracé en plan</i> .....	48

## SOMMAIRE

EPIGRAPHE.....	i
REMERCIEMENTS.....	ii
SIGLES ET ABBREVIATIONS.....	iii
LISTE DES TABLEAUX .....	iv
LISTE DES FIGURES .....	v
SOMMAIRE.....	vi
INTRODUCTION GENERALE .....	1
Chapitre 1 : GÉNÉRALITÉS .....	3
I.1. GENERALITES SUR LES ROUTES [1].....	3
a. Terminologie routière.....	3
b. Structure routière .....	5
I.2. GENERALITES SUR LES PIERRES VOLCANIQUES [3].....	6
a. Définition .....	6
b. Origine des roches .....	6
c. Classification des roches .....	7
d. Etude de la roche volcanique de Goma .....	8
I.3. GENERALITES SUR LE PAVAGE .....	8
a. Le pavage .....	9
b. Eléments intervenants dans la réalisation d'une chaussée en pavés basaltiques [6]	11
c. Eléments du choix de la pierre naturelle dans le pavage [7].....	15
I.4. CONCLUSION PARTIELLE .....	16
Chapitre 2 : METHODOLOGIE DU TRAVAIL .....	17
II.1. PRÉSENTATION DU SITE.....	17

a. Vue aérienne.....	17
b. Schémas d'itinérance.....	18
II.2. ETUDE TOPOGRAPHIQUE.....	18
a. Terminologie [8].....	18
b. Tracé routier [1].....	19
c. Les caractéristiques géométriques d'une route [1].....	20
II.3. ETUDE HYDRAULIQUE.....	23
a. Fossé de drainage.....	23
b. Evacuation des eaux sur la chaussée.....	23
II.4. METHODES DE DIMENSIONNEMENT.....	24
1) Les méthodes rationnelles.....	25
2) Les méthodes empiriques.....	25
II.5. CHOIX DES MATERIAUX ET DIMENSIONS DES COUCHES.....	26
a. Choix des matériaux.....	26
b. Paramètres pris en compte dans la détermination des dimensions des couches....	27
c. Accroissement du trafic.....	30
d. Choix de la méthode de dimensionnement.....	30
II.6. BREF APERCU DU LOGICIEL AutoCAD Civil 3D.....	30
II.7. CONCLUSION PARTIELLE.....	31
Chapitre 3 : AMENAGEMENT DU TRONCON CONSIDERE.....	32
III.1. DIMENSIONNEMENT.....	32
a) Eléments de dimensionnement.....	32
b) Proposition de structure selon le guide CEBTP.....	33
a) Cubatures de différentes couches.....	34
b) Mise en œuvre des trottoirs.....	36
III.2. CUBATURE DES MATERIAUX.....	36
1. Identification des gisements des matériaux.....	36
2. Utilisation des matériaux.....	36
3. Calculs des volumes.....	37

III.3. CONCLUSION PARTIELLE .....	38
CONCLUSION GENERALE .....	40
BIBLIOGRAPHIE .....	41
ANNEXES .....	42
Annexe 1 : Relevés topographiques du tronçon en étude .....	42
Annexe 2 : Les profils et courbes de niveaux .....	44

## INTRODUCTION GENERALE

### ❖ Contexte

La route, connue pour sa très grande influence dans le développement économique, social et tant d'autres, est une infrastructure de communication terrestre permettant de relier un point A à un point B et d'assurer la circulation des véhicules automoteurs dans les conditions suffisantes de confort. Ce dernier faisant allusion à l'état de surface (de revêtement) des routes ; en réalité, les routes peuvent être en terre, revêtues en pavés, macadamisées etc. [1]

Le revêtement de chaussée en pavés qui fait l'objet de notre travail, a conquis l'Europe au cours de dernières décennies avec le développement des voies piétonnes dans les centres villes. En Afrique et plus particulièrement en RDC, dans la ville-province de Kinshasa, le revêtement de chaussée en pavés débuta avec le recyclage des déchets plastiques afin de les utiliser comme pavés. Présentement, cette pratique s'opère dans différentes villes du pays, notamment à Goma [2].

### ❖ Problématique

La route est le mode de transport le moins couteux et le plus confiant pour l'épanouissement d'un pays, par contre l'état des routes de la RDC, et plus particulièrement celles de la ville de Goma, demeure toujours un sujet de doute et de questionnement. Etant une ville moderne, elle devrait en avoir d'autant plus qu'elle a à sa disposition des ressources en pierres étant une ville volcanique.

En jugeant les systèmes de drainage de la ville de Goma, la gestion des eaux de pluie engendre des difficultés capitales comme l'insalubrité, la pollution de l'atmosphère, la destruction des ouvrages d'art, les maladies, la mauvaise circulation routière et piétonne, le mauvais déroulement d'activités, etc. Le tronçon *Tshengerero-Lusangi* ne fait pas exception. La dégradation avancée de ce tronçon serait due à une absence d'ouvrage de drainage et d'assainissement permettant d'évacuer rapidement les eaux des pluies. C'est dans cette suite d'idées que notre travail a été initié.

### ❖ Questions de recherche

La connaissance de l'état de cette route entraine la formulation de deux questions de recherche : Serait-ce possible de recourir à l'usage de roches basaltiques pour effectuer le pavage du tronçon (Rue *Tshengerero-Lusangi*) en considérant tous les paramètres techniques de conception de l'aménagement d'une voie routière ? L'eau étant le principal sujet de dégradation de ce tronçon, que faire pour y remédier ?

### ❖ Hypothèses

Hypothétiquement, la prédiction des solutions à ces questions peut aller dans le sens où se basant sur les cours de Routes, d'Hydrologie et d'Hydraulique : Il serait possible non seulement d'adopter une solution de pavage en pierres basaltiques grâce à de la disponibilité de ce matériau et le

faible coût de sa réalisation mais aussi d'envisager un système de drainage des eaux stagnantes à ce niveau qui pourrait répondre aux exigences et normes d'ingénierie afin de remédier au problème de stagnation.

### ❖ **Intérêt**

Le choix de ce sujet fut justifié par l'état de cette rue, ne répondant à aucune norme de construction des routes contemporaines. Ceci se démontre par l'absence d'ouvrages d'assainissement pour évacuer les eaux de précipitation, et une circulation inconfortable du trafic. Il y a donc intérêt de songer à son aménagement de par son importance tant urbaine qu'infra structurale.

### ❖ **Objectif**

Nous traitons ce sujet en poursuivant comme objectif spécifique l'aménagement de ce tronçon en pavés lui permettant de respecter les normes routières et réguler ainsi le trafic tout en usant d'une construction d'ouvrage d'évacuation des eaux pluviales stagnantes afin d'assainir ce tronçon.

### ❖ **Méthodologie**

Afin d'accéder à ces objectifs, les méthodes et techniques suivantes nous seront essentielles : primo, la méthode inductive favorisera un raisonnement s'appuyant sur les principes et lois qui seront en harmonie avec les faits et réalités observés ; secundo, la technique documentaire permettra d'appréhender les différentes notions par la consultation de différentes études liées à ce sujet.

### ❖ **Subdivision du travail**

Concernant les parties essentielles de ce travail, hors l'introduction et la conclusion générales, il est subdivisé en trois chapitres suivants :

- Le chapitre premier, présente les généralités sur les voies routières ;
- Le chapitre second s'intéressera à la méthodologie du travail ;
- Le chapitre dernier sera relatif à l'aménagement du tronçon en étude.

## Chapitre 1: GÉNÉRALITÉS

Dans ce chapitre, il sera question de présenter les généralités sur les infrastructures routières ainsi que sur les matériaux, et ensuite, fixer les idées par rapport à la compréhension de certaines notions intervenant dans la construction des routes.

### I.1. GENERALITES SUR LES ROUTES [1]

#### a. Terminologie routière

A ce niveau, nous proposons quelques idées en rapport avec la compréhension de certains vocabulaires relatifs à la construction routière :

- 1) **La chaussée** : géométriquement, la chaussée est la partie de la route sur laquelle circulent les véhicules ; structurellement, il s'agit d'un tout formé de différentes couches structurales d'une route comprenant de haut en bas : les couches de surfaces (les couches de liaison et de roulement), les couches d'assises (couches de base et de fondation) et la plate-forme support de la chaussée (sol support et la couche de forme).

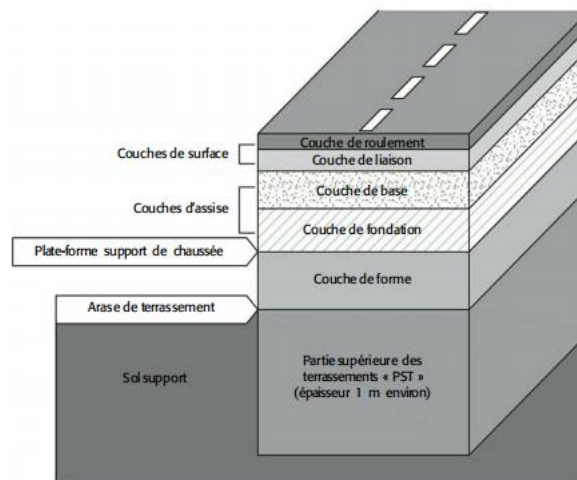


Figure 1.1. Éléments structuraux de la chaussée

- 2) **L'accotement** : est une partie de la plateforme aménagée entre la chaussée et le talus, et dont la largeur varie entre 1 et 3 mètres.
- 3) **La plate-Forme** : est la surface de la route comprenant une ou plusieurs chaussées, les accotements et éventuellement une TPC (Terre-Plein-Central). Structurellement, la PF est la couche de  $\pm 30$  cm au-dessus de l'arase de la partie supérieure de terrassement.
- 4) **L'assiette** : est la surface de terrain réellement occupée par la route et ses annexes.

- 5) **L'emprise** : est la surface du terrain affectée à la route et ses dépendances de manière juridique.
- 6) **Le fossé** : est une excavation aménageable de chaque côté d'une PF et dont le rôle est d'assainir la PF en collectant les eaux de ruissèlement.
- 7) **Routes-en déblais ou en remblais** : une route est dite en déblais lorsqu'elle est construite en dessous du terrain naturel, et en remblais dans l'autre cas.
- 8) **Le devers** : est une inclinaison transversale de la route.
- 9) **Le talus** : est la partie de la route entre l'accotement et le fossé. Il peut être en remblais ou en déblais.
- 10) **Ouvrages de drainage** : il s'agit d'ouvrages en BA ou en béton ayant pour rôle l'évacuation des eaux de ruissèlement hors de l'emprise.
- 11) **Ouvrages d'assainissement** : il s'agit d'ouvrages en BA ou en béton ayant pour rôle de protéger l'emprise des effets nocifs de l'eau.
- 12) **Exutoire** : fossé de grande dimension permettant de recueillir les eaux collectées par le dispositif de drainage dans le but d'évacuer de la route les eaux de ruissèlement.
- 13) **Trottoirs** : habituellement séparés de la chaussée par des bordures surélevées, ce sont des accotements particulièrement conçus pour la mobilité piétonne.
- 14) **Bordure** : dispositifs en béton utilisés pour séparer la chaussée des trottoirs.
- 15) **Banquette** : est une surélévation aménagée à la limite extérieure de l'accotement pour la sécurité des usagers.

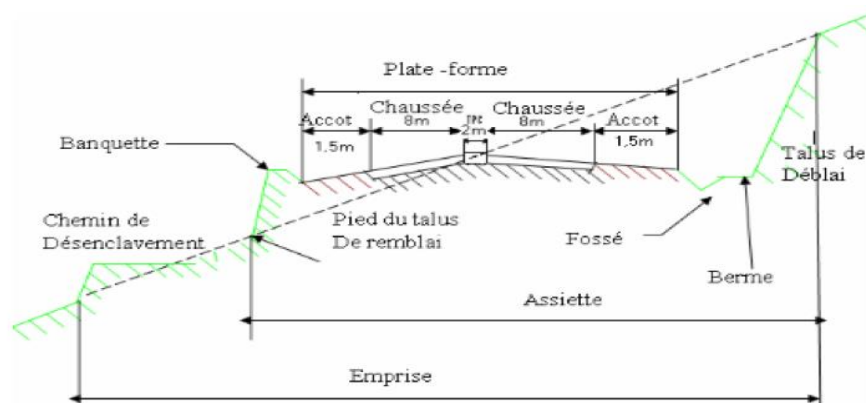


Figure 1.2. Profil en travers d'une route

## **b. Structure routière**

Ce point se focalisera non seulement à la compréhension structurale de la chaussée mais aussi à la classification des structures des chaussées.

### **1) Composition structurale d'une chaussée**

Du point de vue structural, la chaussée est un ouvrage composé d'un système multicouche, chacune d'entre elles ayant un rôle important.

#### **A. La couche de revêtement**

La couche de roulement ou le revêtement est une couche de surface faite généralement en BB (béton bitumineux) dans les pays tropicaux et en béton de ciment dans les pays nordiques à cause du froid.

Elle joue des rôles tant structuraux que fonctionnel : elle assure la distribution de la charge et est étanche (elle empêche la pénétration des eaux) ; elle apporte le confort au roulement et l'adhérence pneumatique-chaussée. Elle offre également une bonne apparence à la chaussée et un support au marquage.

#### **B. La couche de base**

Il s'agit d'une couche d'assise faite en latérites non traités. Si le niveau de trafic est élevé, on peut se tourner vers la latérite ciment. Il est aussi acceptable d'utiliser les GNT pour cette couche. Elle joue différents rôles dont la distribution des charges, le drainage, elle sert de surface de drainage pour la mise en place de la couche de roulement.

#### **C. La couche de fondation**

Comme matériau pour cette couche, on peut utiliser la latérite, la GNT, la latérite-ciment ou le grave bitume. Parmi les rôles qu'elle joue nous pouvons citer : le drainage de la couche de base, il empêche la contamination du sol support à la couche de base, distribue les charges, atténue les effets de gel-dégel dans les pays nordiques, assure le passage infrastructure-couche de base.

### **2) Classification des structures des chaussées**

Selon la norme Française, on distingue six catégories des chaussées :

#### **▪ Les chaussées ou structures souples**

Ces types de structures ont une épaisseur totale de la couverture bitumineuse inférieure ou égale à 12 cm reposant sur une assise d'une ou plusieurs couches de GNT d'épaisseur totale supérieure ou égale à 15 cm.

- **Les chaussées ou structures bitumineuses**

Ici, les couches de surface et de base sont en matériaux bitumineux tandis que celle de fondation peut être en matériaux bitumineux ou en GNT.

- **Les chaussées semi-rigides**

Les couches de surface sont en matériaux bitumineux reposant sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques, MTLH.

- **Structures mixtes**

Les couches d'assises sont constituées de deux matériaux différents ; la couche de base est en matériaux bitumineux et celle de fondation en MTLH.

- **Structures inverses**

Les couches d'assise sont constituées d'une couche de base en matériaux bitumineux reposant sur une couche intermédiaire en GNT d'épaisseur comprise entre 10 et 12 cm reposant elle-même sur une couche de fondation en MTLH.

- **Structures rigides**

Ces types de structures quant à elles comportent une couche en béton de ciment d'au moins 12cm. Les couches de base et de roulement peuvent former une seule et même couche appelée **couche de base-roulement**.

## **1.2. GENERALITES SUR LES PIERRES VOLCANIQUES [3]**

### **a. Définition**

Une roche est un matériau constitutif de l'écorce terrestre formée le plus souvent d'un assemblage de minéraux présentant une certaine homogénéité statistique (les mêmes caractéristiques) ; le plus souvent dur et cohérent (pierre, caillou), parfois plastique (argile), ou meuble (sable), à la limite liquide (pétrole) ou gazeuse (méthane).

### **b. Origine des roches**

Toutes les roches, à part celles venues de l'espace, ont eu une même origine : le *magma* qui est un bain naturel de silicate en fusion, pouvant contenir des fragments des roches ou des roches en suspension. La teneur en  $SiO_2$  (silice) varie de 40 à 75%.

A travers un cycle géologique, le magma passe par des transformations chimiques et physiques pour afin donner trois grands groupes des roches.

### **c. Classification des roches**

Les roches sont subdivisées en trois grandes catégories :

- Les roches magmatiques,
  - Les roches sédimentaires et
  - Les roches métamorphiques
- **Les roches magmatiques ou ignées** : résultent de la cristallisation de magmas en surface (volcanisme=roches volcaniques) ou en profondeur (plutonisme=roches plutoniques). Il s'agit de la solidification de la roche liquide, lave à l'intérieur ou à l'extérieur de la couche terrestre. Il existe trois sortes de roches magmatiques suivant le lieu de la solidification : **les roches magmatiques plutoniques ou intrusives, les roches semi-intrusives et les roches volcaniques ou effusives**. Ces dernières se solidifient à la surface terrestre après éruption volcanique. Les roches magmatiques sont généralement plus dures et résistent à l'usure. Les plus courantes sont le *granite* et le *basalte*. La famille de granites représente 95% des roches plutoniques et les basaltes 90% des roches volcaniques.
  - **Les roches sédimentaires** : se forment à la surface de la terre et représentent 5% en volume de la croûte terrestre couvrant ainsi 75% de la surface ; toujours d'origine secondaire, elles proviennent de l'altération des roches préexistantes, magmatiques, métamorphiques ou déjà sédimentaires. On distingue deux sortes de roches sédimentaires : les **roches détritiques** (résultant de l'accumulation des restes des roches arrachées à la surface de la terre) et les **roches physico-chimiques ou biogènes** (formées par des dépôts des minuscules particules d'eau saturée).
  - **Les roches métamorphiques** : constituent un peu plus d'un quart de la croûte terrestre. Le métamorphisme est la transformation d'une roche à l'état solide du fait d'une augmentation de température et/ou de pression, avec souvent cristallisation de nouveaux minéraux et acquisition de textures particulières (ex : schistosité). La roche de départ peut être n'importe quelle roche (magmatique, sédimentaire ou métamorphique). Les roches métamorphiques se forment dans les zones de déformation intense de la croûte terrestre. Parmi les roches métamorphiques nous pouvons citer : le gneiss (transformation d'un granite), le marbre (transformation d'un calcaire), le quartzite (transformation d'un grès).

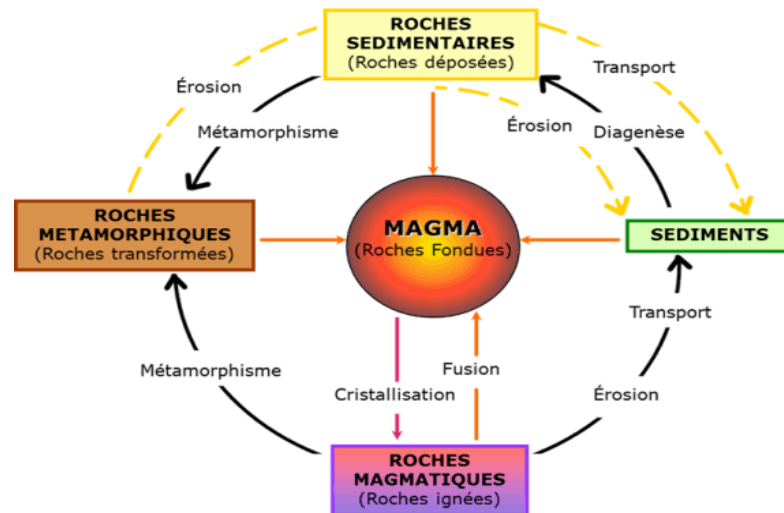


Figure 1.3. Cycle d'évolution des roches

#### d. Etude de la roche volcanique de Goma

Suite aux éruptions des volcans formant la chaîne de Virunga, Goma a plusieurs fois été recouvert des laves qui sont à la base de la formation des roches constituant son massif.

Les roches retrouvées à Goma émanent des éruptions courantes du Nyiragongo ; ce sont des basaltes car elles proviennent d'une lave basaltique dans des conditions exigées. De cela sans oublier que les roches volcaniques peuvent après un temps subir des transformations et devenir petit à petit des roches sédimentaires ou métamorphiques.

### I.3. GENERALITES SUR LE PAVAGE

Le revêtement en pavés basaltiques est un revêtement discontinu constitué de pavés basaltiques séparés par de joints généralement remplis de sable permettant de combler les vides laissés par les pavés, cet ensemble repose sur un lit de pose. Le transfert de charge d'un pavé est assuré par la présence de ces joints, offrant alors à la structure le comportement d'une chaussée.

D'après l'histoire, nous constatons que le pavage des chaussées existe bien avant l'emploi du goudron et du bitume dans les travaux routiers.

Le caractère discontinu de ce type de revêtement présente non seulement des avantages mais aussi des inconvénients sur le plan structural de la chaussée qui sont différents de ceux observés sur les chaussées revêtues de béton ou d'enrobé bitumineux. Du point de vue économique, la maintenance du revêtement en pavés entraîne un coût global inférieur à celui des revêtements bitumineux. En effet, pour le pavage, seule la zone endommagée peut être démontée pour l'entretien puis être réinstallée. Du point de vue sécurité des usagers, la texture de la surface des pavés favorise une bonne résistance au dérapage. Le revêtement des pavés basaltiques diminue également la distance de freinage de 5m à l'état mouillé pour les véhicules à 60km/h.

## **a. Le pavage**

### **1. Terminologie sur les éléments de pavage [4]**

- 1) **Pavage** : revêtement formé de pavés liés par des joints, reposant sur un lit de pose en sable stabilisé ou non.
- 2) **Joints** : intervalles se trouvant entre les blocs de pavé.
- 3) **Lit de pose** : couche de sable interposée entre le revêtement et l'assise.
- 4) **Sable stabilisé** : sable mélangé au liant hydraulique, ciment afin de le rendre plus résistant, rigide.
- 5) **Assise** : base d'une chaussée constituée de la fondation et de la couche de base.
- 6) **Orniérage** : déformation permanente longitudinale de la chaussée caractérisée par un tassement différentiel de la chaussée se créant au passage répété des roues.
- 7) **Déflexion** : modification progressive d'une position ou d'une trajectoire sous l'effet d'un phénomène physique.

### **2. Types de pavage**

- ***Le pavage à sec***

Le pavage à sec est un pavage réalisé sans élément de liaison. Il s'agit d'une disposition esthétique bien réalisée des pavés sans aucun élément de liaison entre eux.

- ***Le pavé par liant***

Un pavage est dit par liant, lorsque pour sa réalisation un élément de liaison est utilisé pour assurer le maintien et ainsi une plus grande rigidité de l'ensemble pavé plus le liant. Cet élément de liaison peut être un mortier, un sable stabilisé au polymère, au ciment, un bitume, ou alors une colle maintenant les pavés les uns contre les autres pour assurer une rigidité de l'ensemble.

Ce type de pavage est utilisé pour de milieux à fort trafic exigeant une très grande transmission des efforts dans le sol, suite à des très grands engins qui peuvent y passer.

En général, pour ces deux méthodes ; la procédure débute avec la préparation du terrain qui recevra le pavage avec :

- La stabilisation, s'il s'agit d'un sol non cohérent
- Le renforcement, si c'est une terre à faible portance
- Le remblayage et le déblayage pour uniformiser la surface

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

Les pavés peuvent être quant à eux en plusieurs matériaux, à savoir :

- Les pierres naturelles ou manufacturées
- Les briques et briquettes

### **3. Production des pavés [5]**

La production des pavés passe par une suite d'opérations : l'extraction, la transformation et la diffusion de produit avec des différentes techniques suivant la nature de la roche. Parler de la production des pavés revient à parler de carrière, d'extraction et de la transformation.

#### ***a) Carrière***

Une carrière est un site ± vaste de substance minérale non métallique et non énergétique dont la nature, la quantité et le cubage sont économiquement exploitables. Du point de vue géologique, les matériaux principaux constituant les carrières des roches sont : les roches sédimentaires, les roches cristallines dont les roches magmatiques plutoniques (les granites), les roches magmatiques effusives (basaltes) et les roches métamorphiques (gneiss).

Il existe de façons diverses de classer l'exploitation des carrières ; elles sont classées en fonction du :

- Mode d'exploitation : les carrières à ciel ouvert, les carrières en souterrain.
- Mode de consistance des roches : carrières de roches massives, celles des roches meubles, celles des roches pulvérulentes.
- Mode rapport avec le niveau d'eau : carrière à sec et carrière en eau, ...

#### ***b) Extraction de la pierre naturelle***

Si la carrière est assez bonne pour une production satisfaisante au besoin d'obtention des pavés, on peut amorcer le processus d'extraction.

Il existe différents procédés d'extraction suivant le type de pierre :

- **L'extraction par explosif** : utilisée principalement pour le granite avec trois étapes de dégrossissage dont le découpage, le débitage facilitant le transport et enfin le taillage.

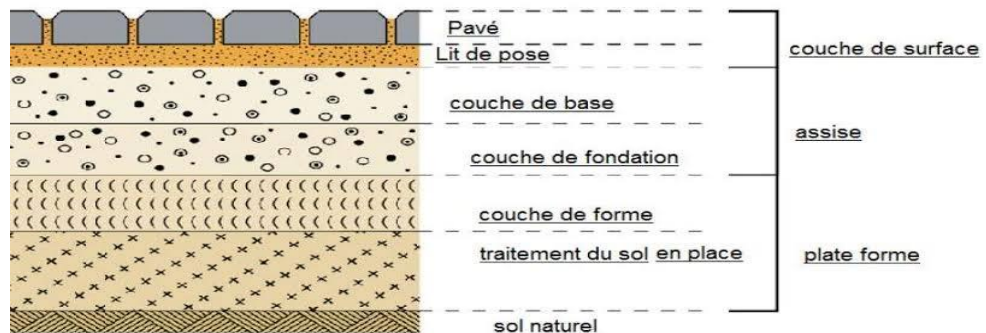
- **L'extraction par découpage** : utilisation d'un fil diamanté qui découpe la roche. L'abatage de bloc se fait par utilisation d'**oreiller** pour séparer les blocs du massif, un lit de terre est mis en place pour réceptionner le bloc de pierre.

**c) Transformation ou façonnage à l'usine**

A Goma l'extraction des pierres se fait artisanalement dans des carrières à ciel ouvert. Un carter hydraulique ou une foreuse est utilisé pour séparer une petite masse de pierre du massif. Ces petites masses sont achetées en camions bennes pour servir dans la construction des fondations des bâtiments, des clôtures, et servent aussi de remblais en dessous de la couche de pavement. La ville étant battue au-dessus d'une pierre, l'exploitation de cette dernière se fait partout. Parmi les carrières trouvées dans la ville de Goma, nous pouvons citer la carrière de *Turunga* et celle de *Mubambiro* qui sont à ciel ouvert.

**b. Eléments intervenants dans la réalisation d'une chaussée en pavés basaltiques [6]**

Les éléments constitutifs de la chaussée (pavés, lit de pose, joints, bordures, assise) sont importants vis-à-vis de la performance de celle-ci. Les matériaux doivent être sélectionnés convenablement et les épaisseurs des couches proprement décidées dans le but de garantir une bonne tenue de la chaussée. D'où la nécessité de parler dans la suite, des éléments intervenant dans la réalisation de cette chaussée.



**Figure 1.4.structures de la chaussée revêtue en pavés**

**1. Les pavés**

Les pavés remplacent la couche des enrobés dans le revêtement des chaussées en pavés, généralement de forme parallélépipédique pour les pierres naturelles, ils ont donc en plus d'une hauteur et différentes surfaces : supérieure, inférieure et latérale.

La hauteur d'un pavé assure un rôle crucial dans le transfert de charge et donc dans le développement de l'orniérage. Plus elle est faible plus l'orniérage est important. Cette

hauteur influe également sur la déflexion, plus elle est élevée, plus la friction est grande impliquant ainsi un meilleur transfert des charges.

Sous l'effet du trafic, les pavés unissent le mouvement de translation et celui de rotation. Le mouvement de pavés les uns par rapport aux autres, dépend donc du type d'appareillage utilisé. Pour limiter la déflexion de la chaussée, l'appareillage en chevron des pavés semble être le meilleur moyen. Cet appareillage de chevron sera donc choisi pour notre projet.

Malgré la même origine des pierres présentes à Goma, il existe une grande différence sur le niveau d'aspect extérieur de la pierre. Ce dernier est fonction de plusieurs paramètres :

- Le refroidissement : en général il peut être soit rapide, soit lent. Un refroidissement très rapide donne lieu à des roches très poreuses, très fragiles, moins lourdes, faciles à travailler et moins résistantes aux pressions externes ; tandis qu'un refroidissement lent donne naissance à des roches moins poreuses et donc plus compactes et denses, avec une grande résistance aux pressions externes et difficile à adoucir.
- La pression : joue un rôle très important dans la formation des roches du fait qu'elle détermine les conditions de refroidissement de la roche.
- La résistance : le matériau de la couche de roulement sera soumis à une compression alternée due au trafic sur la chaussée et un cisaillement dû à la rotation des roues motrices et réceptrices.

Il est donc évident que pour la couche de roulement, les roches avec refroidissement lent, moins poreuses sont de choix de par leurs qualités mécaniques.

## **2. Les joints**

Ils assurent un rôle prépondérant dans la bonne tenue de revêtement de pavés basaltiques car ce sont eux qui permettent le transfert de charge d'un pavé à un autre. Pour plusieurs formes d'appareillage et de pavés, les joints ont une influence majeure. En effet, la déformation est maximale lorsque le joint se vide et pour un joint rempli à moins de 75% de la hauteur de pavés, la déformation verticale est élevée.

Concernant la granulométrie, pour obtenir une bonne performance de la chaussée, un joint large nécessite un sable grossier et un joint fin un sable fin. La taille de joint optimale dépend de la qualité du sable utilisé.

### **3. Les bordures**

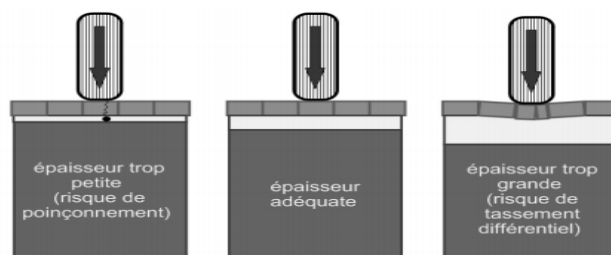
Elles doivent être correctement installées afin de prévenir les déplacements latéraux des pavés et ainsi éviter au sable des joints et du lit de pose d'être évacué, ce qui provoquerait une perte structurale du revêtement. Pour une même taille de joint, l'absence des bordures augmente grandement la valeur de la déflexion du fait que les pavés ne sont pas retenus et peuvent tourner et bouger les uns par rapport aux autres.

Les bordures peuvent être payés auprès des vendeurs de la place ou alors être fabriquées par les exécutants.

### **4. Le lit de pose**

Etant donné que l'orniérage est la principale dégradation relevée en ce qui concerne les chaussées revêtues en pavés, le lit de pose joue un rôle prépondérant quant à la tenue du revêtement et au comportement de ce type de chaussée.

Une hauteur de lit de pose convenable est un facteur important. CIMbeton (2002) propose une schématisation de l'effet de la hauteur du lit de pose présentée à la figure ci-dessous. Si l'épaisseur est trop faible, les pavés risquent de subir un poinçonnement sous l'effet de la charge alors qu'une épaisseur trop élevée risque d'engendrer un tassement différentiel.



***Figure 1.5. Effet de la hauteur du lit de pose sur la déformation du revêtement sous l'effet des charges des routes***

Une des exigences très capitales pour la construction d'une chaussée revêtue des pavés basaltiques est la perméabilité. La couche de lit de pose doit être au moins 3 à 4 fois supérieure à la taille de grain maximum. De même, une grande épaisseur du lit de pose n'assure toujours pas une bonne dispersion de la contrainte, l'épaisseur du sable doit être aussi faible que possible après compactage ( $\pm 4$  cm) afin d'éviter les déformations potentielles du revêtement tout en évitant les risques de poinçonnement des pavés. Il est donc conseillé de choisir un lit de pose optimal pour ne pas avoir de croissance de risque de déflexion.

Pour ce qui est de la perméabilité du lit de pose, lorsque le module de finesse augmente, la perméabilité diminue grandement.

Lorsque l'eau pénètre le lit de pose et que le sable atteint son point de saturation, le passage des véhicules crée une vibration qui modifie la disposition des grains comme le présente les figures 6,7 et 8. Ainsi, l'eau libre se retrouve expulsée entre le dessous des pavés et le dessus du lit de pose [2].

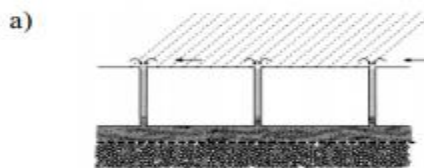


Figure 1.6. Lors des pluies ou d'entretien, les eaux pénètrent les joints

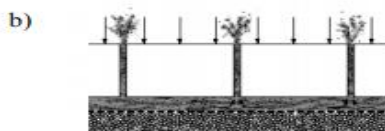


Figure 1.7. Les pressions sur les pavés expulsent l'eau et le sable du bas de la chaussée

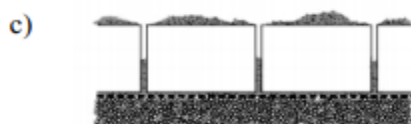


Figure 1.8. Les sables sont expulsés et déposés sur les pavés

La perméabilité du sable du lit de pose est un facteur très important pour une chaussée revêtue des pavés. C'est pourquoi le revêtement de pavés doit être convenablement dimensionné et mis en place de sorte que le lit de pose ne soit pas affecté par l'humidité.

Le choix de son matériau est très important afin de maintenir la structure dans les bonnes conditions.

## 5. Les assises

La distribution de contraintes sous l'effet de la charge est différente selon le type de fondation considérée. De manière générale, la déflexion mesurée dans le cas de fondation granulaire est plus importante que dans le cas d'une fondation stabilisée pour un même chargement. L'étude menée par *Festa et Coll* (1996) montre que le déplacement vertical de la fondation granulaire sous l'effet de la charge est 1/3 plus élevé que dans le cas d'une fondation stabilisée. De ce fait, dans le cas de trafic important l'utilisation de la fondation stabilisée est recommandée.

Les expériences montrent qu'une structure stabilisée en bitume subit moins d'orniérage et de rupture dans les pavés qu'une structure stabilisée en ciment. De plus, l'état de la face supérieure des fondations montre que dans le cas de stabilisation au ciment, la surface présente une fissure pouvant provoquer une perte de sable du lit de pose.

Pour l'*Interlocking Concrete Pavement Institute* (1995), les épaisseurs de fondations minimales sont de : 75 mm pour une fondation stabilisée au ciment, 100 mm pour une fondation stabilisée au bitume, 100 à 150 mm pour une fondation granulaire.

## **c. Eléments du choix de la pierre naturelle dans le pavage [7]**

### **1. Point de vue technique**

- **Influence du type de revêtement sur la consommation du carburant (frottement) :** la diversité des matériaux détermine l'influence du frottement. Il sera donc question d'éviter les pierres naturelles à grandes irrégularités dans les zones de grandes circulations afin de diminuer la consommation d'énergie due au frottement.
- **Caractéristiques des performances physiques (fissuration, fatigue, rigidité, ...) :** il faudra éviter obligatoirement tout motif de détérioration. Ceci ayant une influence directe sur la durabilité et le coût financier et permettant ainsi la réalisation des économies de matière et d'énergie.
- **Mise en œuvre :** les finitions raffinées et multiples des surfaces assurent une mise en œuvre esthétique et sécuritaire. Les pavés présentent l'avantage d'être démonté et remonté partiellement sans laisser de trace.
- **Conditions d'adhérence :** l'adhérence des pierres naturelles est moyenne et ceci plus en cas des pluies ; le risque de glissement est important, d'où la nécessité de traiter les surfaces afin de les rendre non glissantes.
- **Importance du trafic :** les pavés naturels sont normalement utilisés sur les places et voiries locales ou le trafic est moins lourd et plus lent. A condition bien sûr de satisfaire aux autres critères tels que les mesures d'anti-glissance, le confort et la sécurité des usagers.

### **2. Point de vue environnemental**

- **Qualité acoustique :** les facteurs responsables de bruit du trafic routier sont importants et vont de qualité du trafic aux matériaux utilisés. Le bruit provenant du contact chaussée-pneumatique est présent dès le cas de revêtement des pavés basaltiques, et ce pour tout type de vitesse de passage. Le type de finitions de la surface de pavés peut influencer les résultats des niveaux sonores. La réalisation d'une surface en pavés basaltiques avec joints recouverts d'asphalte octroi l'avantage de diminuer l'impact sonore par rapport à un jointement au sable ou simplement ouvert.
- **Possibilité de réemploi et de recyclage du matériau :** les pierres sont presque toutes réutilisables ou recyclables, aussi bien après simple démontage et trie (pavés et dalles de pierres naturelles) qu'après retraitement de la surface de finition. La durée de vie de la pierre doit également être prise en compte et l'on favorisera, à ce point, les pierres

qui pourront facilement être utilisées comme les pavés les plus durs. La réutilisation des pierres naturelles est simple et la récupération aisée moyennant le nettoyage. Les éléments inutilisables seront broyés et utilisés comme concassés.

- **Emission du CO<sub>2</sub> et consommation de l'énergie :** à son extraction dans les carrières, la pierre naturelle est déjà prête à la transformation et au découpage pour son emploi final. Elle requiert donc très peu d'énergie pour sa transformation. Celle-ci n'usant d'aucun produit ou adjuvant, demande uniquement de l'eau pour le débitage et le sciage. 100% de la matière première extraite est utilisée, les mauvaises pierres servent de concassés, matériaux de remblais, ... la proximité géographique entre les lieux d'extraction et les chantiers de construction permet de réduire le transport et limiter ainsi la répulsion de CO<sub>2</sub> dans l'air.
- **Analyse du cycle de vie :** les analyses du cycle de vie de différents revêtements doivent être consultées en priorité car elles offrent la précision sur l'impact environnemental des matériaux. Le cycle de vie des pavés basaltiques est généralement affecté par la résistance aux poids lourds (PL), les matériaux les plus durs supportent mieux les PL.

#### **I.4. CONCLUSION PARTIELLE**

Dans ce chapitre, nous avons produit quelques notions relatives à la construction routière. L'étude géologique étant essentielle, a aussi été exposée commençant par une étude élémentaire des roches en général et des roches basaltiques de GOMA en particulier. Les roches magmatiques ou volcaniques étant très abondantes dans la région, elles seront très utiles dans la fabrication des pavés, au vue de leur disponibilité, elles seront choisies comme matière première pour ce travail. Nous avons également fixé des idées par rapport à la production des pavés et à la compréhension des éléments qui interviennent dans le pavage.

## Chapitre 2 : METHODOLOGIE DU TRAVAIL

Dans ce chapitre, nous commencerons par la présentation du site avec une prise de vue satellite du tronçon considéré. Suivront ensuite les études topographique et hydraulique. Nous présenterons également les différentes méthodes de dimensionnement d'une chaussée et finirons avec un bref aperçu du logiciel AutoCad Civil 3D.

### II.1. PRÉSENTATION DU SITE

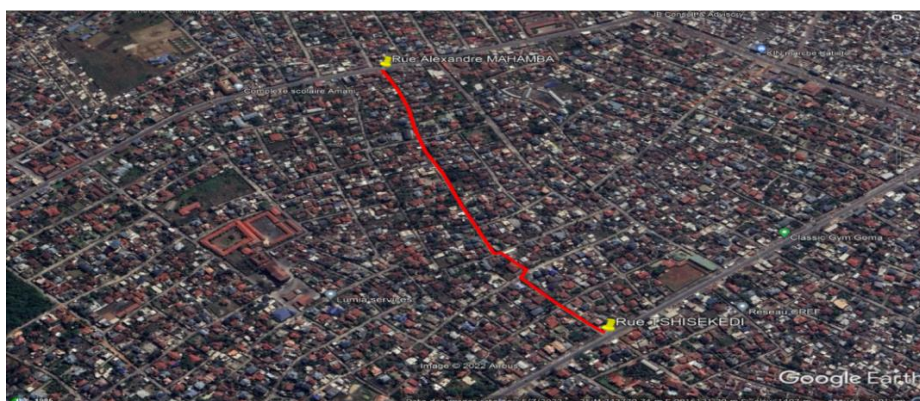
#### a. Vue aérienne

Le tronçon en étude se trouve dans la ville de Goma, capitale administrative de la province du Nord-Kivu. S'élevant à environ 1500 mètres d'altitude dans la vallée du Rift, Goma s'étend sur la rive nord du lac Kivu, au centre d'un amphithéâtre dessiné par la chaîne volcanique de Virunga, elle est bâtie sur les anciennes coulées de lave du volcan Nyiragongo qui la domine de près de 2000 mètres plus au nord ; c'est pourquoi la plate-forme de la ville est une roche basaltique très dure servant généralement de couche de fondation lors des implantations des routes revêtues. Au sud de la ville, c'est le lac Kivu qui sert d'exutoire principal pour toutes les eaux de ruissellement. À l'Est, nous avons la république du Rwanda et à l'Ouest le territoire de *Masisi*.

Elle comprend deux communes à savoir :

- La commune de Goma ;
- La commune de Karisimbi.

Le tronçon faisant l'objet de cette étude se trouve dans la commune de Goma, quartier Himbi 2, avenue De la mission. Il est appelé Rue *Thengerero-Lusangi* joignant la route Alexandre MAHAMBÀ à la route Felix Antoine TSHISEKEDI en passant par l'ancien hôtel Lusangi. La figure 8 présente l'image satellite obtenu au moyen du logiciel Google earth Pro du tronçon en étude.



*Figure 2.1. Plan de situation*

## b. Schémas d'itinérance

Tableau 2.1. Schémas d'itinérance

PK	Declivite	Sol	Largeur	Hydrologie
0-100	Pente	Scorie volcanique	6	Eau stagnante
100-200	Rampe	Scorie volcanique	7	Eau stagnante
200-300	Pente	Scorie volcanique	8	RAS
300-400	Rampe	Scorie volcanique	8	RAS
400-500	Pente	Scorie volcanique	7	Eau stagnante
500-600	Pente	Scorie volcanique	7	RAS
600-700	Rampe	Scorie volcanique	6	Eau stagnante
700-800	Rampe	Scorie volcanique	7	RAS
800-900	Pente	Scorie volcanique	8	Eau stagnante
900-961	Pente	Scorie volcanique	8	Eau stagnante

La route en étude fait 961 m de long (source : Google Earth Pro) et présente certaines caractéristiques : Elle n'est pas revêtue et présente des nids de poule, une inégalité des surfaces par endroit. Elle possède une largeur moyenne et peu de courbure et ne possède pas d'ouvrages hydrauliques, ce qui serait la cause majeure de l'apparition des flaques d'eaux stagnantes lors des pluies qui nuisent parfois à la circulation des piétons et des véhicules automoteurs. Par ailleurs, un canal d'évacuation des eaux se trouve sur la rue Antoine Félix TSHISEKEDI, qui est l'une des extrémités de notre tronçon.

## II.2. ETUDE TOPOGRAPHIQUE

### a. Terminologie [8]

1. **Topographie** : association de topos et de *graphein* qui, en grec, signifie décrire. C'est donc la science qui donne les moyens de représentation graphique ou numérique d'une surface terrestre. La personne qui exerce la topographie est le **topographe**.
2. **La cartographie** est l'art de dessiner des cartes avec un souci artistique

3. **La géodésie** s'appuie sur la topographie, elle s'occupe de la détermination mathématique de la forme de la route.
4. **Le tracé en plan** : tracer une route en plan consiste à dessiner ou tracer une vue en plan de la route correspondant alors à une projection orthogonale de l'ouvrage de l'ouvrage sur un plan horizontal.
5. **Le tracé/profil longitudinal** : le profil en long de la route est une coupe verticale du sol naturel et du projet selon l'axe du tracé du terrain. Ainsi, il comprend deux opérations, le tracé altimétrique du terrain naturel dit **ligne noire**, et celui du projet dit **ligne rouge**.
6. **Le profil en travers** est une coupe transversale du sol naturel et du projet normalement à l'axe du tracé en plan. Comme pour le profil longitudinal, le tracé d'un profil transversal de la route comprend le tracé altimétrique du terrain naturel et celui du projet.
7. **Courbe de niveau** est l'intersection de la surface topographique avec le plan horizontal.

## **b. Tracé routier [1]**

Les tracés d'une route comprennent plusieurs opérations dont les plus importantes sont les suivantes :

- La collecte des informations, données topographiques existantes ;
- Le tracé en plan, tracé longitudinal et le tracé de profil d'une route en APS (avant-projet sommaire) ; il s'agit ici d'élaborer plusieurs variantes du projet, d'apprécier leur faisabilité technico-économique et de retenir deux ou trois variantes pour un approfondissement ultérieur en phase d'A.P.
- Le levé topographique complémentaire sur le terrain selon l'information disponible et le besoin dégagé en APS ;
- La mise à jour ou l'actualisation des tracés retenus en APS et l'étude comparative dans le but de dégager la variante à approfondir dans la phase du projet ;
- La détermination des tracés définitifs en phase du projet plus précisément le tracé des courbes de raccordement des parties droites et le tracé du réseau de drainage ;

- La matérialisation du projet sur terrain ou phase de piquetage.

### **c. Les caractéristiques géométriques d'une route [1]**

Les caractéristiques géométriques d'une route sont illustrées par le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers.

#### **i. Tracé en plan et courbe de niveau**

##### **➤ Courbe de niveau**

La courbe de niveau est, en topographie, la ligne formée des points du relief sur une même altitude. Pour dessiner les courbes de niveau, procéder par une découpe du terrain en tranches pour la projection sur papier.

L'épaisseur des tranches étant constante (équidistance des courbes), elle est indiquée dans la cartouche de la carte. A chaque cinq ou dix courbes, une courbe maitresse est dessinée en gras avec une indication de son étude. Ses chiffres étant toujours indiqués dans le sens de la montée.

##### **➤ Tracé en plan**

Tracer une route en plan revient à dessiner ou à tracer une vue en plan de la route ; pour cela tout débute par le tracé de la polygonale plane de la route.

En effet, la polygonale routière est une succession de segments de droites (alignement droit) reliant différents points de passage obligé ou passage technique, points dictés le plus souvent par la présence des ponts, ouvrages d'art et tunnels. Ces segments de droite sont raccordés par des courbes qui sont soit des cercles ou soit des clothoïdes (courbes à courbures progressives). Cependant, la distance droite reste la plus courte entre deux points et partant théoriquement la plus économique.

Il est normal, pour le confort et la sécurité, de raccorder ces différentes droites par une courbe appropriée donnant le maximum de confort sans oublier l'incidence économique du type de raccordement choisi. L'utilisation des éléments géométriques se trouve principalement dans les conditions de conduite qu'ils offrent aux usagers.

Le tracé en plan est donc une succession de droite et de courbes. De façon générale, il existe deux principaux types de raccordement :

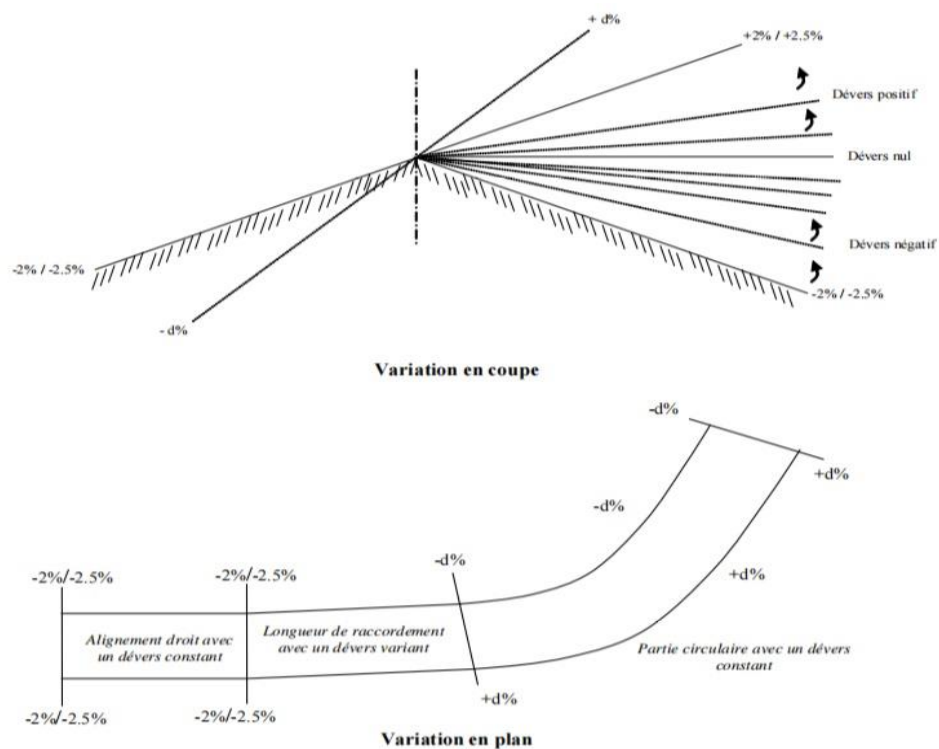
- **Le raccordement circulaire** : dans ce cas de raccordement, on n'a pas besoin de rattraper un quelconque devers. Le rayon de raccordement étant suffisamment grand

pour que la chaussée soit non déversée en courbe, mais il faudrait absolument que le rayon choisi  $R$  soit supérieur ou égal au rayon non déversé  $RH'$ .

La courbe de raccordement la plus simple et la plus pratique est le cercle. Le tracé du cercle de raccordement demande la connaissance de certains paramètres, notamment le centre du cercle et son rayon  $R$ , ou la tangente et les coordonnées sur la tangente, ou encore la corde et les coordonnées sur la corde.

- **Le raccordement progressif ( $R < RH'$ ) :** c'est l'introduction du devers consistant à amener une demi-chaussée d'un devers négatif à un devers positif en passant par le devers nul : passage d'un devers d'alignement droit à un devers correspondant au rayon de de courbure de virage.

En vertu de la définition de la force centrifuge, on passe d'une force  $F_c=0$  à une force  $F_c \neq 0$ , en outre, l'introduction brusque de l'accélération entraîne un choc qui peut générer l'inconfort des passagers ou l'instabilité du véhicule. Cette dernière est d'autant plus risquée que la vitesse est grande. Pour pallier à cela, placer entre tronçon droit et cercle de raccordement une courbe progressive, passant de façon continue et progressive de  $R$  infini à  $R$  fini.



**Figure 2.2.variation du devers**

## ii. Profil en long

Etant une coupe verticale du sol naturel et du projet selon l'axe du tracé en plan, le tracé longitudinal de la route comprend deux opérations principales comme citées ci-haut ; la ligne noire et la ligne rouge. Les éléments se trouvant sur un profil en long ont comme objectif, fournir tous les renseignements nécessaires concernant les distances et l'altimétrie des points caractéristiques du terrain naturel et du projet.

Le profil en long est une succession de rampes (montées) et de pentes (descentes) raccordées par des éléments circulaires ou paraboliques. Les pentes et les rampes sont appelées les déclivités, leurs valeurs étant fonction de la vitesse de référence.

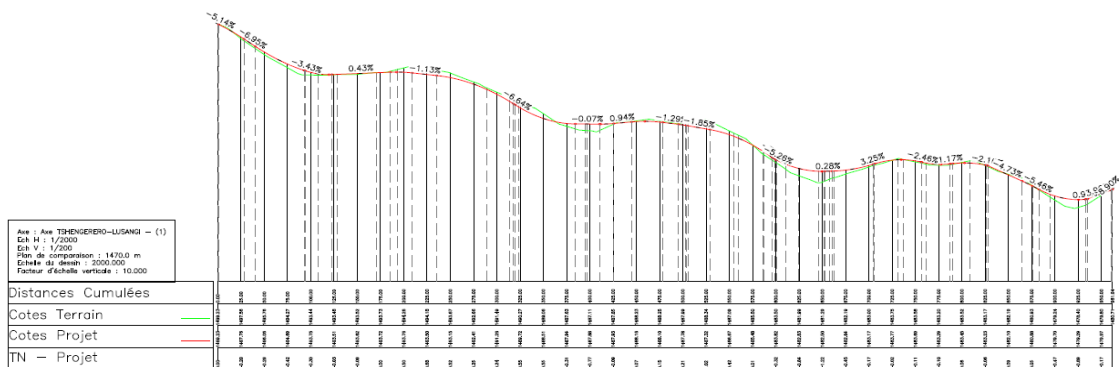


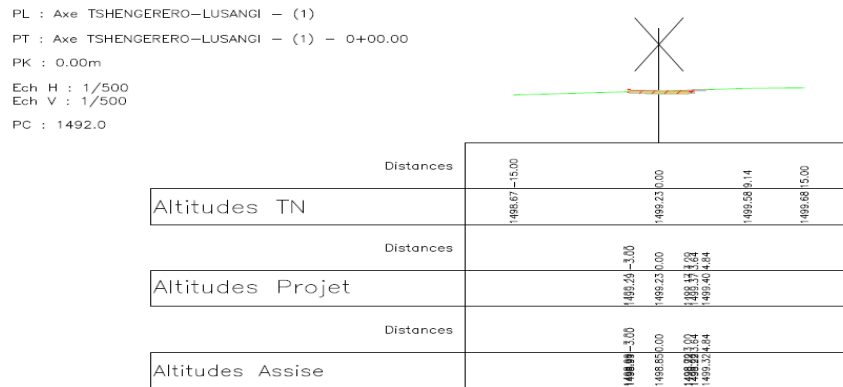
Figure 2.3. Allure du profil en long du projet. Source : civil 3D

## iii. Profil en travers

Le profil en travers de la route est une représentation du tracé de la chaussée et du terrain naturel sur un plan orthogonal à l'axe du tracé de la route. Comme le profil en long, il comprend également deux opérations principales : le tracé altimétrique du terrain naturel et le tracé altimétrique du projet.

Il existe deux types de profil en travers : le profil en travers type et le profil en travers courant.

- **Le profil en travers type** : est un modèle qui sert de guide pour le tracé des profils en travers courants. Chaque tracé routier a son profil en travers type.
- **Le profil en travers courant** : est le profil en travers des différents profils rencontrés sur le tracé en plan et le profil en long. Il peut être en remblai, en déblai ou mixte.



**Figure 2.4. Profil en travers courant du projet. Source : civil 3D**

## II.3. ETUDE HYDRAULIQUE

L'eau est pour l'ingénieur routier aussi bien un auxiliaire précieux qu'un ennemi redoutable. Elle exerce une grande influence sur le comportement des sols, surtout sur les sols fins. La présence de l'eau dans le sol est généralement une source de complications causant souvent beaucoup de dommages non seulement aux bâtiments mais aussi aux routes. Raison pour laquelle l'étude des propriétés hydrauliques des sols est d'une grande importance.

La ville est dans la zone tempérée avec un climat de montagne. Elle connaît annuellement deux saisons : la saison pluvieuse, qui peut prendre 8 à 9 mois ; et la saison sèche le reste de l'année. Son climat étant montagneux, on comprend qu'il y fait plus frais que chaud.

Les températures et les précipitations moyennes mensuelles restent constantes pendant toute l'année.

### a. Fossé de drainage

La forme des fossés doit être telle qu'elle ne constitue pas un danger pour la circulation, et il convient de s'assurer que les eaux dont ils assurent l'évacuation ne provoquent pas d'érosion. De ce fait, les caniveaux que nous utiliserons seront de profil trapézoïdal.

D'où, il faut de fossés larges et peu profonds pour faciliter leur entretien manuel. Les pentes de talus de ces fossés ne doivent en aucun cas dépasser 4% afin de limiter l'érosion.

### b. Evacuation des eaux sur la chaussée

Le principal rôle de fossé est de protéger la chaussée des eaux superficielles qui constituent l'ennemi premier de celle-ci. Dimensionner un fossé revient à :

- Déterminer le débit Q d'eau à évacuer ;
- Proposer les dimensions du fossé ;

- Vérifier si le débit que peut évacuer le fossé proposé est supérieur ou égal au débit à évacuer.

Le débit Q est trouvé par la formule de Caquot donnée par [9] :

$$Q = K \times i^m \times C^n \times A^p \quad (1)$$

Avec :

- i la pente moyenne du bassin versant en %,
- C le coefficient de ruissellement moyen (pondéré), à la superficie du bassin versant en  $km^2$ ,
- K le coefficient dépendant de la fréquence de la crue (écoulement) étudiée ;
- m, n, p des coefficients de Caquot, et
- Q le débit en  $m^3/s$ .

Le coefficient de ruissellement moyen ou pondéré pour un bassin versant de superficie A, composé de plusieurs sous-bassins de superficies individuelles  $A_i$  et de coefficients de ruissellement individuels  $C_i$  est donné par la formule suivante :

$$C = \frac{\sum C_i \times A_i}{\sum A_i} = \frac{\sum C_i \times A_i}{A} \quad (2)$$

Le tableau 2.2 nous donne les valeurs des coefficients de ruissellement à utiliser avec la méthode de Caquot.

**Tableau 2.2. Valeurs du coefficient de ruissellement**

Surface	Toits	Asphalte	Paves	Dalles	Gazon	Gravier
C	0,7 à 0,95	0,85 à 0,90	0,75 à 0,85	0,4 à 0,5	0,05 à 0,25	0,25 à 0,3

## II.4. METHODES DE DIMENSIONNEMENT

Dimensionner une structure de chaussée renvoie à décider de l'épaisseur des couches en tenant compte des exigences des trafics (poids de véhicules, accélération, freinage, force centrifuge dans les virages,), de la nature du sol d'infrastructure (capacité portance).

Il mériterait de se concentrer également à la qualité des matériaux utilisés dans le corps de la chaussée (déterminée par l'essai au laboratoire), des conditions environnementales (pluie, neige, chaleur, vent, ...) et de sa durée de vie pendant le dimensionnement de la chaussée.

Pour que la chaussée du tronçon en étude arrive à combler les exigences espérées, il est primordial que les constituantes de la chaussée soient adoptées de façon idéale et que les exécutions sur terrain soient faites convenablement.

Le dimensionnement d'une chaussée résulte communément de différents paramètres :

- Le trafic ;
- La nature de la structure à adopter ;
- Les caractéristiques des matériaux de chaussées ;
- Les caractéristiques géotechniques du sol porteur
- Les conditions climatiques.

Différentes méthodes de dimensionnement structural de la chaussée se sont développées : Soit à partir d'une observation expérimentale d'aspect de la chaussée sous le trafic (méthodes partiellement ou entièrement empiriques), soit à partir de fondements spéculatifs fondés sur l'analyse des contraintes et déformations générées au sein de la structure de la chaussée et du sol, en rapport avec les caractéristiques des matériaux (méthodes analytiques ou mécanistiques ou rationnelles).

### **1) Les 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. Les méthodes analytiques les plus connues sont :

- La méthode de SHELL,
- La nouvelle méthode de l'Asphalt Institute,
- La méthode de l'Administration Fédérale Américaine (VESYS),
- La méthode de Jeuffroy Barchelez en France connue sous le nom d'ALIZE.

Cependant la connaissance des principaux paramètres de base utilisés dans la conception des chaussées, est essentielle pour un bon dimensionnement. Les principaux paramètres de dimensionnement s'intéressent au trafic, à la nature du sol support et aux matériaux.

### **2) Les méthodes empiriques**

Les méthodes empiriques de dimensionnement recourent uniquement aux expériences examinant le comportement à long terme de différentes structures pour diverses conditions climatiques et de trafic.

Elles sont basées sur l'observation faite lors de la réalisation d'une série des tests pour lesquels on charge les épaisseurs données jusqu'à la rupture. C'est cette charge à la rupture qui sera considérée.

Elles aboutissent généralement à des surdimensionnements et évitent donc au projeteur des recherches couteuses en terme de temps et d'argent.

Parmi les méthodes empiriques, nous pouvons citer :

- La méthode CBR : elle est basée sur les abaques générant l'épaisseur équivalente de la chaussée en fonction du CBR de la plateforme.
- La méthode CEBTP : elle sollicite les abaques en fonction du CBR de la plateforme et le trafic afin de déterminer des épaisseurs des couches de fondation, de base et de roulement.
- AASHTO : il s'agit d'une méthode américaine présentant des abaques issus de données statistiques sur le comportement des chaussées construites antérieurement.

Pour notre travail, nous recourons à la méthode **CEBTP** car elle s'accommode mieux dans la zone tropicale.

### **La méthode CEBTP**

Il s'agit d'une méthode empirique tenant compte de deux critères : l'intensité du trafic et la portance de la plateforme. La perception de ces deux critères donne l'épaisseur de la couche de fondation, de la couche de base et du revêtement.

Le CEBTP, après inventaire de matériaux routiers utilisables dans les pays tropicaux ; inventaire comprenant leur caractéristiques physiques et mécaniques et leur critères d'acceptabilité, a dressé plusieurs abaques des structures multicouches constitués notamment de la couche de fondation, la couche de base et du revêtement. Ces structures ont été dimensionnées en fonction de trafics lourds, de sols en place et d'épaisseurs technologiques.

Le CEBTP a ainsi dressé un catalogue comprenant une liste des structures où l'ingénieur routier peut choisir les structures de la chaussée en fonction de deux entrées : **le CBR de la PF et le trafic** [1].

Les alternatives d'utilisation de différents matériaux sont conditionnées par l'intensité du trafic et la nature du matériau. La méthode décrit cinq classes de trafic exprimées en nombre cumulés de passage d'un essieu équivalent de 13 tonnes et cinq classes de portance de la plateforme. C'est de ce fait qu'elle attribue des épaisseurs en centimètres de corps de chaussée.

## **II.5. CHOIX DES MATERIAUX ET DIMENSIONS DES COUCHES**

### **a. Choix des matériaux**

La qualité de service d'une route est profondément liée aux caractéristiques des matériaux qui composent sa structure. En conséquence, une importance singulière est accordée à l'étude des matériaux à choisir pour la réalisation d'une structure de chaussée.

Il convient d'indiquer que pour la couche de base et celle de roulement les matériaux sont respectivement les scories volcaniques et les pavés basaltiques de 15cm de longueur, 8cm d'épaisseur et 10cm de largeur en provenance de l'entreprise SOCCOC à Goma.

**Tableau 2.3. Structure prise en compte**

COUCHES	MATERIAUX
Revêtement	Pavés basaltiques
Couche de base	Scories volcaniques
Couche de foundation	Sol en place (GNT concassée)

### **b. Paramètres pris en compte dans la détermination des dimensions des couches**

Les pavés basaltiques sont généralement réservés aux places et voiries locales où le trafic est moins lourd et plus lent, à condition bien certainement de combler les autres critères comme les mesures de non-glissement, le confort et la sécurité des usagers. Ces pavés peuvent donc satisfaire au trafic lourds si les fondations sont lourdes et résistantes. D'où la nécessité de parler de paramètres qui nous ont conduits à l'acquisition de notre fondation.

- **La durée de vie**

La durée de vie est un paramètre très important dans le dimensionnement de la chaussée. En effet, il s'agit de la période, du nombre d'année pour lequel la chaussée est dimensionnée. C'est un facteur immédiatement proportionnel au trafic attendu et par conséquent proportionnel au coût de mise en œuvre de la chaussée. En outre, plus la durée de vie est enlevée, plus la route est classée en terme de trafic. Usuellement, il est admis que la chaussée soit construite pour une durée de 15 ans avant que ses caractéristiques graduellement ne rendent indispensable son renforcement. Néanmoins, en fonction du trafic équivalent en nombre d'un essieu standard, il est possible de dimensionner une chaussée pour une durée de vie quelconque.

- **Le trafic**

Le trafic est l'un des paramètres de base les plus importants à prendre en compte lors du dimensionnement. Il exprime pour une voie de circulation, la fréquence ou le nombre de passage de véhicules dans une période donnée. Entraînant le polissage des granulats de la couche de roulement, le frottement inter granulaire dans le corps de la chaussée, le déplacement et rotation des pavés sur la couche de roulement, le trafic est donc un facteur agressif pour la route.

L'étude du trafic est très importante pour le calcul du coût global de fonctionnement des véhicules, déterminant de manière essentielle la rentabilité du projet. De plus, l'entretien des routes et

plus essentiellement celui des structures de chaussée est largement dépendant du trafic, non seulement pour la fréquence et les méthodes d'entretien mais aussi pour adapter l'organisation des services techniques aux différentes demandes d'entretien possible. Cette étude peut être plus ou moins détaillée en fonction du besoin, des moyens et du but recherché.

Les chaussées sont dimensionnées par rapport au trafic poids lourds, car seuls les véhicules lourds, plus de 35KN ou 3,5Tonnes de charge, soit environ plus de 90KN ou 9Tonnes de poids total en charge autorisée, ont un effet significatif sur la fatigue de la chaussée.

L'effet destructeur d'un véhicule, à chaque passage sur une chaussée, dépend grandement du poids total du véhicule du nombre de ses essieux et du nombre des roues qui transmettent la charge totale à la chaussée, ainsi que de leurs dispositions relatives.

L'étude du trafic en vue du dimensionnement des chaussées comporte trois phases :

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

Pour déterminer la composition du trafic en charges diverses et en nombres de répétitions présents et futurs, il est nécessaire d'effectuer des enquêtes de la circulation telles que les comptages automatiques ou périodiques, des études origine-destination et des enquêtes sur la composition et le poids des véhicules. Plusieurs modèles permettent d'évaluer le trafic cumulé. Les deux modèles les plus connus sont : le modèle linéaire et le modèle exponentiel. Le modèle géométrique est donné par la formule ci-dessous [10] :

$$N = 365 \times T \times A \times \frac{[(1 + r)^n - 1]}{r} \quad (3)$$

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

n : la durée de service en nombre d'années

A : coefficient d'agressivité,  $\left(\frac{P}{13}\right)^\delta = A$ , avec  $\delta= 4,5$  pour les chaussées souples

P : charge de référence par essieu

r : taux d'accroissement géométrique

Le tableau ci-dessous présente le trafic moyen journalier annuel (TMJA) en nombre de poids lourds en fonction de la vocation de la route :

		Trafic poids lourds en MJA (1)						
		750	300	150	50	25		
Vocation de la voie	Transit interurbaine péri-urbaine	T0	T1	T2	T3			
	Liaison structurante		T1	T2	T3	T4		
	Distribution				T3	T4	T5	
	Desserte					T4	T5	
	Lotissement rurale					T4	T5	

Figure 2.5. Classes de trafic PL retenues pour les différentes vocations des voies

Le trafic est classifié dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2.4. Classes de trafic

Classe du trafic	Nombre de PL cumulés (N)
T1	$\leq 5.10^5$
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	$10^7 < N \leq 2. 10^7$

- **La portance de la PF**

Usuellement, la PF est fixée comme la couche supérieure des terrassements. Il est fondamental de disposer d'une bonne assise pour que le corps de chaussée soit mis en place dans des admissibles conditions.

L'essai ayant pour but la détermination de l'indice de portance d'un échantillon compacté ou intact est l'essai CBR. Il permet de jauger la résistance éventuelle des matériaux de la couche de forme, de fondation et des assises de base destinées à supporter une chaussée routière, une voie ferrée et une chaussée d'aérodrome. L'indice CBR obtenu au moyen de cet essai est le paramètre fondamental pour les calculs des chaussées, il doit toujours être accompagné de la teneur en eau W (%) imposée lors de la préparation de l'échantillon. Le tableau ci-après, donne la classification française des sols d'après leur CBR.

*Tableau 2.5. Classification Française des sols*

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

### **c. Accroissement du trafic**

Calculer le trafic cumulé revient à décider du nombre d'années de service pour lesquelles l'on veut faire un investissement. Mais il faut surtout disposer du taux de croissance du trafic, c'est-à-dire, de la variation du volume total d'une année sur l'autre. Ce dernier étant susceptible de varier d'une année à l'autre, le mieux serait de disposer de deux études de trafic faites dans un intervalle d'au moins 5 ans. On utilise alors le taux moyen de croissance qui peut aussi différer fortement suivant les catégories de véhicules qu'il faudra alors distinguer au moment du comptage.

Deux approches sont possibles pour le taux de croissance : la croissance géométrique, où le trafic augmente tous les ans d'un pourcentage fixe par rapport à l'année précédente ; et la croissance linéaire, où le trafic augmente d'un volume constant tous les ans.

### **d. Choix de la méthode de dimensionnement**

Pour notre travail, nous allons dimensionner le tronçon en se basant sur la méthode empiriste utilisant le guide de dimensionnement CEBTP pour les tropicaux.

## **II.6. BREF APERCU DU LOGICIEL AutoCAD Civil 3D**

Développé par la société Autodesk, leader mondial dans l'édition des logiciels de D.A.O et C.A.O, AutoCAD Civil 3D est un logiciel de documentation et conception des infrastructures civiles, il s'agit d'un logiciel de conception des projets de travaux publics (routes, les chemins de fer, les tunnels...). Ses fonctionnalités sont les suivantes [11]:

- *Topographie (Points et surfaces)*

AutoCAD Civil 3D permet d'importer des données topographiques de différentes sources (fichier de points sous document texte ou Excel, DEM, LIDAR ou SHP) et offre une multitude de fonctionnalités pour le traitement de ces données et pour le calcul des surfaces MNT (Modèle numérique de terrain). Il aussi permet de visualiser le terrain en 3D et d'afficher les courbes de niveau et leurs côtes.

- *Calcul de cubatures (volumes déblais/remblais)*

Avec AutoCAD Civil 3D le calcul des volumes déblais/remblais des terrassements devient une tâche très facile. Le logiciel permet de calculer, avec grande précision, les volumes différentiels (entre deux MNT).

- *Conception de projets 3D*

Les fonctionnalités de conception de projets 3D permettent de créer des modèles intelligents des conceptions de routes, voiries, tunnels, etc. l'Utilisation des modèles de projet 3D permet de créer des surfaces (MNT projet), des volumes de terrassement (déblai/remblai), des quantités de matériaux et de dessiner de coupes (profils en long et profils en travers).

- *Réseaux d'assainissement*

Le logiciel Civil 3D permet de créer des règles pour représenter des systèmes d'assainissement et d'évacuation des eaux pluviales. Il est possible de Modifier les canalisations et les structures à l'aide d'entrées graphiques ou numériques, et vérifier les interférences.

- *Réseaux d'alimentation en eau potable*

Pour le cas de l'AEP (Alimentation en eau potable) le logiciel permet de faire la conception en 2D et en 3D du réseau. La modélisation des réseaux sous pression 3D permet de détecter les éventuelles interférences entre les composants.

## **II.7. CONCLUSION PARTIELLE**

La détermination des coordonnées topographiques et de diverses caractéristiques des points sur un terrain occupe une place importante dans l'étude d'un site où l'on souhaite aménager une chaussée, nous avons parlé de quelques notions topographiques qui ont intéressé notre curiosité. L'eau étant le premier ennemi de tout ingénieur, nous nous sommes également intéressé à l'étude hydraulique. Nous avons enfin parler de différentes méthodes de dimensionnement et avons choisi la méthode CEBTP pour la suite de notre travail.

## **Chapitre 3 : AMENAGEMENT DU TRONCON CONSIDERE**

Les pavés basaltiques sont fréquemment utilisés comme matériaux de revêtement des chaussées. Leur domaine d'emploi étant vaste de par leur utilisation pour des applications variées telles que l'aménagement urbain (passages pour piétons, couloirs d'autobus, trottoirs etc.) ; ce chapitre fera l'objet non seulement de dimensionnement de notre tronçon, mais aussi de la présentation des choix de matériaux et dimensions de différentes couches. La vitesse de base de notre route est fixée à 40 Km/h. Nous finirons alors avec présentation de différents résultats obtenus à l'aide du logiciel AUTOCAD civil 3D.

### **III.1. DIMENSIONNEMENT**

#### **a) Eléments de dimensionnement**

##### *i) Trafic*

Le concept du trafic routier implique aussi bien la quantité, la typologie ainsi que le mouvement des personnes et biens qui circulent sur la route.

Au vu des études du site, le trafic s'est avéré que le tronçon en étude est plus ou moins sollicité, ainsi il aura les caractéristiques suivantes :

- Il sera modéré avec une proportion de véhicules lourds relativement moyen,
- La circulation des véhicules de transport en commun plus modéré que celle des véhicules de transport privé.

Ce tronçon ayant pour vocation principale ou unique, en zone urbanisée (ville de Goma), la desserte fine des riverains à l'intérieur du quartier, on peut le classer dans les voies de desserte. Celle étant, elle sera dimensionnée en fonction d'un trafic poids lourd, car, comme préciser ci-haut, seuls les véhicules PL ont un effet significatif sur la fatigue de la chaussée. Cet effet est très largement fonction de la charge par essieu des véhicules : un essieu chargé à 130KN est moyennement 4 à 5 fois plus agressif qu'un essieu chargé à 100KN.

Les véhicules légers quant à eux, ont un effet  $\pm$  négligeable sur la chaussée. Ils provoquent uniquement une usure de la couche de roulement et probablement une pollution de celle-ci.

Ainsi donc, le seul trafic qui sera pris en compte pour le dimensionnement de notre tronçon est le trafic PL : utilitaires et transport en commun (TC).

##### *ii) La durée de service*

Concernant les voies de desserte, la politique sera axée sur un investissement restreint. Les chaussées concernées par ce type de voie, ont une durée de service allant de 8 à 10 ans. Ainsi, notre route aura 10 ans comme durée de service.

*iii) La plateforme*

Dans le cas du tronçon en étude, le laboratoire de l'office de Goma nous a indiqué que le sol en place est en scories volcanique et de la valeur moyenne de CBR de 16% pour un sol à valeur d'OPM égale à 95% après quatre jours d'imprégnation, constituant ainsi la PF de notre chaussée pavée. Cela nous a permis de fixer la PF du projet dans la classe **S4** d'après le guide CEBTP (voir le tableau 5).

**b) Proposition de structure selon le guide CEBTP**

Partant des routes appartenant à la catégorie des voies de desserte, par interprétation du tableau présentant le TMJA à la figure 13, nous nous retrouvons avec TMJA = 50PL /jour/sens. Concernant la taux d'accroissement du trafic, le bureau de l'OVD Goma donne un taux d'accroissement géométrique du trafic de 7%. Le trafic PL cumulés sur la durée du service de projet est donné par la formule (3) :

$$N = 365 \times T \times A \times \frac{[(1+r)^n - 1]}{r}$$

N : le trafic PL cumulé en nombre d'essieux standard après n années (nombre de voitures durant toute la vie du projet)

n : la durée de service de notre route est 10ans

P : charge de référence par essieu, P=13 tonnes en RDC

A : coefficient d'agressivité,  $\left(\frac{P}{13}\right)^\delta = A$ , avec  $\delta=4,5$  pour les chaussées souples. Nous prévoyons un dépassement de charge de 10% comme marge de sécurité pour raison de surcharge. Nous avons

$$A = \left(\frac{P+0,1P}{13}\right)^\delta = \left(\frac{13+0,1 \times 13}{13}\right)^{4,5} = 1,54$$

r : taux d'accroissement géométrique de 7%

TMJA=T = 50 PL/Jour

$$D'où N = 365 \times T \times A \times \frac{[(1+r)^n - 1]}{r} = 365 \times 50 \times 1,54 \times \frac{[(1+0,07)^{10} - 1]}{0,07} = 378736,5 \text{ passages}$$

Ayant trouvé la valeur  $N \leq 5.10^5$ , nous aurons pour notre projet, **la classe de trafic T1**.

Le guide pratique du dimensionnement pour les pays tropicaux du CEBTP, concernant la classe de trafic T1 et la classe de PF S4, la structure se présente comme suit :

- Couche de base en scorie volcanique de 15cm
- Couche de fondation en GNT concassés de 15cm

Pour ajuster ces résultats au projet en étude, il serait raisonnable de se référer à une étude faite par *l'interlocking concrete pavement Institute (1995)* qui dit qu'un revêtement de pavés de 80mm de hauteur, reposant sur un lit de pose de 25mm équivaut à une épaisseur d'enrobé bitumineux de 105mm avec un module de 3100MPa. Ceci dit, une hauteur de pavés comprises entre 5-10cm et un lit de pose de 2-4cm seraient à adopter en tenant compte de la normalisation.

En tenant compte du risque de poinçonnement (voir figure 12) et celui du tassement pouvant découler d'un choix du lit de pose très petit ou des erreurs commises sur la charge d'exploitation et en intégrant le facteur de surcharges, il serait essentiel d'adapter ce qui suit :

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

*NB* : Accentuons ici que ces équivalences concernent plus particulièrement les pavés en béton, le comportement des tous les pavés étant manifestement proches, l'emploi de ces équivalences serait admissible pour les pavés en pierres naturelles.

### **a) Cubatures de différentes couches**

*Tableau 3.1. Cubatures de différentes couches*

<b>Roulement :</b>				<b>Base :</b>				<b>Forme :</b>			
<b>Volume</b>				<b>Volume</b>				<b>Volume</b>			
PK	Surface	Vol	Vol cum	PK	Surface	Vol	Vol cum	PK	Surface	Volume	Vol cum
0.00	0.48	0	0	0.00	0.90	0	0	0.00	0.90	0	0
25.00	0.48	12	12	25.00	0.90	23	23	25.00	0.90	23	23
50.00	0.48	12	24	50.00	0.90	22	45	50.00	0.90	23	45
75.00	0.48	12	36	75.00	0.90	22	67	75.00	0.90	22	68
100.00	0.48	12	48	100.00	0.90	23	90	100.00	0.90	22	90
125.00	0.48	12	60	125.00	0.90	23	113	125.00	0.90	23	112
150.00	0.48	12	72	150.00	0.90	22	135	150.00	0.90	23	135
175.00	0.48	12	84	175.00	0.90	23	157	175.00	0.90	23	158
200.00	0.48	12	96	200.00	0.90	23	180	200.00	0.90	23	180
225.00	0.48	12	108	225.00	0.90	23	203	225.00	0.90	23	203
250.00	0.48	12	120	250.00	0.90	23	225	250.00	0.90	23	225

**Aménagement d'une chaussée en pavés basaltiques : Cas du tronçon Tshengerero-Lusangi à Goma ; Par Bengi-babuya  
BWIRIRE Ines**

275.00	0.48	12	132	275.00	0.90	22	248	275.00	0.90	23	248
300.00	0.48	12	144	300.00	0.90	23	270	300.00	0.90	23	270
325.00	0.48	12	156	325.00	0.90	23	293	325.00	0.90	23	293
350.00	0.48	12	168	350.00	0.90	23	315	350.00	0.90	22	315
375.00	0.48	12	180	375.00	0.90	23	338	375.00	0.90	22	338
400.00	0.48	12	192	400.00	0.90	23	360	400.00	0.90	22	360
425.00	0.48	12	204	425.00	0.90	22	383	425.00	0.90	22	383
450.00	0.48	12	216	450.00	0.90	22	405	450.00	0.90	23	405
475.00	0.48	12	228	475.00	0.90	23	428	475.00	0.90	23	428
500.00	0.48	12	240	500.00	0.90	23	450	500.00	0.90	23	450
525.00	0.48	12	252	525.00	0.90	23	473	525.00	0.90	23	473
550.00	0.48	12	264	550.00	0.90	23	495	550.00	0.90	23	495
575.00	0.48	12	276	575.00	0.90	23	518	575.00	0.90	23	518
600.00	0.48	12	288	600.00	0.90	23	540	600.00	0.90	23	540
625.00	0.48	12	300	625.00	0.90	23	563	625.00	0.90	23	563
650.00	0.48	12	312	650.00	0.90	23	585	650.00	0.90	22	585
675.00	0.48	12	324	675.00	0.90	23	608	675.00	0.90	22	608
700.00	0.48	12	336	700.00	0.90	23	630	700.00	0.90	23	630
725.00	0.48	12	348	725.00	0.90	23	653	725.00	0.90	23	653
750.00	0.48	12	360	750.00	0.90	23	675	750.00	0.90	23	675
775.00	0.48	12	372	775.00	0.90	23	698	775.00	0.90	23	698
800.00	0.48	12	384	800.00	0.90	22	720	800.00	0.90	22	720
825.00	0.48	12	396	825.00	0.90	23	743	825.00	0.90	23	743
850.00	0.48	12	408	850.00	0.90	23	765	850.00	0.90	23	765
875.00	0.48	12	420	875.00	0.90	23	788	875.00	0.90	22	788
900.00	0.48	12	432	900.00	0.90	23	810	900.00	0.90	23	810
925.00	0.48	12	444	925.00	0.90	23	833	925.00	0.90	23	833
950.00	0.48	12	456	950.00	0.90	23	855	950.00	0.90	23	855
961.94	0.48	6	462	961.94	0.90	11	866	961.94	0.90	11	866

NB : Précisons que la couche de roulement est le revêtement en pavés.

## b) Mise en œuvre des trottoirs

Dans le souci d'accorder une circulation plus aisée aux piétons, les accotements de la chaussée seront en trottoir d'un côté de la chaussée. Le trottoir sera large de 1,2 m construit en pavés en pierres qui seront déposés sur une base en GNT. Les bordures de séparation de la chaussée avec les trottoirs seront en béton surélevé de 0,5 m de longueur sur 0,2.

**Tableau 3.2. structure du trottoir**

Pavés en pierres volcaniques	8 cm
Couche de base en scorie volcanique	15 cm
Couche de fondation en GNT	15 cm

## III.2. CUBATURE DES MATERIAUX

### 1. Identification des gisements des matériaux

Nous classons trois types de matériaux pouvant être utilisés dans la construction des routes dans la ville de Goma :

- Scories volcaniques stratifiées : avec une composition hétérogène, elles peuvent être trouvées dans l'emprunt de *Ndosho* et celui de *Munigi*.
- Matériaux schistes altérés : généralement couverts des couches de débris, ils sont facilement exploitables à la pelle et sont retrouvés dans l'emprunt de *Sake*.
- Le basalte en provenance de l'emprunt de *Mugunga* et de *Mubambiro*.

Les caractéristiques de ces matériaux sont trouvées à l'Office des Routes de Goma (OR/Goma) dont le laboratoire a déjà effectué des essais dont l'analyse granulométrique, le Proctor modifié, le CBR, la limite d'Atterberg et essai de dureté.

### 2. Utilisation des matériaux

- La couche de forme pourra être constituée du sol naturel (tout venant) : remblai et déblais pour le terrassement.
- La couche de fondation pourra être constituée du basalte concassé GNT 0/31.

- La couche de base pourra être faite des scories volcaniques provenant de l'emprunt de *Ndosho*.
- Le lit de pose pourra être constitué des graviers rouges de *Mugunga*.
- Le revêtement pourra alors être en pavés basaltique et le remplissage des joints avec le sable *d'Idjwi*.

### **3. Calculs des volumes**

Les surfaces des profils en travers se décomposent en différentes surfaces de trapèzes et des triangles dont le calcul est aisé dès que l'on connaît les cotes de projet, ceux du terrain naturel et des distances partielles sur profil en travers.

Après avoir trouvé les formes de différents profils en travers courants de notre projet, les calculs de cubatures ont donné des résultats présentés dans le tableau suivant :

**Tableau 3.3. Cubatures Déblai Remblais**

<b>Table des volumes déblai/remblai totaux</b>							
PK	Surface déblai	Vol déblai	Vol déblai cumulé	Surface remblai	Vol remblai	Vol remblai cumulé	Vol net
0.00	2.70	0	0	0.00	0	0	0
25.00	2.61	66	66	0.00	0	0	66
50.00	2.56	65	131	0.00	0	0	131
75.00	2.54	64	195	0.01	0	0	195
100.00	2.57	64	259	0.00	0	0	258
125.00	2.55	64	323	0.01	0	0	322
150.00	2.54	64	386	0.05	1	1	385
175.00	2.54	63	450	0.07	1	2	447
200.00	2.51	63	513	0.18	3	6	507
225.00	2.50	63	575	0.21	5	10	565
250.00	2.60	64	639	0.19	5	15	624
275.00	2.93	69	708	0.22	5	21	688
300.00	2.52	68	776	0.15	5	25	751
325.00	2.52	63	839	0.12	3	28	811

350.00	2.57	64	903	0.00	1	30	873
375.00	2.66	65	968	0.00	0	30	938
400.00	2.46	64	1032	0.27	3	33	999
425.00	2.51	62	1094	0.16	5	39	1056
450.00	2.56	63	1158	0.00	2	41	1117
475.00	2.67	65	1223	0.00	0	41	1182
500.00	2.55	65	1288	0.02	0	41	1247
525.00	2.52	63	1352	0.02	0	42	1310
550.00	2.56	64	1415	0.00	0	42	1374
575.00	2.54	64	1479	0.07	1	43	1437
600.00	2.52	63	1542	0.15	3	45	1497
625.00	2.48	62	1605	0.28	5	51	1554
650.00	2.64	64	1669	0.09	5	56	1613
675.00	2.50	64	1733	0.21	3	60	1673
700.00	2.49	62	1795	0.24	6	65	1730
725.00	2.50	62	1858	0.21	6	71	1787
750.00	2.43	61	1918	0.16	3	74	1844
775.00	2.53	63	1981	0.10	4	78	1903
800.00	2.53	63	2045	0.11	3	81	1964
825.00	2.54	63	2108	0.06	2	83	2025
850.00	2.54	63	2171	0.07	2	85	2087
875.00	2.57	64	2235	0.14	3	88	2148
900.00	2.62	65	2300	0.28	5	93	2207
925.00	2.52	64	2364	0.13	5	98	2266
950.00	2.46	62	2427	0.34	6	104	2323
961.94	2.48	29	2456	0.32	4	108	2348

### **III.3. CONCLUSION PARTIELLE**

Dans ce chapitre, il a été question de parler de la méthodologie optée pour le dimensionnement de la chaussée en étude. Il s'agit de la **méthode CEBTP** des pays tropicaux.

L'étude topographique utilisée a permis de modéliser la chaussée qui fait objet de cette étude dans le logiciel de DCAO CIVIL 3D, générant les mouvements des terres et les profils correspondant à l'étude.

Après dimensionnement, nous avons abouti à des caractéristiques technologiques de la structure : un revêtement de 8 cm (épaisseur pavés), une couche de base de 15 cm et une couche de fondation de 15 cm.

## CONCLUSION GENERALE

La construction des routes constitue une des préoccupations indispensables pour une multitude de pays qui perçoivent la route comme une infrastructure, un moteur de développement économique permettant de hisser progressivement le niveau de vie de la population. Des études ont montré que le mauvais état de routes en RDC en général et dans la ville de Goma en particulier, réduisent les échanges entre habitants influant ainsi les conditions économiques. En outre, il s'avère important de remarquer que l'avènement des pavés basaltiques est une réponse pour urbaniser les routes à faibles trafic dans la ville de GOMA.

C'est ainsi que le but fondamental de ce travail est l'étude **d'aménagement d'une chaussée en pavés basaltiques cas du tronçon Tshengerero-Lusangi** joignant la route Alexandre MAHAMBA et la route Felix Antoine TSHISEKEDI. Ce sujet est donc d'actualité car il donne un moyen d'améliorer l'état de la route afin de faciliter la circulation des personnes et leurs biens.

Notons que la construction d'une chaussée s'effectue sur base d'un ensemble des principes et connaissances prédéfinis et prend place dans une délimitation temporelle bien précise. Ainsi, nous avons envisagé l'aménagement d'une chaussée en pavés basaltiques avec une durée de vie de 10 ans. Le choix de ce matériau a été fait non seulement pour sa disponibilité mais également car sur le plan de la convenance technique, les roches basaltiques disponibles à Goma, présentent des caractéristiques physico-mécaniques satisfaisantes.

D'une façon précise, les techniques de mise en œuvre de la structure routière ont été détaillée, ayant déterminé les épaisseurs de couche et les matériaux constitutifs ; de ce fait il a été question d'utiliser la méthode CEBTP connaissant le trafic du tronçon en étude et la portance du sol de Goma (T1, S4). Et voici les caractéristiques finales de notre projet : la route a une longueur de 956m sur une emprise de 6m avec 2 voies de circulation de 3m chacune et un trottoir sur un côté de 1,2m. Elle est également munie d'un fossé d'évacuation des eaux sur un côté, permettant ainsi de drainer les eaux stagnantes. Elle possède une structure à différentes couches : la couche de fondation de 15cm en basaltes concassés de GNT, une couche de base de 15cm en emprunt de scories volcaniques, le lit de pose de 4cm en sable rouge et un revêtement en pavés de dimensions 15×10×8. Signalons que la couche de la PF est la terre naturelle car favorable aux critères.

Au final, nous ne croyons pas avoir épuisé toutes les facettes d'analyse de ce sujet, mais nous accueillons toute sujétion, tout conseil et ouvrons une piste à tout chercheur qui viendra nous compléter.

## **BIBLIOGRAPHIE**

- [1] I. G. K., cours des routes, GOMA/RDC: ULPGL-GOMA, 2021-2022.
- [2] M. Z. Yvette, «Etude d'amenagement d'une route revetue en pavés basaltique: cas du tronçon rue PAPA KABILA, Goma,» ULPGL/GOMA, GOMA-RDC, 2021-2022.
- [3] J. B. MUSHAGE, Elements de geologie et mineralogie, GOMA/RDC: IBTP/GOMA, 2020-2021.
- [4] J.-P. ROY, dictionnaire professionnel du BTP, LYON/FRANCE: groupe Eyrolle, 2011.
- [5] S. M. BIBANGENTYO, «Usage des pierres volcaniques taillees dans la construction des routes pavees,» ULPGL/GOMA, GOMA-RDC, 2017-2018.
- [6] A. BRESSON, Proposition d'une methode de conception des chaussees revetues de pavés de beton en zone urbaine et nordique, QUEBEC/CANADA: Universite de LAVAL, 2010.
- [7] CERTU, Pierres naturelles, Laval/CANADA: CERTU, 2011.
- [8] P. SYAITSUTWA, topographie et geodesie, GOMA-RDC: ULPGL/GOMA, 2020-2021.
- [9] D. N. F. M. K. H., Mecaniques des sols et des roches, GOMA/RDC: ULPGL-GOMA, Juillet 2021.
- [10] G. M. LWANZO, «Etude comparative entre une chaussee souple et une chaussee en pierres,» ULPGL/GOMA, GOMA/RDC, 2014-2015.
- [11] K. B. Bruno, conception et dimensionnement d'une route en pavé sise tronçon college Mwanga- boulevard enock Nyamwisi Muvungi, GOMA: ULPGL/DRC, 2020.

## ANNEXES

### Annexe 1 : Relevés topographiques du tronçon en étude

*Tableau 4.1. Coordonnées topographiques du tronçon*

Alignment Name: Axe TSHENGERERO-LUSANGI - (1)

Description:

Station Range: Start: 0000,00, End: 0961,94

Station Increment: 25,00

Station	X	Y	Tangential Direction
0	9 816 624,5785m	743 906,3344m	S18° 33' 29,52"E
25	9 816 600,8785m	743 914,2911m	S18° 33' 29,52"E
50	9 816 577,1785m	743 922,2478m	S18° 33' 29,52"E
75	9 816 553,4785m	743 930,2045m	S18° 33' 29,52"E
100	9 816 529,7784m	743 938,1612m	S18° 33' 29,52"E
125	9 816 505,8763m	743 945,4555m	S13° 47' 22,82"E
150	9 816 481,5098m	743 951,0473m	S12° 51' 55,03"E
175	9 816 457,1279m	743 956,5708m	S11° 39' 42,90"E
200	9 816 432,4035m	743 960,1936m	S6° 24' 44,52"E
225	9 816 407,5599m	743 962,9857m	S6° 24' 44,52"E
250	9 816 382,7163m	743 965,7780m	S6° 29' 53,67"E
275	9 816 358,1999m	743 970,5388m	S15° 28' 50,20"E
300	9 816 334,5824m	743 978,7062m	S20° 27' 07,53"E
325	9 816 311,0236m	743 987,0535m	S16° 56' 32,40"E
350	9 816 287,1087m	743 994,3387m	S16° 56' 32,40"E
375	9 816 263,1937m	744 001,6239m	S16° 56' 32,40"E

**Aménagement d'une chaussée en pavés basaltiques : Cas du tronçon Tshengerero-Lusangi à Goma ; Par Bengi-babuya  
BWIRIRE Ines**

400	9 816 239,2905m	744 008,9472m	S17° 29' 07,20"E
425	9 816 215,4457m	744 016,4587m	S17° 29' 07,20"E
450	9 816 191,6008m	744 023,9703m	S17° 29' 07,20"E
475	9 816 167,7560m	744 031,4818m	S17° 29' 07,20"E
500	9 816 143,9111m	744 038,9934m	S17° 29' 07,20"E
525	9 816 120,1987m	744 046,9111m	S18° 39' 42,19"E
550	9 816 096,5131m	744 054,9106m	S18° 39' 42,19"E
575	9 816 072,6580m	744 062,3821m	S16° 50' 38,26"E
600	9 816 048,7554m	744 069,7074m	S17° 12' 37,22"E
625	9 816 025,0719m	744 077,6808m	S22° 03' 23,08"E
650	9 816 003,0361m	744 088,4412m	S74° 48' 14,11"E
675	9 815 995,1959m	744 108,0853m	S41° 03' 24,17"E
700	9 815 976,3444m	744 124,5054m	S41° 03' 24,17"E
725	9 815 957,4929m	744 140,9256m	S41° 03' 24,17"E
750	9 815 939,2324m	744 134,4436m	S49° 36' 05,97"W
775	9 815 919,7978m	744 137,2904m	S38° 03' 07,53"E
800	9 815 900,1115m	744 152,6998m	S38° 03' 07,53"E
825	9 815 880,2100m	744 167,8279m	S36° 46' 47,30"E
850	9 815 860,1864m	744 182,7964m	S36° 46' 47,30"E
875	9 815 840,1629m	744 197,7650m	S36° 46' 47,30"E
900	9 815 820,3429m	744 212,9882m	S40° 30' 18,27"E
925	9 815 801,3342m	744 229,2261m	S40° 30' 18,27"E
950	9 815 782,3255m	744 245,4640m	S40° 30' 18,27"E
961,94	9 815 773,2477m	744 253,2186m	S40° 30' 18,27"E

## Annexe 2 : Les profils et courbes de niveaux

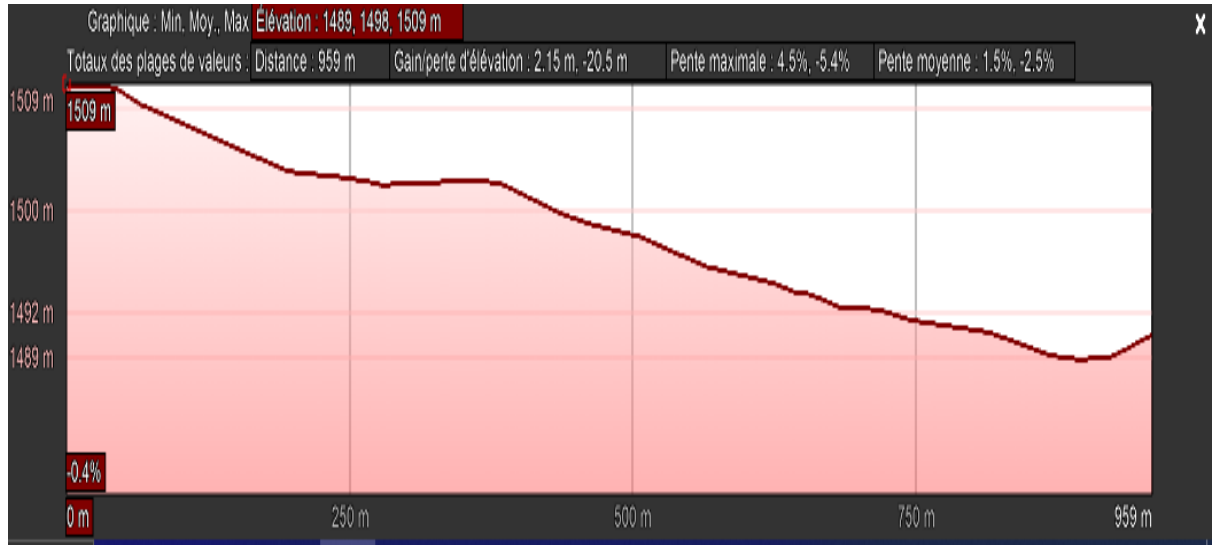


Figure 4.1. Pente de la route



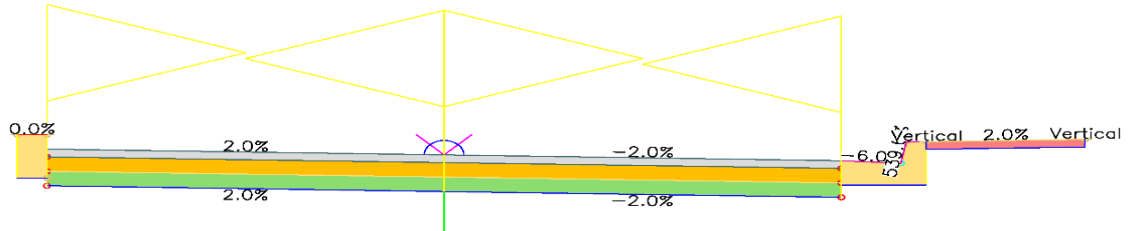


Figure 4.3. Profil en travers type

PL : Axe TSHENGERERO-LUSANGI - (1)  
 PT : Axe TSHENGERERO-LUSANGI - (1) - 0+00.00  
 PK : 0.00m  
 Ech H : 1/500  
 Ech V : 1/500  
 PC : 1492.0

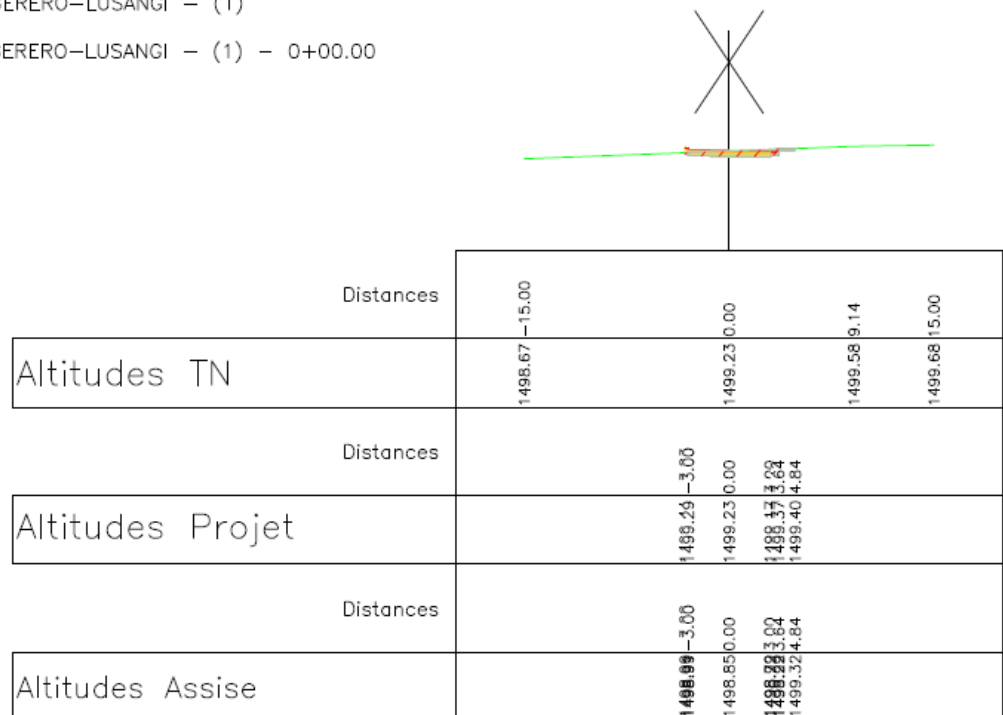


Figure 4.4. Profil en travers courant

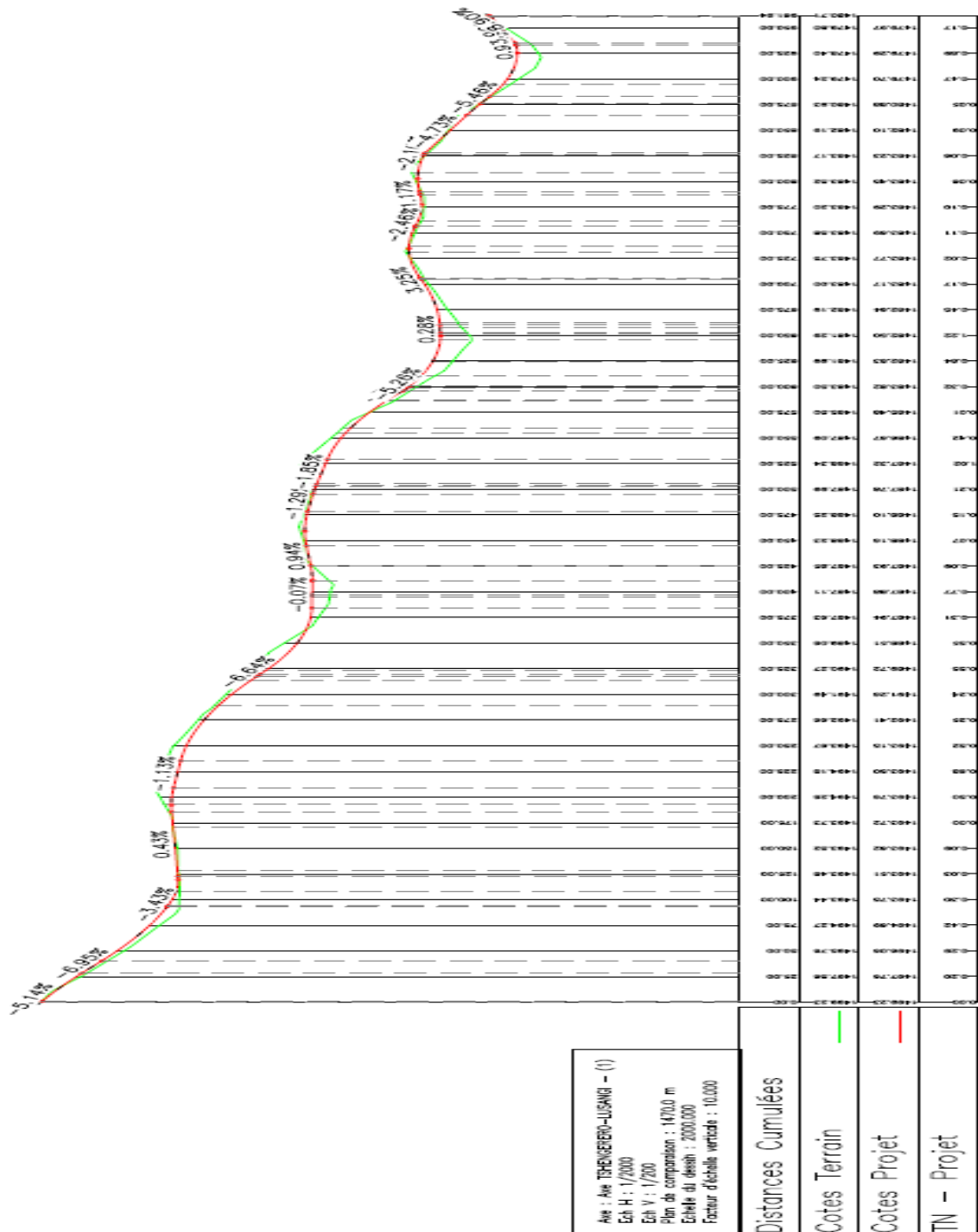


Figure 4.5. Profil en long



**Figure 4.6. Tracé en plan**